

# PANORAMA MUNDIAL DE SIMULADORES DISPONÍVEIS – VISANDO A SIMULAÇÃO E O CONTROLE DE VEÍCULOS AEROSPACIAIS

Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gilberto da Cunha Trivelato

Empresa Brasileira de Aeronáutica S. A. - EMBRAER

## RESUMO

Neste trabalho discutimos alguns tipos de simuladores e simulações, suas características e aplicações à simulação e ao controle de veículos aeroespaciais. Isto inclui: as definições básicas, tipos e características de simuladores e simulações (físicos, computacionais, híbridos, etc.; a eventos discretos, tempo discreto, tempo contínuo, etc; determinísticos, estocásticos, etc.) seu compromisso básico (simplicidade x fidelidade), suas interfaces homem-máquina e suas interações (virtual, construtiva, ao vivo, etc.), suas leis de evolução (por tempo, eventos, mista, etc.), suas arquiteturas ("stand-alone", PIL, HIL, MIL, DIS, HLA, etc.), seus ambientes (discreto, contínuo, híbrido, etc.) e suas aplicações à simulação e ao controle de veículos aeroespaciais. Isto é ilustrado por vários exemplos tomados da indústria aerospacial.

## INTRODUÇÃO

Desde seu surgimento, a indústria aeroespacial tornou-se uma das principais usuárias e beneficiárias da simulação, estimulando e permitindo o desenvolvimento de ferramentas cada vez mais poderosas. Sucessivamente beneficiou-se com: o uso da simulação física para projeto e treinamento; o uso da simulação em computadores analógicos para controle de sistemas; e, na era dos computadores digitais, com o uso da simulação digital nas demais áreas do conhecimento envolvidas nas diversas fases de desenvolvimento de veículos aeroespaciais. A simulação é reconhecida cada vez mais como ferramenta imprescindível para as diversas fases do produto tais como: especificação, projeto, desenvolvimento, produção, testes, certificação, manutenção, treinamento e marketing.

Motivados por tais usos, vamos resumir os conceitos básicos, tipos, características e aplicações dos modelos, simulações, simuladores e ambientes de simulação usados na indústria aeroespacial, como em [1-14].

## MODELAGEM E IDENTIFICAÇÃO: CONCEITOS BÁSICOS, TIPOS, CARACTERÍSTICAS, ETC.

**MODELAGEM:** É o ato de fazer uma descrição de (relações de) um sistema, processo, fenômeno, ser ou entidade em um meio, com uma linguagem e com um objetivo ou ponto de vista, baseado nas leis da Natureza e em medidas dos seus parâmetros.

**MODELO:** É a descrição feita pela modelagem. Ela pode ser: física, matemática, lógica, computacional.

**MODELADOR:** É o agente que faz a modelagem.

**TIPOS, CARACTERÍSTICAS, MÉTODOS DE MODELAGEM/MODELOS:** Os tipos mais comuns de modelagem/modelos matemáticos são:

- Equações (algébricas, transcendentais, diferenças finitas, de recorrência, diferenciais, integrais, etc.);
- Tabelas de dados, gráficos, funções/polinômios ajustados (Taylor, Fourier, etc.), séries, distribuições;
- Transformadas (coord. Laplace, Fourier, Z, W, etc.);
- Diagramas de blocos, gráficos de fluxo de sinal, gráficos de ligação, máquinas de estado, histogramas.

**COMPROMISSO BÁSICO:** O compromisso básico e qualquer modelo é: simplicidade X fidelidade.

**IDENTIFICAÇÃO:** É o ato de fazer uma descrição de (relações de) um sistema, processo, fenômeno, ser ou entidade em um meio, com uma linguagem e com um objetivo ou ponto de vista, baseado em medidas de suas variáveis e até de alguns dos seus parâmetros. Uma forma especial mas muito comum de identificação é:

**REDUÇÃO DE DADOS:** É o ato de fazer uma concentração das informações contidas em um grande conjunto de dados em um pequeno conjunto de dados que caracterizam ou, ao menos, participam da caracterização de um modelo de um sistema, processo, fenômeno, ser ou entidade.

**IDENTIDADE/MODELO IDENTIFICADO:** É a descrição feita pela identificação. Ela pode ser: física, matemática, lógica, computacional.

**IDENTIFICADOR:** É o agente que faz a identificação.

**TIPOS, CARACTERÍSTICAS, MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO/MODELOS IDENTIFICADOS:** Os tipos mais comuns de identificação/modelos identificados são:

- Paramétricos e não paramétricos;
- No domínio do tempo e da frequência;
- Sequenciais ou em batelada;
- Determinísticos ou estocásticos;

**COMPROMISSO BÁSICO:** O compromisso básico de qualquer identificação é: simplicidade X fidelidade.

## MODELOS DE VEÍCULOS: REQUISITOS DA INDÚSTRIA AEROESPACIAL

Para serem utilizados em todas as fases do produto veículo aerospacial, os modelos simulados devem incluir todos os sistemas e permitir o ajuste da complexidade de cada subsistema de acordo com a aplicação desejada. Para atender estes requisitos, de forma genérica, a simulação de uma aeronave deve conter: os modelos da atmosfera, dos motores, da aerodinâmica, do movimento, de outros subsistemas, dos trens de aterrissagem, dos controles, das interfaces gráficas com o usuário-GUI (para o piloto, monitoramento, comunicação de dados). Um modelo genérico comum de uma aeronave é apresentado na Figura 1.

Ainda deve ser possível incluir e excluir modelos de partes específicas quando necessário (ex. sistema elétrico). Uma propriedade fundamental destes sistemas simulados é a capacidade de trocarmos blocos de um mesmo subsistema, mas com níveis diferentes de fidelidade. Um exemplo prático sobre a necessidade de níveis diferentes de simulação de um mesmo subsistema pode ser verificado no uso do sistema elétrico simulado quando estamos anali-

sando o sistema de controle de uma aeronave ou de um satélite: no primeiro caso as baterias podem ser modeladas e simuladas por máquinas de estado com níveis ON e OFF, enquanto no segundo, a capacidade de carga das baterias deve ser incluída no modelo porque altera a capacidade dos atuadores (ex. bobinas magnéticas) mudando os parâmetros de controle. A pesquisa do efeito do tempo de discretização de sistemas de controle de veículos aeroespaciais nos modos de vibração de estruturas flexíveis, teve sua importância aumentada recentemente devido ao uso de estruturas cada vez maiores e mais leves em satélites e ao projeto de asas de aeronaves cada vez mais leves e finas.

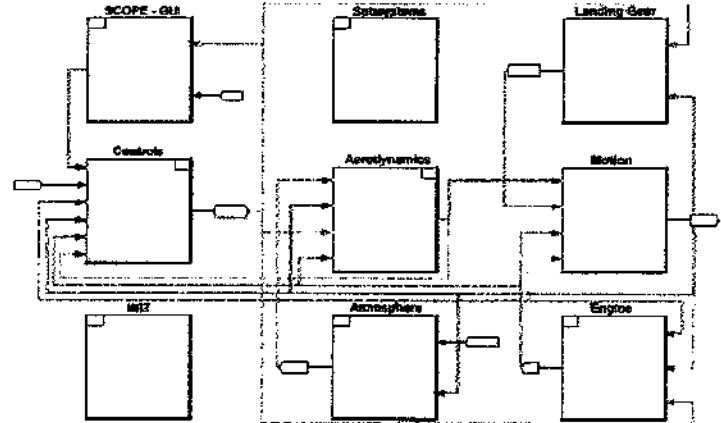


Figura 1: Modelo geral de uma aeronave para simulações computacionais.

## BÁSICOS, TIPOS, CARACTERÍSTICAS, ETC.

**SIMULAÇÃO:** É o ato de fazer uma descrição da evolução de um sistema, processo, fenômeno, ser ou entidade em um meio, com uma linguagem e com um objetivo ou ponto de vista.

**SIMULADOR:** É o agente que faz a simulação.

**COMPROMISSO BÁSICO:** O compromisso básico de qualquer simulação é: simplicidade x fidelidade.

**TIPOS, CARACTERÍSTICAS, MÉTODOS DE SIMULAÇÃO/SIMULADORES:** Os tipos mais comuns de simulação/simuladores classificados por/são:

- Modelos: físicos, matemáticos, lógicos, computacionais;
- Formalismo evolutivo/evolvedor: tempo contínuo  $t$ , tempo discreto  $t_k = k.t$ , eventos discretos  $e_k : x(k.t) = x_k$ ;
- Relação tempo simulado  $\tau$  / tempo real  $t$ : tempo virtual  $\tau \neq t$ , tempo real  $\tau = t$ , tempo mais que real  $\tau > t$  ("câmera rápida", "modo combate"), tempo menos que real  $\tau < t$  ("câmera lenta");
- Interações homem-máquina: construtiva V-V, virtual R-V, ao vivo R-R;
- Interfaces/linguagens: físicas x virtuais/comandos x visuais.

## SIMULAÇÕES E SIMULADORES: REQUISITOS DA INDÚSTRIA AEROESPACIAL

A ocorrência do uso de novos materiais, de novas aplicações, da redução de peso e consumo, da busca da otimização nos projetos destes veículos e a necessidade de redução do ciclo de produção (veja Figs. 2, 3), criaram problemas de natureza distinta (veja Figs. 4-7, Tabelas 1,2)

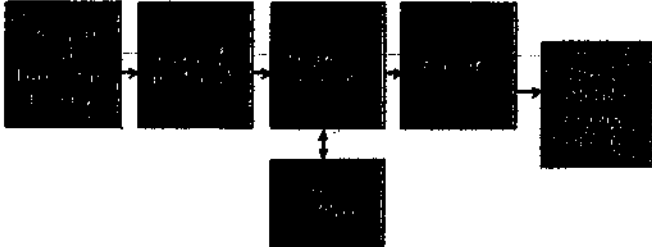


Figure 2: Ciclo de produção/fases de desenvolvimento de um veículo aeroespacial apoiadas por simulações.

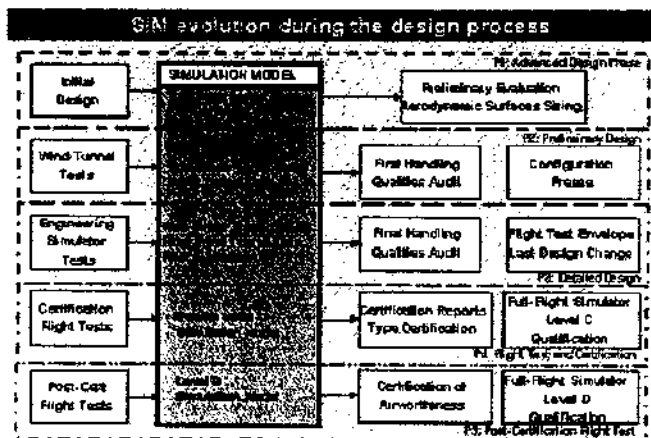


Figure 3: Simulações usadas no ciclo de produção/fases de desenvolvimento de um veículo aeroespacial.

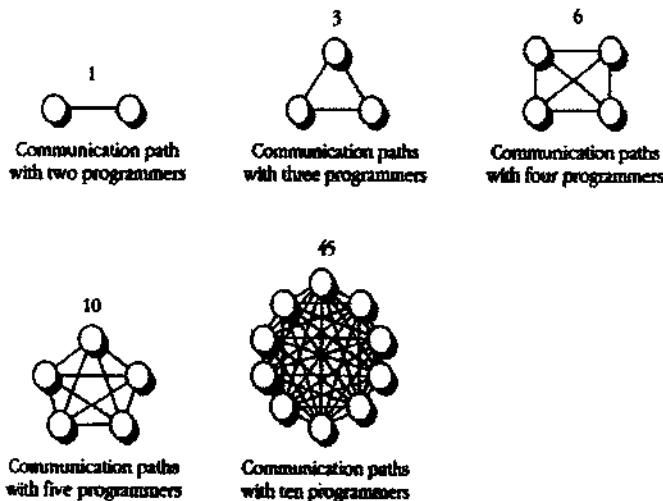


Figure 4: Característica: o crescimento combinatório da comunicação mútua de programadores pode reduzir a confiabilidade.

que não existiam ou que eram negligenciados anteriormente e que podem ser resolvidos com o suporte de simulação e prototipação rápida, incluindo aquelas com hardware ou pilotos na malha. Estas características (veja Figs. 4-7, Tabelas 1,2) tornaram fundamental o reuso de modelos dos diversos sistemas ao longo das diversas fases do produto como forma de redução de prazos e custos, aumento da confiabilidade, maior facilidade de certificação, fidelidade para treinamento, reprodução e investigação de falhas ou acidentes, etc.

Distribuição do Esforço

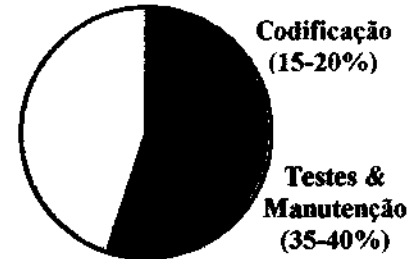


Figure 5: Característica: Percentagem da distribuição do esforço em sistemas comerciais.

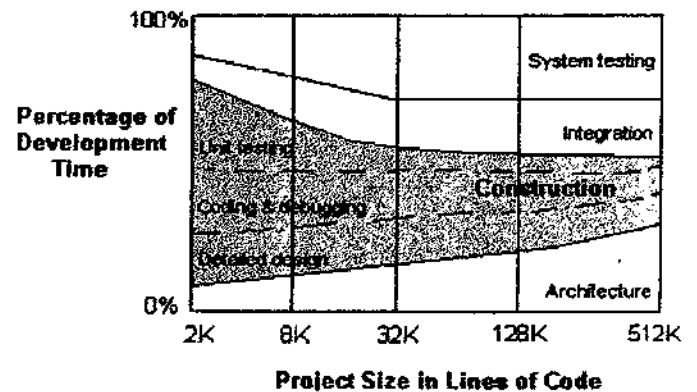


Figure 6: Característica: percentagem do tempo de desenvolvimento X N°. de linhas de código em sistemas comerciais.

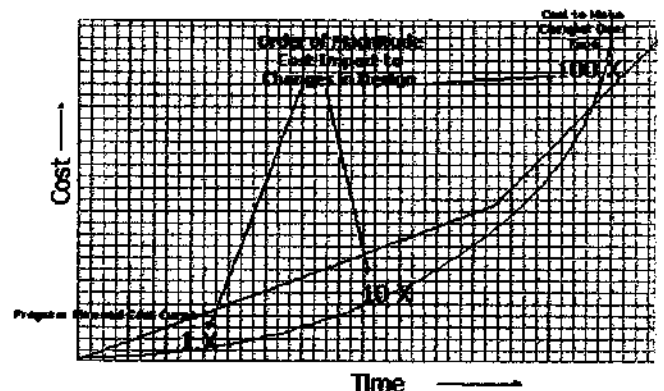


Figure 7: Característica: crescente custo das mudanças X tempo em sistemas comerciais.

Tabela 1: Característica: crescimento exponencial do número de linhas de código com o modelo/tempo

Modelo	F-15 EAGLE (ACS)	ALX (basic)	F-22	J5F	Próximo
Linhas Cód	12.000	250.000	1.500.000	3.500.000	???

Tabela 2: Característica: alta conf./custo de acidentes/falhas

Acidentes/Falhas	Aeroporto de Denver	Ariane 5.01	Chernobyl:	Próximo
Custos	US\$300.000.000	US\$2.000.000.000	100.000 vidas	???

## AMBIENTES DE MODELAGEM, IDENTIFICAÇÃO E SIMULAÇÃO: CONCEITOS BÁSICOS, TIPOS, CARACTERÍSTICAS, ETC.

**AMBIENTE DE MIS:** É um conjunto integrado de recursos físicos, matemáticos, lógicos, computacionais, etc., para modelar ou identificar um sistema, processo, fenômeno, ser ou entidade e/ou simular a sua evolução em um meio, com uma linguagem, e com um objetivo ou ponto de vista.

**COMPROMISSO BÁSICO:** O compromisso básico de qualquer ambiente de MIS é: simplicidade x fidelidade.

**TIPOS, CARACTERÍSTICAS, MÉTODOS DE SIMULAÇÃO/SIMULADORES:** Os tipos mais comuns de ambientes de MIS classificados por/são:

- Modelos: físicos, matemáticos, lógicos, computacionais;
- Formalismo evolutivo/evolutor: tempo contínuo  $t$ , tempo discreto  $t_k = k.t$  (síncronos), eventos discretos  $e_k : x(k.t) = x_k$  (assíncronos);
- Relação tempo simulado  $\tau$  / tempo natural  $t$ : tempo virtual  $\tau \neq t$ , tempo real  $\tau = t$ , tempo mais que real  $\tau > t$  ("câmera rápida", "modo combate"), tempo menos que real  $\tau < t$  ("câmera lenta");
- Interações homem-máquina: construtiva V-V, virtual R-V, ao vivo R-R;
- Interfaces/linguagens: físicas x virtuais/comandos x visuais;
- Distribuição espacial e temporal: concentrada ("stand-alone, computing unit") x paralela, distribuída ("computing cluster, topology, commun. network /protocols");
- Processador/ hardware/homem na malha: 1 processador ("stand-alone") x 2, ..., p processadores x s sensores x a atuadores x m pilotos na malha;
- Num. de objetos/atores e interações: pequena x mega;
- Especialização de hardwares/software/sistemas operacionais: "Computer Off The Shelf-COTS" (PCs) x customizadas;
- Standards/normas/paradigmas: físicos x linguagens x programação/documentação/testes x aplicações x ambientes x arquiteturas.

**CONSIDERAÇÕES SOBRE TIPOS E CARACTERÍSTICAS DE AMBIENTES MIS:** As considerações mais

comuns sobre os tipos e características de ambientes de MIS são:

- Simulações em tempo real e apoio para modelagem com HIL são crescentemente reconhecidas como ferramentas essenciais para o projeto aeronáutico. HIL não é mais um luxo no moderno projeto de sistemas;
- Softwares de simulação são notoriamente difíceis de escrever, depurar e manter;
- Códigos em tempo real, de alto desempenho, livres de paradas fatais, distribuídos, são ainda mais difíceis;
- Softwares que automaticamente geram, importam e rodam códigos obedecendo às restrições mencionadas acima, sem forçar o usuário a escrever qualquer código alvo, são cada vez mais usados;
- Softwares e hardwares comerciais-COTS permitem grandes reduções de custo e de esforço de engenharia; softwares-COTS substituíram o desenvolvimento customizado;
- PCs suplantaram as estações de trabalho e até computadores centrais para muitas aplicações de simulação e controle;
- PCs agregados, PCs embutidos, cartões gráficos de alto desempenho e outras tecnologias aumentaram a faixa de aplicações que podem se beneficiar do baixo custo dos hardwares comerciais-COTS;
- Pacotes de simulação comerciais como o Matlab/Simulink™ e o Matrixx/Systembuild™ são agora amplamente usados na indústria aeronáutica; eles se tornaram as ferramentas de modelagem preferidas;
- Interfaces gráficas implementam as metodologias por diagramas de blocos ensinadas em universidades e escolas técnicas; isto reduz o tempo de aprendizado e aumenta a produtividade da engenharia;
- A geração e a documentação automáticas de código livram os engenheiros do tedioso e errático trabalho de escrever códigos; elas tornam possível ir do conceito à simulação sem jamais ter que escrever códigos.

## AMBIENTES DE MIS: MÉTODOS & TÉCNICAS

- Modelo não linear x linearização em torno de condições operacionais dadas;
- Solução analítica x numérica de equações algébricas e malhas algébricas;
- Integração analítica x analógica x numérica de equações diferenciais ordinárias;
- Integração por elementos finitos x por diferenças finitas de equações diferenciais parciais;
- Simulação determinística x estatística (Monte Carlo) via projeto de experimentos;
- Interpolação x extrapolação de dados via mínimos quadrados, ajuste de curvas, splines, etc.;
- Tempo contínuo x tempo discreto via discretização no tempo com amostrador e segurador;

- Evolução por tempo (síncrona) x evolução por eventos (assíncrona) x mistura de ambas;
- Simulação em tempo real x tempo virtual (“câmera lenta x câmera rápida”);
- Micro-simulação x mega-simulação via unidade computacional x agregado computacional;
- Simulação concentrada x distribuída via 1 x 2,..., p processadores na malha;
- Simulação com software x hardware (processadores, sensores, atuadores) x homem na malha;
- Simulação sequencial x simultânea via 1x2,...,p processadores+relógios e redes/protocolos de comunicação.

**AMBIENTES DE MIS: REQUISITOS DA INDÚSTRIA AEROESPACIAL**

Para o uso adequado dos ambientes de simulação nos ciclos de produção de um veículo aeroespacial é necessário observar os aspectos importantes de cada uma dessas fases em relação a estes ambientes. Os projetos atuais nesta área são desenvolvidos até por grupos distribuídos em diversas partes do planeta, o que demanda a padronização ou universalidade como requisito necessário para que a especificação dos sistemas tenha o mesmo significado entre os diversos grupos. Em algumas áreas, dependendo da qualidade dos modelos utilizados, a fase de projeto praticamente se funde com a fase de especificação. A interoperabilidade dos modelos e dos códigos gerados é essencial para a prototipação de sistemas sob diferentes aspectos técnicos e em diferentes locais na fase de desenvolvimento e, também, para permitir ambientes adequados para a integração e testes de subsistemas. Estes mesmos modelos devem ser reutilizados em dispositivos de produção e testes na linha de montagem.

Todos estes protótipos, no todo ou em parte, podem e devem ser utilizados para a certificação do produto junto aos órgãos homologadores (FAA, JAA, CTA, etc.), para treinamento de membros envolvidos durante o programa e para treinamento de clientes na operação e manutenção do produto final. Deve ser possível o reuso e a incorporação de software legado (herdado de outros projetos), que já foram validados e aprovados. Com a inclusão destes requisitos no início da fase de especificação, tem-se ao final verdadeiros

sistemas simulados disponíveis para a investigação de falhas e manutenção do produto desenvolvido. O software de simulação pode ser utilizado para marketing ou para suporte a vendas durante o desenvolvimento do produto e no pós-venda. O uso de ambientes que atendam esses requisitos desde a concepção do produto representa uma economia de valores significativos, com benefícios na confiabilidade do produto e na redução do prazo de desenvolvimento.

**EXEMPLOS DE AMB.DE MIS PARA SIMUL.COMP. GERAL: MATLAB, MATRIXx, CONSTELLATION**

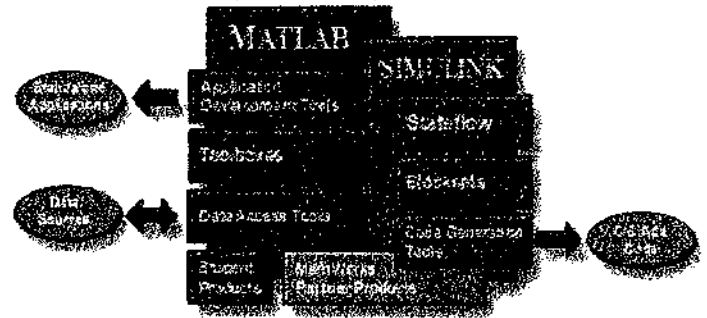


Figura 8: O ambiente de MIS MATLAB™ & família.

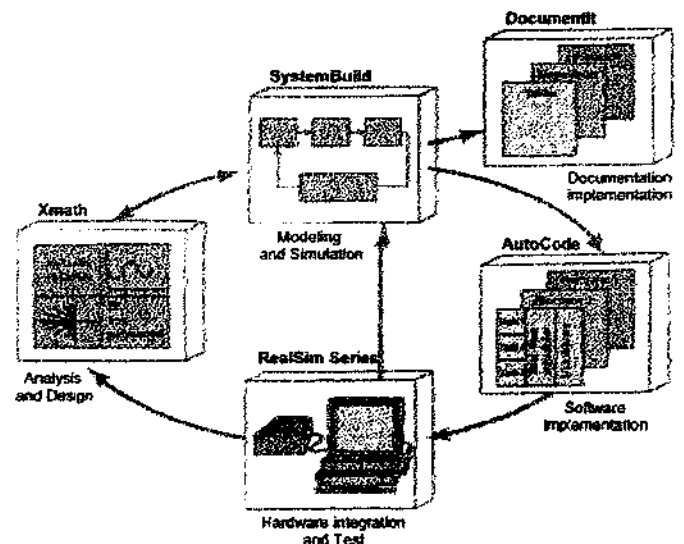


Figura 9: O ambiente de MIS MATRIXx™ & família.

Tabela 1: Comparação de funções dos ambientes de MIS MATRIXx™ e MATLAB™.

Item	MATRIXx	MATLAB
Instalação	Necessita suporte	Fácil
Uso	Fácil e intuitivo	Fácil e intuitivo
Plataforma	DOS/WINDOWS, OpenVMS, UNIX, VxWorks, PSOS	DOS/WINDOWS, OpenVMS, UNIX, VxWorks, Maços (5.3)
Suporte	Muito bom	Muito bom
Interfaces	Visual, gráfica e intuitiva	Visual, gráfica e intuitiva
Recursos para modelagem e simulação	Muito bons	Muito bons, e vastos, considerando as toolboxes
Controle de simulação	Pausar, continuar, e re-executar	Pausar, continuar, e re-executar
Apresentação de resultados	Objetos gráficos	Objetos gráficos
Documentação de projeto	Muito boa	Muito boa
Documentação de código	Muito boa	Pobre
Geração de código	C e ADA	C (com restrições) e ADA
Conversão contínua discreta	Automaticamente (Euler prógrada, retrógrada, e Tustin)	Demanda a inclusão de "amostrador e segurador" no modelo
Suporte a tempo real	Sim	Toolbox de terceiros

O amb.de MIS Constellation & familia é(Figs.10-13):

- Um Ambiente de Desenvolvimento de Aplicações;
- Mais focado que ferramentas de ling. de modelagem;
- Inclui um Quadro de Trabalho de Aplicações;
- Inclui um ambiente de desenvolvimento completo;
- Suporta especific. controles & simulações complexas;
- Agiliza seus desenvolvimentos.

ScopeTools



Constellation



See it, Understand it,  
Make it Work

The Tool for Intelligent Control

WaveWorks/NDDS



### Real-Time Networking Made Simple

Figura 10: O ambiente de MIS Constellation™ & familia.

### The Power of Focus

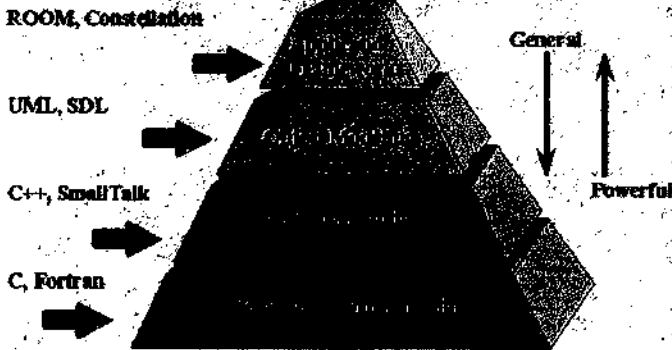


Figura 11: Paradigmas de amb. x Constellation™ & familia.

Application Framework = the architecture for your application

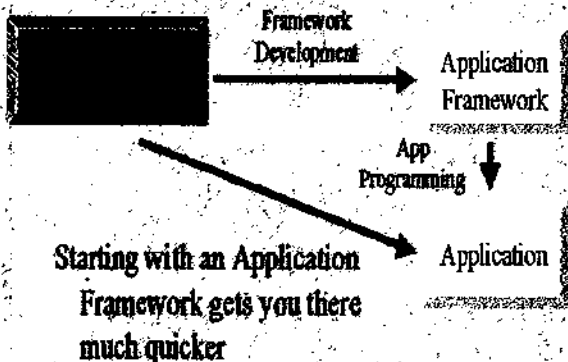
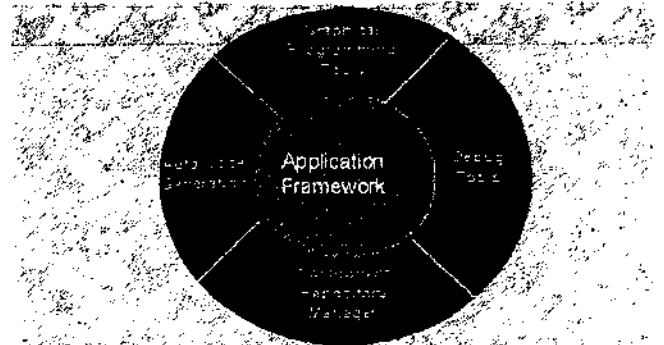


Figura 12: Quadro de Trabalho de Aplicações para aplicações baseadas na UML.



### Application Development Environment

An application development environment includes a targeted application framework with lots of integrated productivity tools

Figura 13: Um Amb. Des. Aplic. e seu Quadro Trab. Aplic.

EXEMPLOS DE AMB. MIS PARA SIMULAT. COMPUT. AERONAVES: MAST, VAPS, STAGE, QCG



Figura 14: O Treinador de Sistemas Avionics para Missões-MAST™.

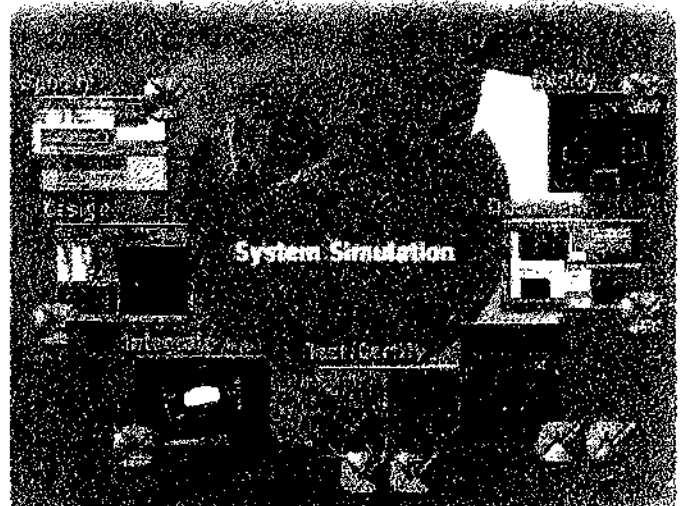


Figura 15: Os ambientes VAPS™, STAGE™, QCG™.

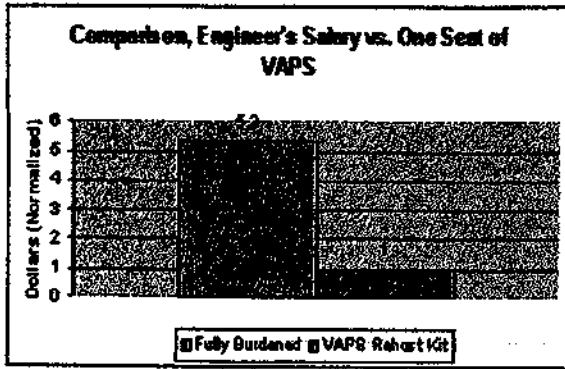


Figura 16: Economia obtida com o VAPS.

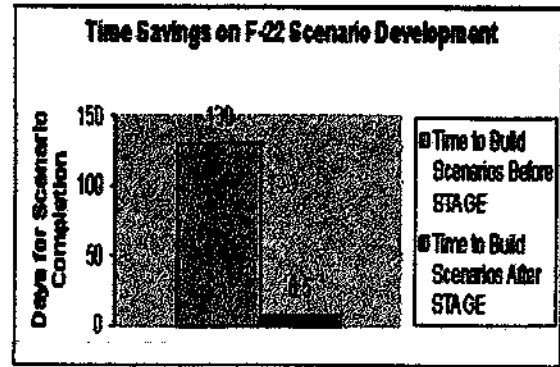


Figura 19: Produtividade obtida com o STAGE.

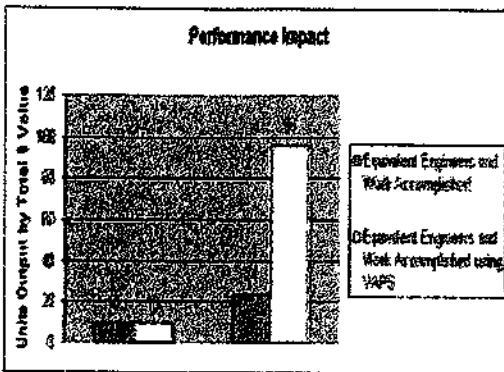


Figura 17: Produtividade obtida com o VAPS.

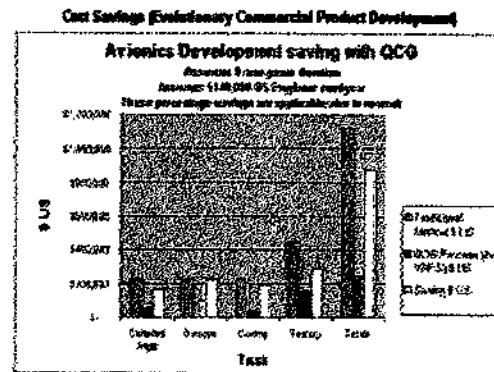


Figura 20: Economia obtida com QCG (desenvol.comum).

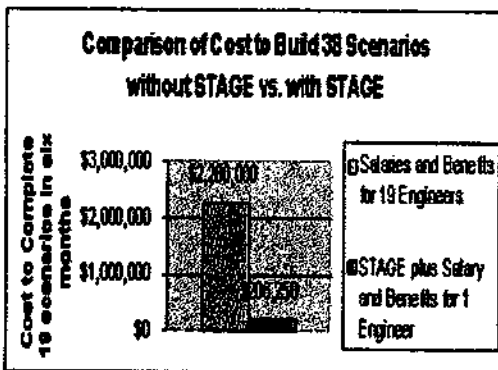


Figura 18: Economia obtida com o STAGE.

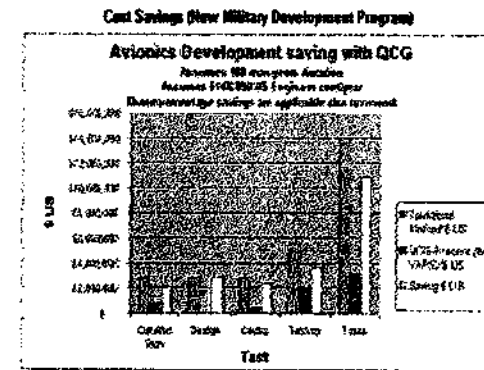


Figura 21: Economia obtida com QCG (desenvol. militar).

**EXEMPLOS DE APLICAÇÕES À SIMULAÇÃO E AO CONTROLE DE VEÍCULOS AEROSPACIAIS**



Figura 22: O Simulador de Vôo Reconfigurável -REFS™.



Figura 23: Um simulador (comp.) de aeroportos & tráfego™.





Figura 24: Um simul.(comp.)de um teatro de operações™



Figura 26: Um simulador (físico & computacional) para treinamento de pilotos de F16™ (UTD™).



Figura 25: Um simul.(comp.) de combate azul x verm.™



Figura 27: Um simulador (físico & computacional) para treinamento de pilotos de AIRBUS A320™.

## COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Neste trabalho discutimos alguns tipos de simuladores e simulações, suas características e aplicações à simulação e ao controle de veículos aeroespaciais. Isto incluiu: as definições básicas, tipos e características de simuladores e simulações (físicos, computacionais, híbridos, etc.; a eventos discretos, tempo discreto, tempo contínuo, etc; determinísticos, estocásticos, etc.) seu compromisso básico (simplicidade x fidelidade), suas interfaces homem-máquina e suas interações (virtual, construtiva, ao vivo, etc.), suas leis de evolução (por tempo, eventos, mista, etc.), suas arquiteturas ("stand-alone", PIL, HIL, MIL, DIS, HLA, etc.), seus ambientes (discreto, contínuo, híbrido, etc.) e suas aplicações à simulação e ao controle de veículos aeroespaciais. Isto foi ilustrado por vários exemplos tomados da indústria aerospacial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1-Trivelato, G.C. "Controle de Rodas de Reação Através de Técnicas Digitais Usando Modelos de Referência", INPE, São José dos Campos, SP, Brasil, 25/02/1988 (Master Dissertation, INPE-4618-TDL/335).

2-Prudêncio, S.V. "Simulação Digital em Tempo Real de um Sistema de Controle de Atitude Magnético Autônomo de um Satélite", INPE, São José dos Campos, SP, Brasil, 09/10/1997 (Master Dissertation, INPE-7514-TDI/727) (CNPq).

3-Barbosa, D.S. "Simulação e Implementação Digital do Controle Autônomo da Atitude de Satélites Estabilizados por Rotação via Bobinas Magnéticas", INPE, São José dos Campos, SP, Brasil, 09/10/1997 (Master Dissertation, INPE-7993-TDI/747) (CAPES).



4-Guerra, R. "Projeto e Simulação do Controle de Atitude Autônomo de Satélites Usando Lógica Nebulosa", INPE, São José dos Campos, SP, Brasil, 27/02/1998 (Master Dissertation, INPE-6714-TDI/630) (CAPES-FAPESP).

5-Araújo, P.T. "Simulação Digital, com Sensores na Malha, de Sistemas de Controle de Atitude de Satélites Artificiais". INPE, São José dos Campos, SP, Brasil, 25/02/1999 (Master Dissertation, INPE-7175-TDI/677) (CAPES).

6-Tredinick, M.R.A.C. "Controle Discreto da Atitude de Satélites Artificiais com Apêndices Flexíveis". INPE, São José dos Campos, SP, Brasil, 26/02/1999 (Master Dissertation, INPE-7179-TDI/680) (CAPES).

7-Amoroso, A.L. "Um Método de Análise, e Especificação de Sistemas com Requisitos de Desempenho, Custo e Confiabilidade, Aplicado a Rodas a Reação". INPE, São José dos Campos, SP, Brasil, 04/10/1999 (Master Dissertation, INPE-7517-TDI/730) (CAPES).

8- Souza, M.L.O., Nunes, D. "Forecasting Space Debris Distribution: A Measure Theory Approach". Paper IAA-00-IAA.6.4.07 presented at the "51th. International Astronautical Congress-IAC", Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2-6/10/2000.

9-Trivelato, G.C.; Souza, M.L.O. "Comparing MATRIXx and MATLAB for Modeling, Designing and Simulating Flight Control Systems". Paper AIAA 2001-4187 presented at the "2001 AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit", Montreal, Quebec, Canadá, 06-09/08/2001.

10-Trivelato, G.C.; Souza, M.L.O. "Comparando MATRIXx e MATLAB para Modelagem e Simulação de Veículos Aeroespaciais". Paper TRB2439 presented at the "XVI Brazilian Congress of Mechanical Engineering - COBEM", Uberlândia, MG, Brasil, 26 - 30/11/2001.

11-Souza, M.L.O.; Trivelato, G.C. "Panorama Mundial de Simuladores Disponíveis - Visando a Simulação e o Controle de Veículos Aeroespaciais. Paper presented at the "Innovation2003 Conference", Itu, SP, Brasil, 31/07-01/08/2003.

12-Trivelato, G.C.; Souza, M.L.O. "Improving the Rate Monotonic and the First Deadline First Schedulers for Real Time Simulation and Control of Aerospace Vehicles." Paper AIAA 2003-5814 presented at the "2003 AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit", Austin, TX, USA, 11-14/08/2003.

13-Trivelato, G.C.; Souza, M.L.O. "Characteristics and Applications of the New High Level Architecture-HLA to Parallel or Distributed Simulation and Control of Aerospace Vehicles." Paper AIAA 2003-5454 presented at the "2003 AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit", Austin, TX, USA, 11-14/08/2003.

14-Souza, M.L.O.; Trivelato, G.C. "Simulators and Simulations: their Characteristics and Applications to the Simulation and Control of Aerospace Vehicles". Paper SAEBrasil2003-00368 presented at the "12th. International Congress and Exposition of the Mobility Technology-SAE Brasil2003", São Paulo, SP, Brasil, 18-20/11/2003.

## SOBRE O 1º AUTOR

Dr. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza é Engenheiro de Eletrônica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA, em São José dos Campos, São Paulo, Brasil em 1976. Desde então, ele é um Engenheiro Profissional Registrado no Brasil pelo Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia -CONFEA, Seção de São Paulo-CREA-SP. Ele entrou no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE em São José dos Campos, São Paulo, Brasil em 1977 no primeiro grupo a ali estudar e trabalhar com satélites. Ele esteve na primeira missão técnica sobre satélites do INPE/Brazil a estudar e trabalhar com satélites no Centre National D'Etudes Spatiales-CNES, em Toulouse, France em 1979. Ele é Mestre em Ciência Espacial/ Mecânica Orbital pelo INPE em 1980. Ele é Ph.D. em Aeronautics and Astronautics pelo Massachusetts Institute of Technology-MIT em Cambridge, Massachusetts, USA, em 1985. Ele é Professor & Pesquisador Titular A3 da Divisão de Mecânica Espacial e Controle -DMC of INPE desde 1991, onde ele está coordenando o Laboratório de Ambientes de Simulação, Identificação e Modelagem-LABSIM2 de Sistemas de Controle de Atitude e de Órbita desde 2002. Desde 1977 ele tem trabalhado e orientado trabalhos em vários aspectos de SCAOs; e mais recentemente, sobre Modelagem, Identificação, Simulação e Controle de Sistemas Dinâmicos (principalmente Aeroespaciais), e seus Ambientes de Desenvolvimento, como em [1-14]. Ele é um membro senior de associações prestigiosas como o AIAA, ISA, MIT Alumni Association, etc. em cujas revistas e congressos ele publicou muitos trabalhos naquelas áreas e em outras relacionadas. Escreva para [marcelo@dem.inpe.br](mailto:marcelo@dem.inpe.br) ou:

Marcelo L. O. Souza  
Professor e Pesquisador Titular A3  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE  
Divisão de Mecânica Espacial e Controle -DMC  
Av. dos Astronautas, 1758, Prédio Satélite  
São José dos Campos, São Paulo, 12227-010, Brasil



**Título**

Panorama Mundial de Simuladores Disponíveis - Visando a Simulação e o Controle de Veículos Aeroespaciais.

**Autor**

Marcelo Lopes de Oliveira e Souza, Gilberto da Cunha Trivelato

**Tradutor**

Não há.

**Editor**

BELGE Simulação e Sistemas LTDA.

Origem	Projeto	Série	No. de Páginas	No. de Fotos	No. de Mapas
DMC			9		

**Tipo**

RPQ  PRE  NTC  PRP  MAN  PUD  TAE

**Divulgação**

Externa  Interna  Reservada  Lista de Distribuição Anexa

**Periódico / Evento**

Trabalho apresentado no Simpósio Innovation 2003, ITU, SP, realizado de 31/07/03 à 01/08/03.

**Convênio**

**Autorização Preliminar**

26/8/03

Data

*[Signature]*  
Titular da Unidade

**Revisão Técnica**

Solicitada  Dispensada

Recebida 18/08/03 Devolvida 25/08/03

*Leonel Fortes de Barros*  
Engenheiro de Telecomunicações Espaciais  
Titular de Nível "A"  
*[Signature]*  
Assinatura do Revisor

**Revisão de Linguagem**

Solicitada  Dispensada

Recebida 18/08/03 Devolvida 25/08/03

*Leonel Fortes de Barros*  
Engenheiro de Telecomunicações Espaciais  
Titular de Nível "A"  
*[Signature]*  
Assinatura do Revisor

**Autorização Final**

26/8/03

Data

*[Signature]*  
Titular da Unidade

**Palavras Chave**

Simulação, Simuladores, Controle, Veículos Aeroespaciais.



Secretaria	
_/_/_ Data	Recebida _/_/_    Devolvida _/_/_
_____ Encaminhado Por	_____ Devolvido Por

Controle e Divulgação	
_/_/_ Data	Recebido Por: _____    Devolvido Para: _____
Pronto Para Publicação em: _/_/_	_/_/_ Data
No. _____    Quant. _____	_____ Assinatura

Observações



**Título**

Panorama Mundial de Simuladores Disponíveis - Visando a Simulação e o Controle de Veículos Aeroespaciais.

**Autor**

Marcelo Lopes de Oliveira e Souza, Gilberto da Cunha Trivelato

**Tradutor**

Não há.

**Editor**

BELGE Simulação e Sistemas LTDA.

Origem	Projeto	Série	No. de Páginas	No. de Fotos	No. de Mapas
DMC			9		

**Tipo**

RPQ  PRE  NTC  PRP  MAN  PUD  TAE

**Divulgação**

Externa  Interna  Reservada  Lista de Distribuição Anexa

**Periódico / Evento**

Trabalho apresentado no Simpósio Innovation 2003, ITU, SP, realizado de 31/07/03 à 01/08/03.

**Convênio**

**Autorização Preliminar**

26/8/03

Data

Titular da Unidade

**Revisão Técnica**

Solicitada

Dispensada

Recebida 18/08/03 Devolvida 25/08/03

Leonel Fernando Brandi  
Coordenador Técnico Especial

Titular de Nível "A"

Assinatura do Revisor

**Revisão de Linguagem**

Solicitada

Dispensada

Recebida 18/08/03 Devolvida 25/08/03

Leonel Fernando Brandi  
Coordenador Técnico Especial

Titular de Nível "A"

Assinatura do Revisor

**Autorização Final**

26/8/03

Data

Titular da Unidade

**Palavras Chave**

Simulação, Simuladores, Controle, Veículos Aeroespaciais.



<b>Secretaria</b>	
_/_/_ Data	Recebida _/_/_    Devolvida _/_/_
_____	_____
<b>Encaminhado Por</b>	<b>Devolvido Por</b>

<b>Controle e Divulgação</b>		
_/_/_ Data	Recebido Por: _____	Devolvido Para: _____
Pronto Para Publicação em: _/_/_		_/_/_ Data
No. _____	Quant. _____	_____
		<b>Assinatura</b>

<b>Observações</b>