MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Curso de Inverno 2018
Introdução às Tecnologias Espaciais

CPRIME: Centro de Projeto Integrado de Missões Espaciais.

Fabiano L. de Sousa
Divisão de Sistemas Espaciais - (DIDSE)
Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (CGETE)
11Jul2018
fabiano.sousa@inpe.br

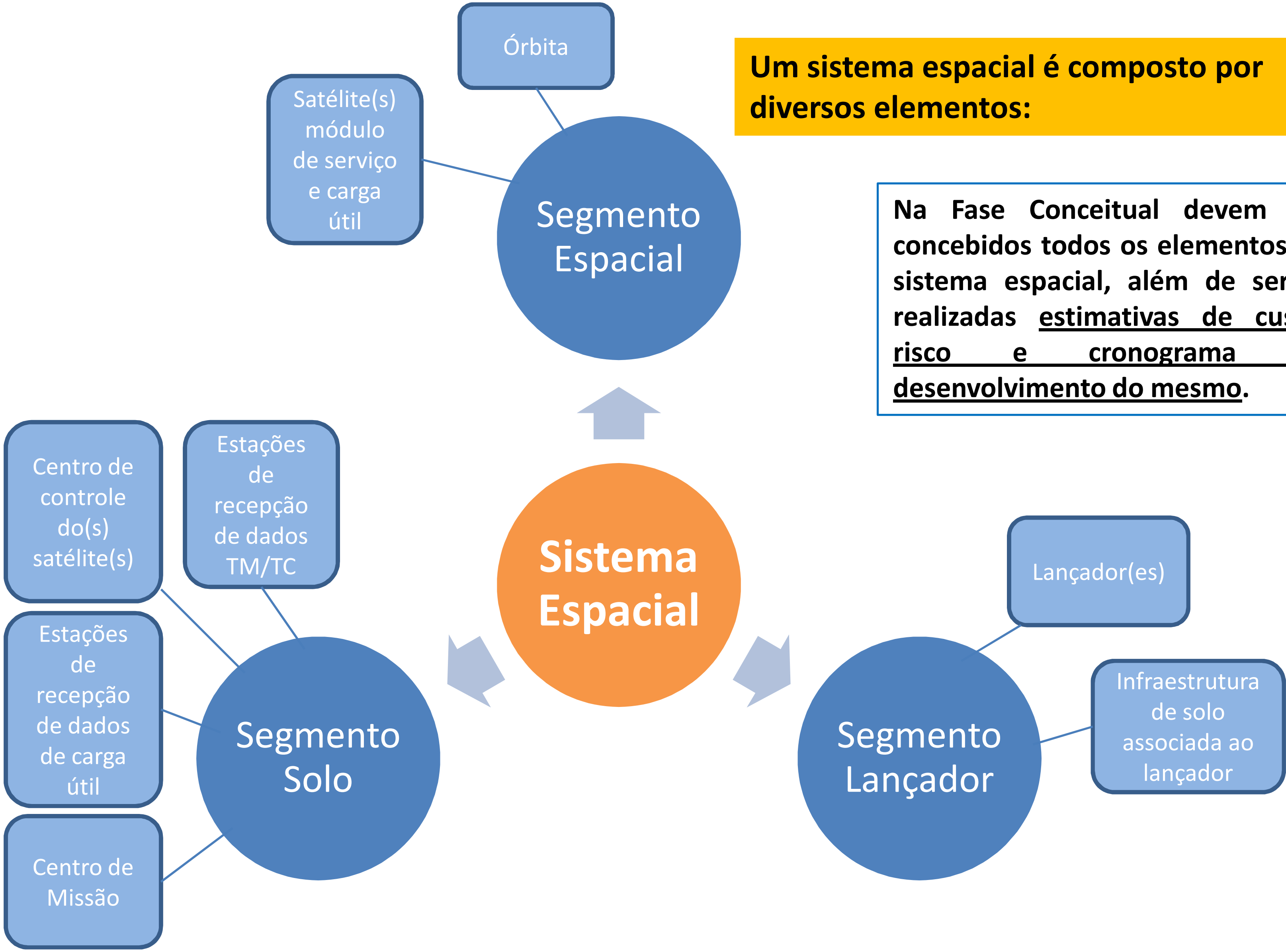
Criado no escopo de um projeto de P&D, que visava implantar na DIDSE/ETE um ambiente integrado de projeto para ser utilizado pela engenharia espacial do INPE para o projeto e análise conceitual (Foco na Fase 0 - Pré-Fase A) de sistemas espaciais, usando uma combinação de técnicas de engenharia simultânea e otimização de projeto multidisciplinar;

→ Instalações de engenharia simultânea como o CDF (ESA), CEF (DLR) e TeamX (JPL/NASA) foram utilizadas como benchmark para a instalação construída na DSE/ETE, no que concerne a aplicação de engenharia simultânea na fase conceitual de desenvolvimento de uma missão espacial.

Sistemas espaciais são construídos para atender diversos tipos de demandas:

Um sistema espacial é composto por diversos elementos:

Na Fase Conceitual devem ser concebidos todos os elementos do sistema espacial, além de serem realizadas <u>estimativas de custo, risco e cronograma de desenvolvimento do mesmo</u>.



O objetivo primário do CPRIME é, através do uso de engenharia simultânea em um ambiente de projeto integrado, prover os meios para que haja uma redução significativa no tempo em que a engenharia de satélites do INPE concebe opções de sistema, no atendimento aos objetivos de uma dada missão espacial, ao mesmo tempo em que a qualidade daquelas é incrementada, em relação ao processo tradicional de projeto.

A atuação do CPRIME é voltada primordialmente para as atividades de Fase 0 do ciclo de vida de um sistema espacial.

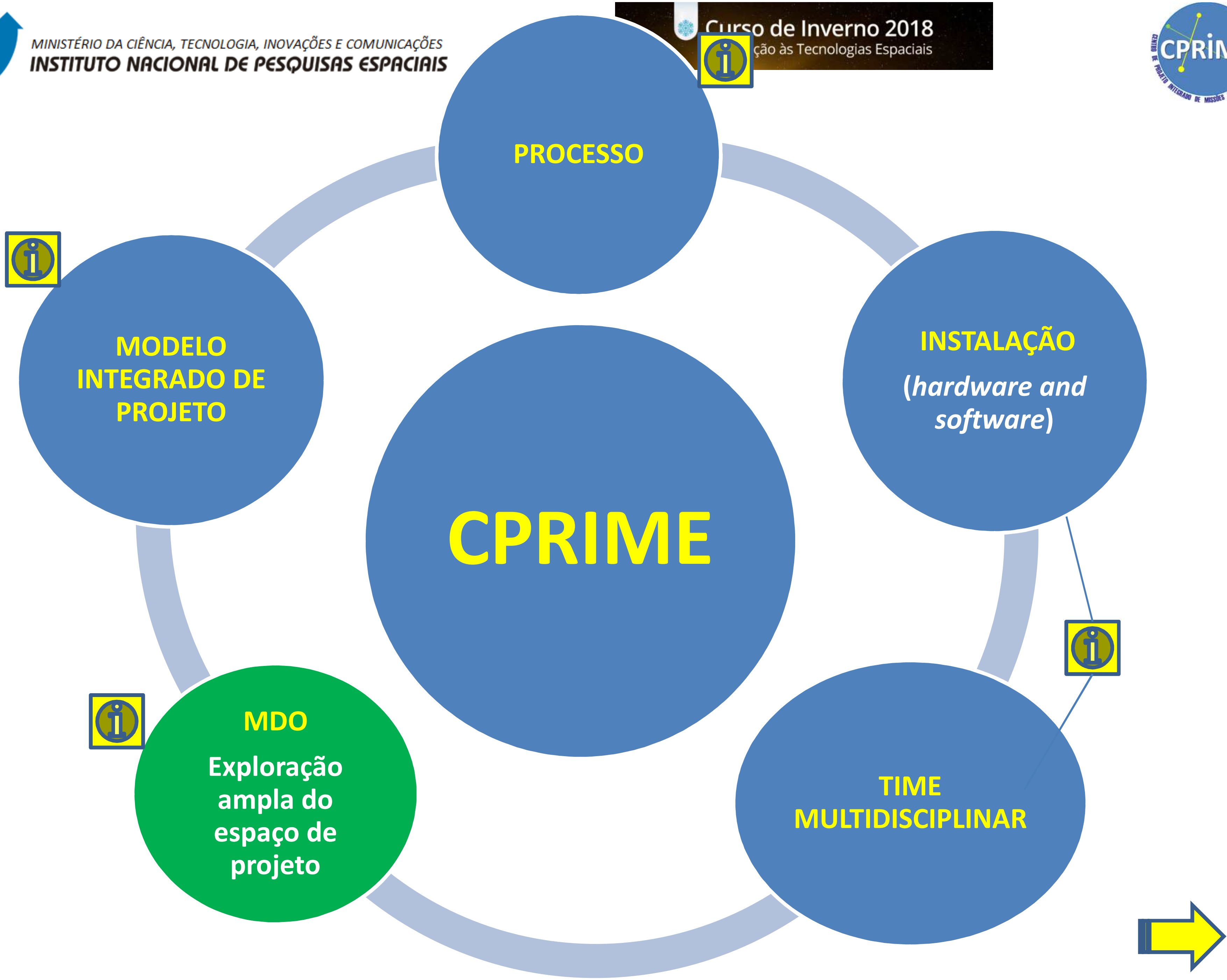
Propostas/idéias de missões espaciais (por exemplo, do Governo, comunidade científica, etc.)

Fase 0 (Pré-Fase A)
Identificação de necessidades, projeto conceitual e estudos de viabilidade do sistema

Fase A (Aprofundamento dos estudos de Viabilidade) → Fase B (projeto Preliminar) → Fase C (projeto Detalhado) → Fase D (Produção) → Fase E (Operação) → Fase F (Descarte)

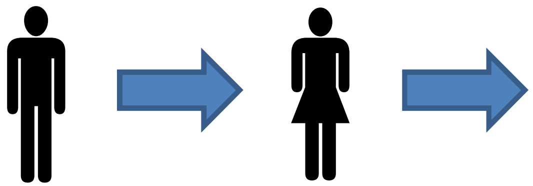
Fases do ciclo de vida de um sistema espacial

CPRIME

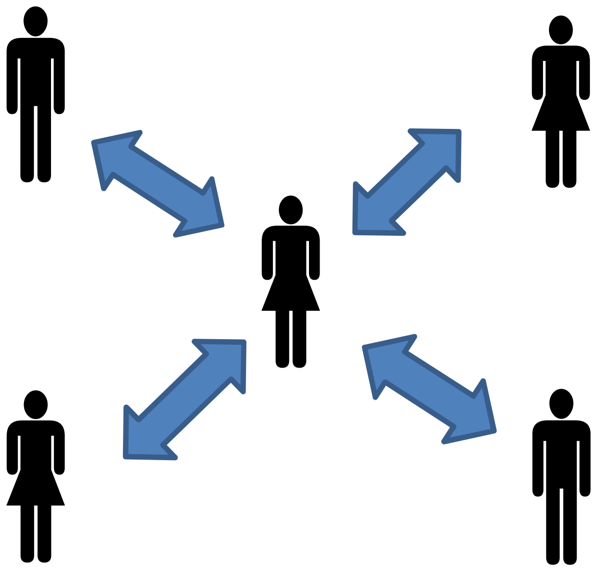

PROCESSO
INSTALAÇÃO
(*hardware and software*)
TIME MULTIDISCIPLINAR
MDO
Exploração ampla do espaço de projeto
MODELO INTEGRADO DE PROJETO
CPRIME

Processo

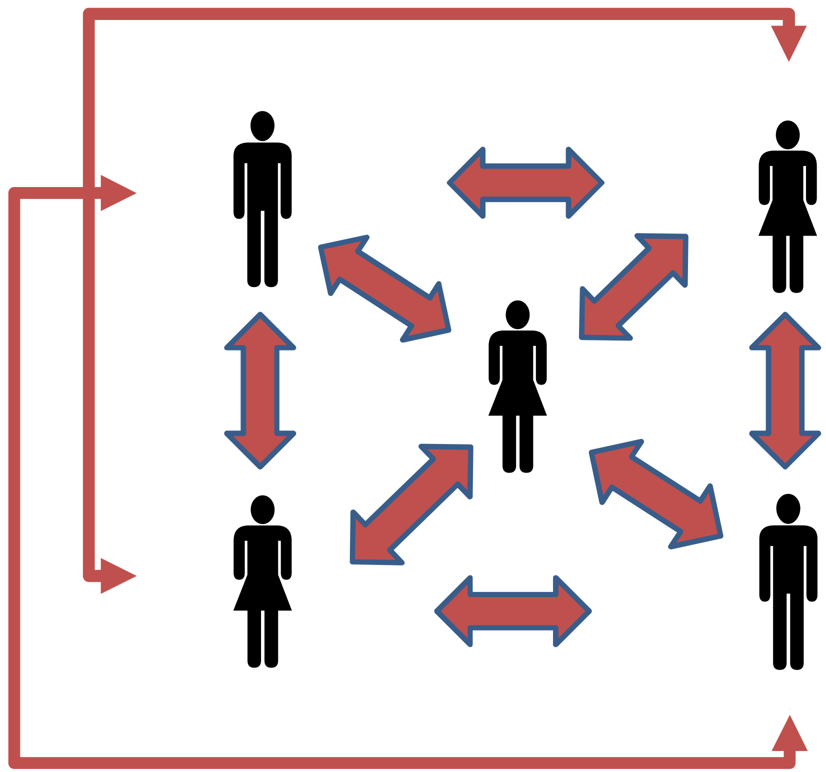
Fluxo da informação no projeto sequencial



Fluxo da informação no projeto centralizado



Fluxo da informação usando abordagem de engenharia simultânea



- Redução significativa na latência da informação: **Redução significativa no tempo de projeto.**
- Melhora na consciência sistêmica: **Projetos melhores.**

Fases e atividades típicas em um estudo no CPRIME

Início

Fase de preparação

- Entendimento dos objetivos do estudo;
- Definição do escopo do estudo;
- Definição preliminar dos requisitos operacionais, funcionais, programáticos e restrições para a missão;
- Definição preliminar do conceito de operações;

Fase de estudo no ambiente integrado de projeto

- Concepção de uma ou mais soluções de sistema para atendimento aos requisitos e restrições da missão;
- Avaliação comparativa de soluções para o sistema, do ponto de vista de atendimento a seus requisitos e restrições, custo , risco e tempo de desenvolvimento.

Fase de elaboração do relatório final do estudo

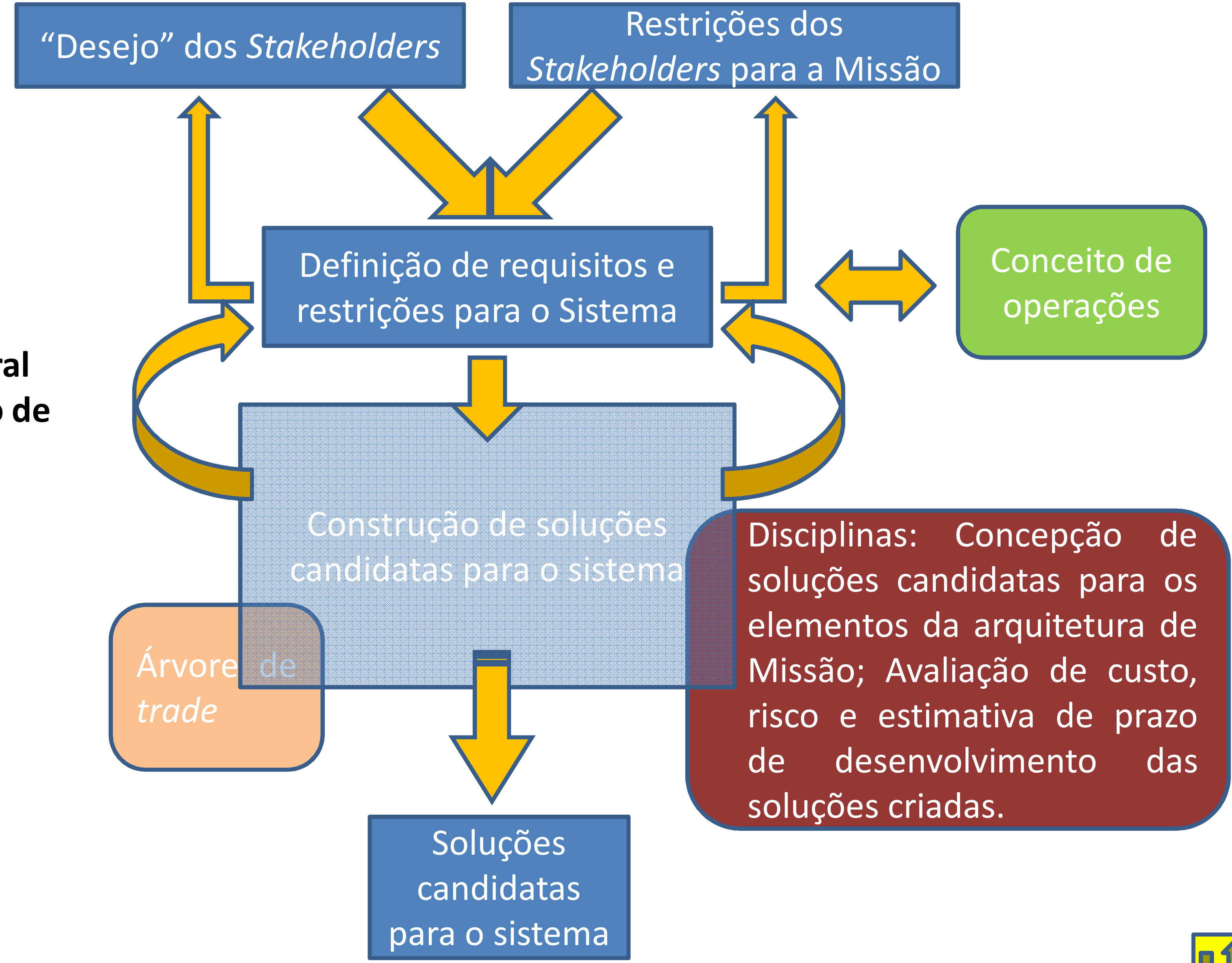
- Preparação de um relatório com descrição dos resultados do estudo, premissas assumidas e processo de concepção das soluções construídas.

Processo

- Os *stakeholders* demandantes do estudo participam da sua realização, seja ativamente (tipicamente na fase de preparação) ou acompanhando seu andamento.

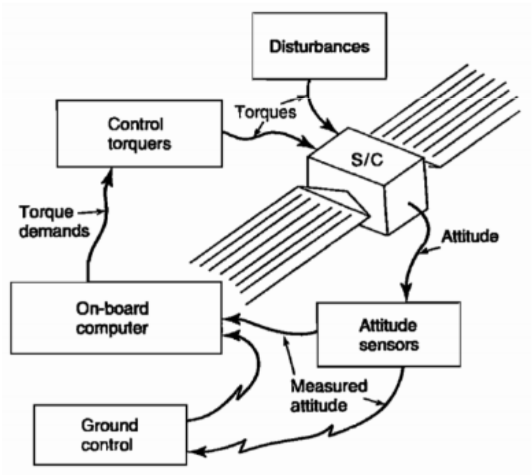
Processo

Estratégia Geral de construção de soluções candidatas

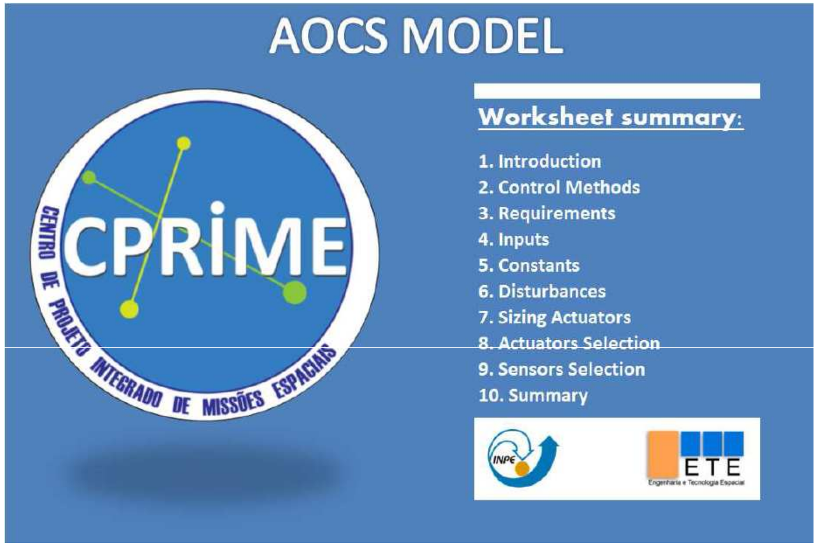


Um modelo de uma disciplina pode usar relações paramétricas, subrotinas implementadas numericamente, banco de dados, etc, ou uma combinação destes elementos.

Exemplo: Projeto do AOCS.



Modelo para projeto conceitual do AOCS construído utilizando Excel/VBA.



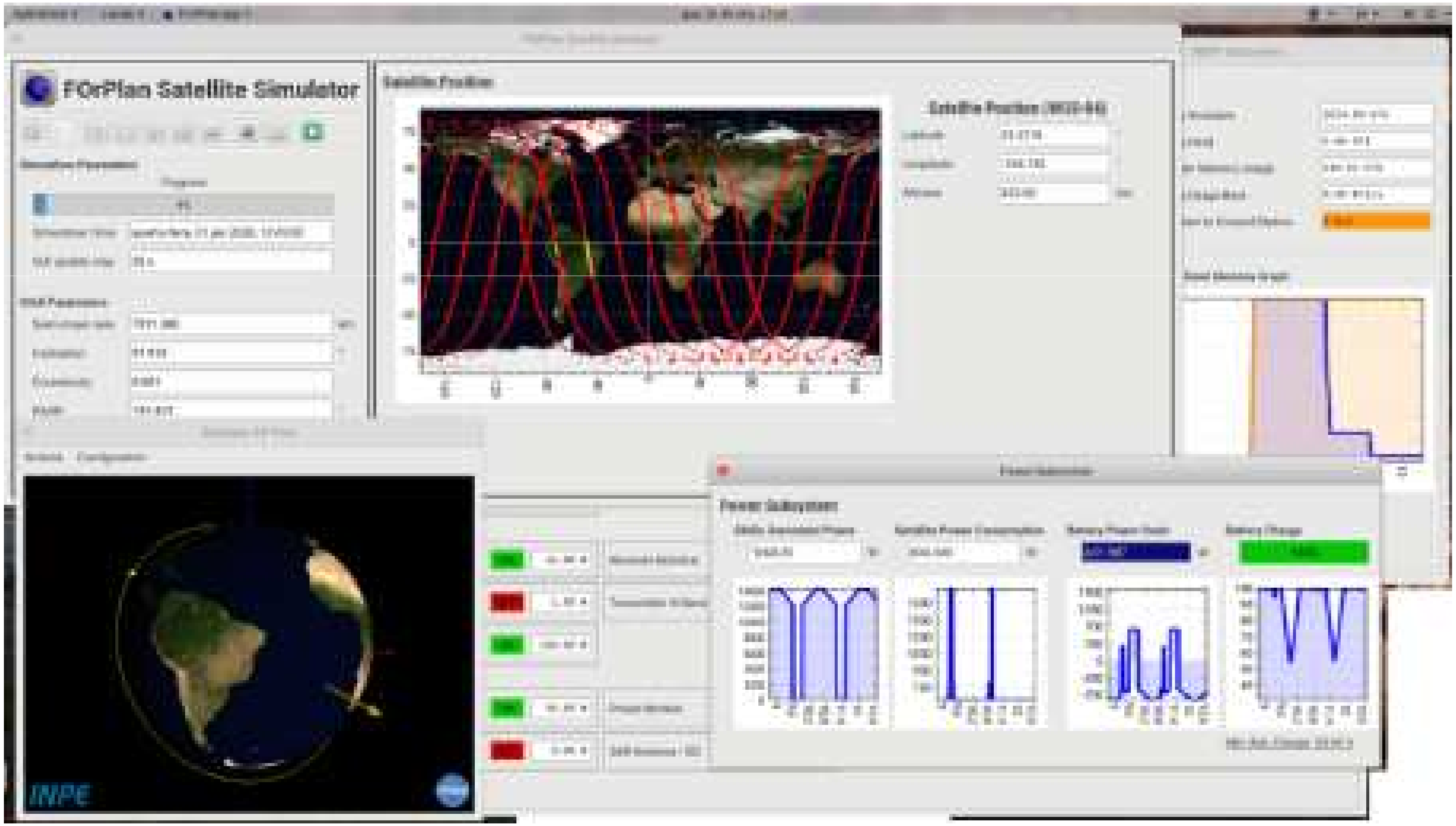
+

Banco de dados de sensores e atuadores.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Curso de Inverno 2018
Introdução às Tecnologias Espaciais

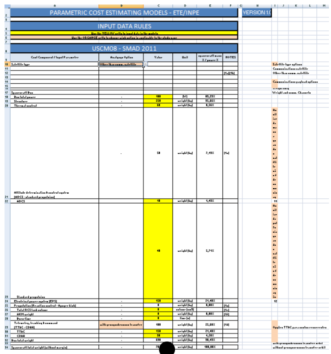
Simulador do Conceito de Operações

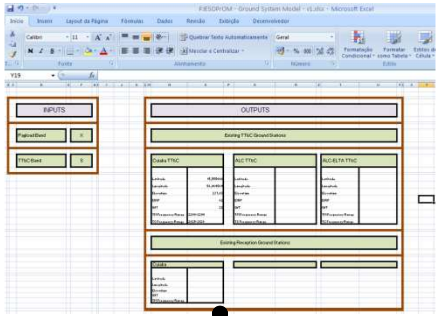


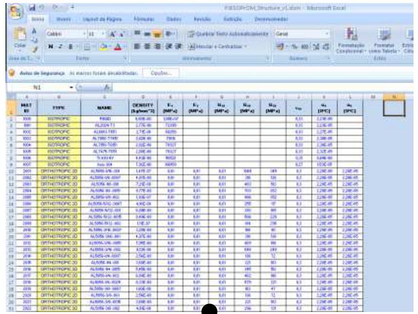
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

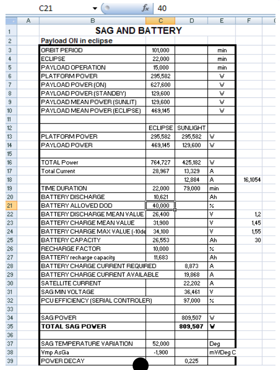
Curso de Inverno 2018
Introdução às Tecnologias Espaciais

Modelo Integrado de Projeto



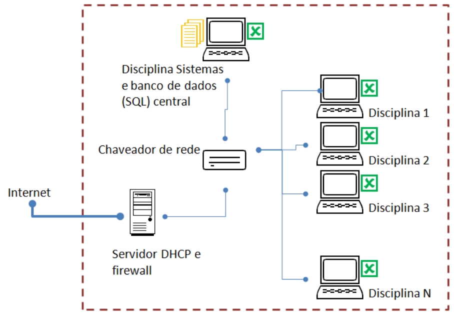


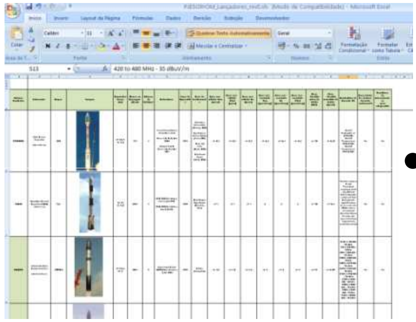


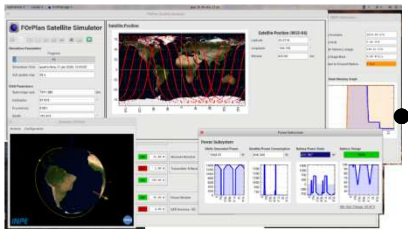


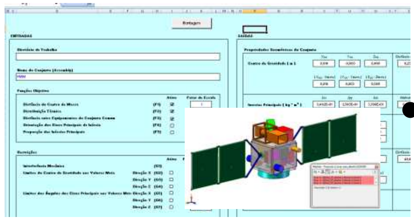
- Modelagem específica para cada disciplina, utilizando ferramentas comerciais ou proprietária;
- Armazenamento de parâmetros de projeto em um banco de dados central;
- Troca de dados entre as disciplinas por meio de acesso ao banco de dados central;
- Excel® utilizado como interface para entrada, recuperação e troca de dados;
- Simulação dinâmica do conceito de operações.

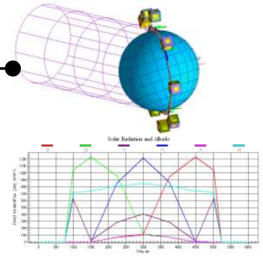
Intranet dedicada na sala de projeto do CPRIME

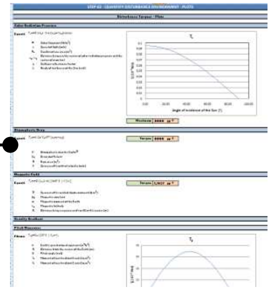


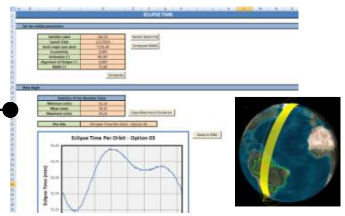












Disciplina N

- Sistemas
- Operações
- Análise de órbita
- Carga útil
- Controle de atitude e órbita
- Propulsão
- Supervisão de bordo
- Telecomunicações
- Potência
- Configuração (Layout)
- Mecanismos e pirotécnicos
- Estruturas
- Controle térmico
- Sistemas de solo
- Análise de possíveis lançadores
- Simulação
- Análise de abordagem de desenvolvimento
- Análise de risco
- Análise de custo

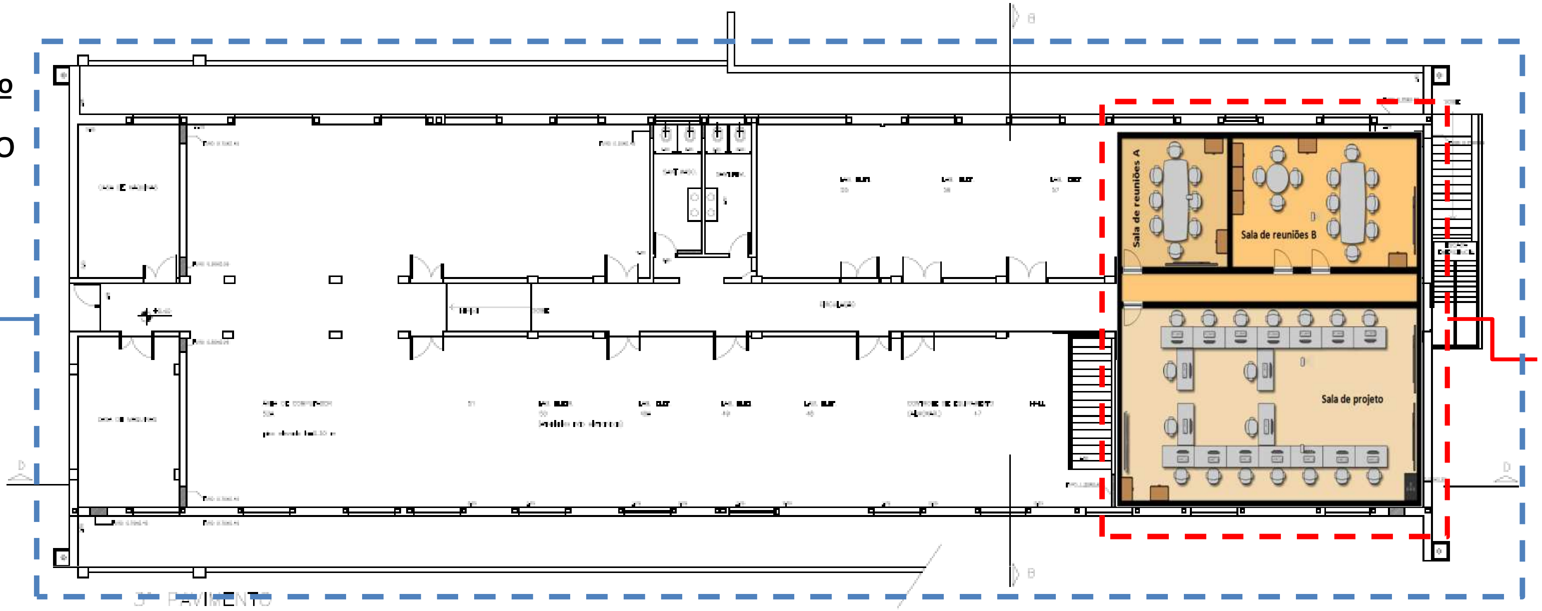
Disciplinas no ambiente integrado de projeto do CPRIME

O time é montado em função do tipo de missão a ser estudada.

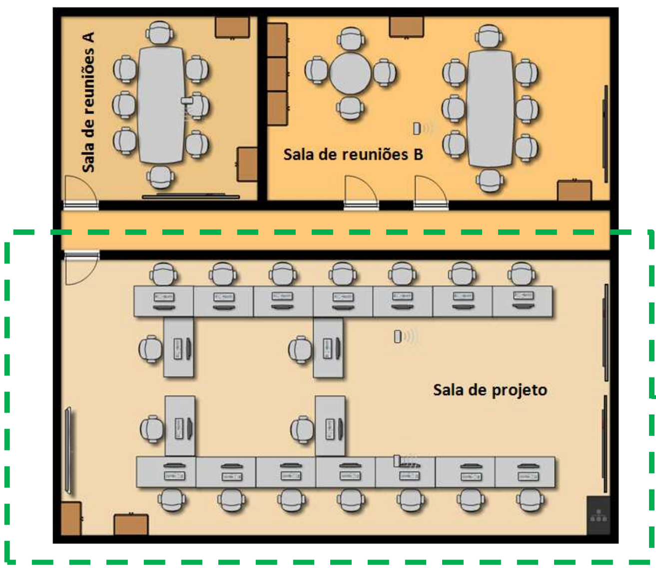
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

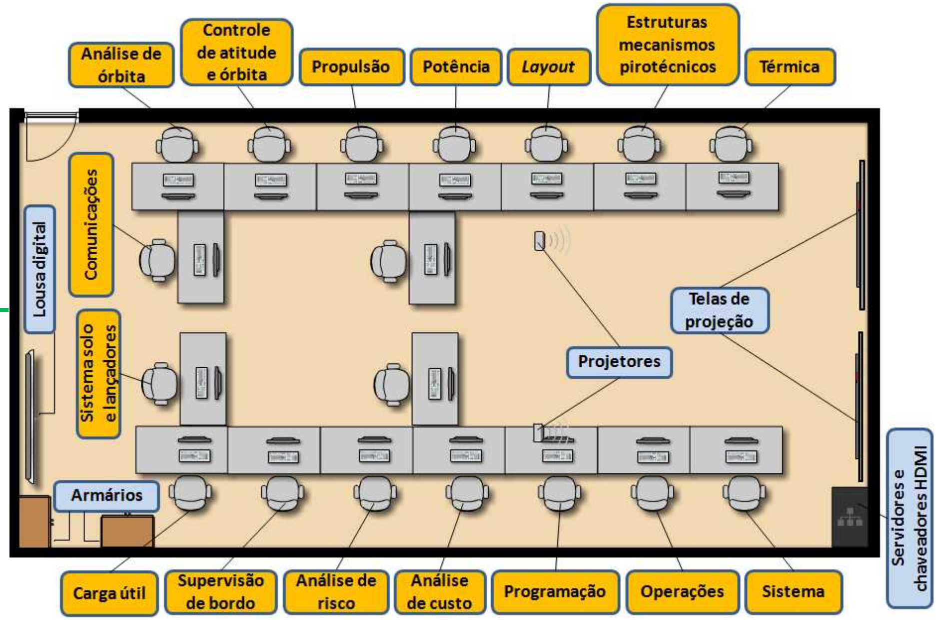
Curso de Inverno 2018
Introdução às Tecnologias Espaciais

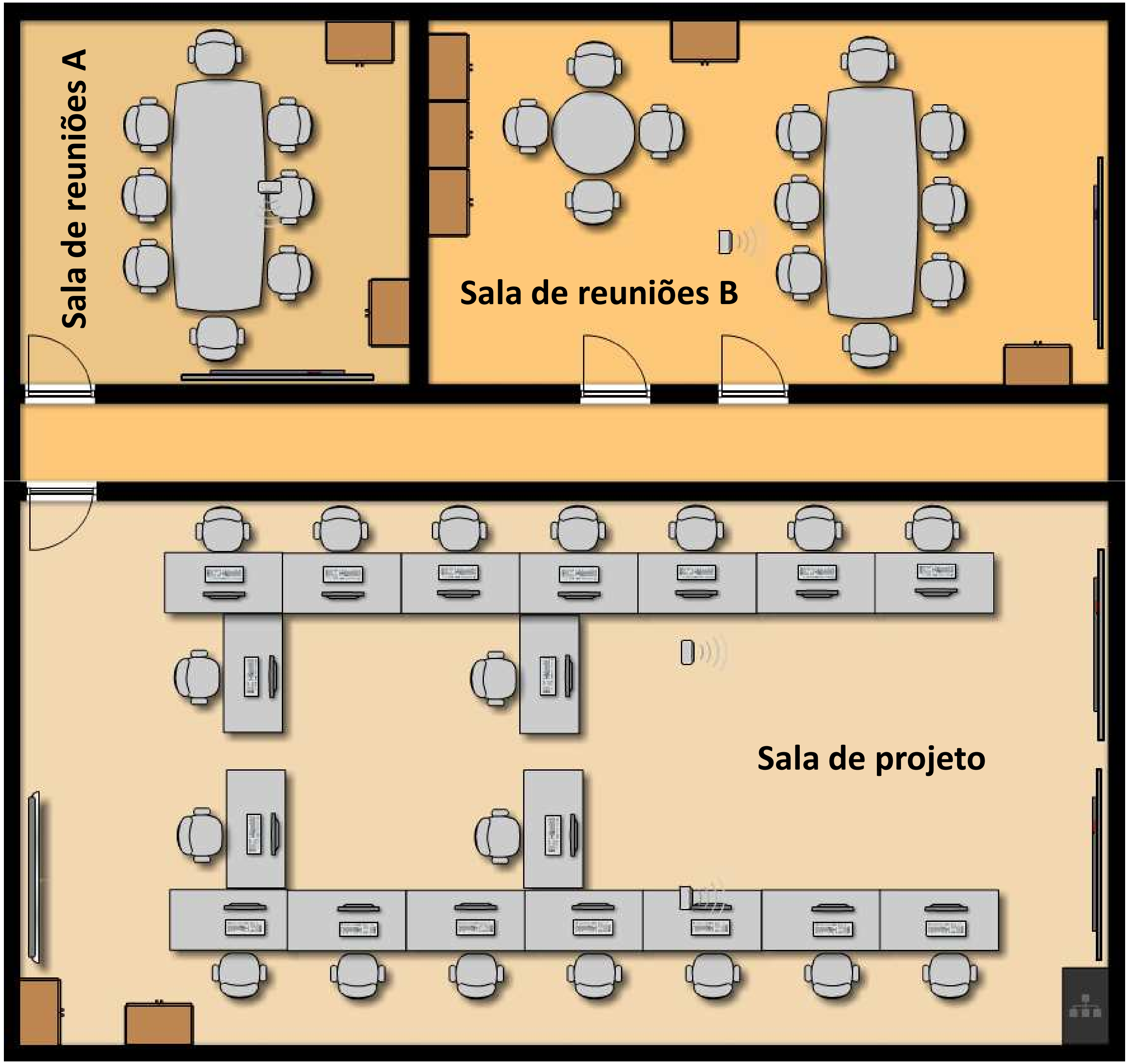
DIDSE – 3º pavimento do prédio Beta.



CPRIME: Sala de Projeto e salas de reuniões



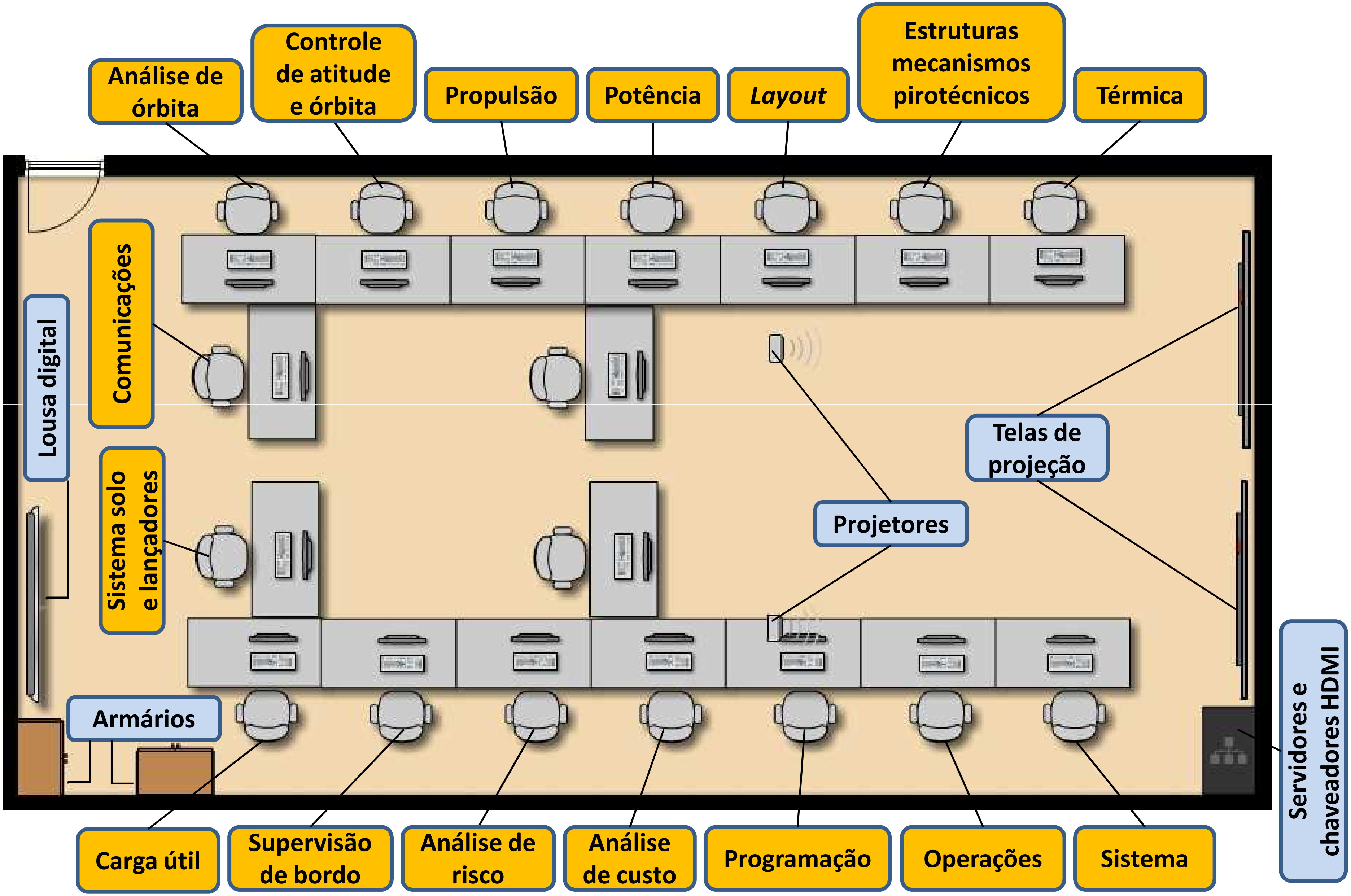




Layout das Instalações do CPRIME (as salas de reunião são compartilhadas com outras atividades da DIDSE).

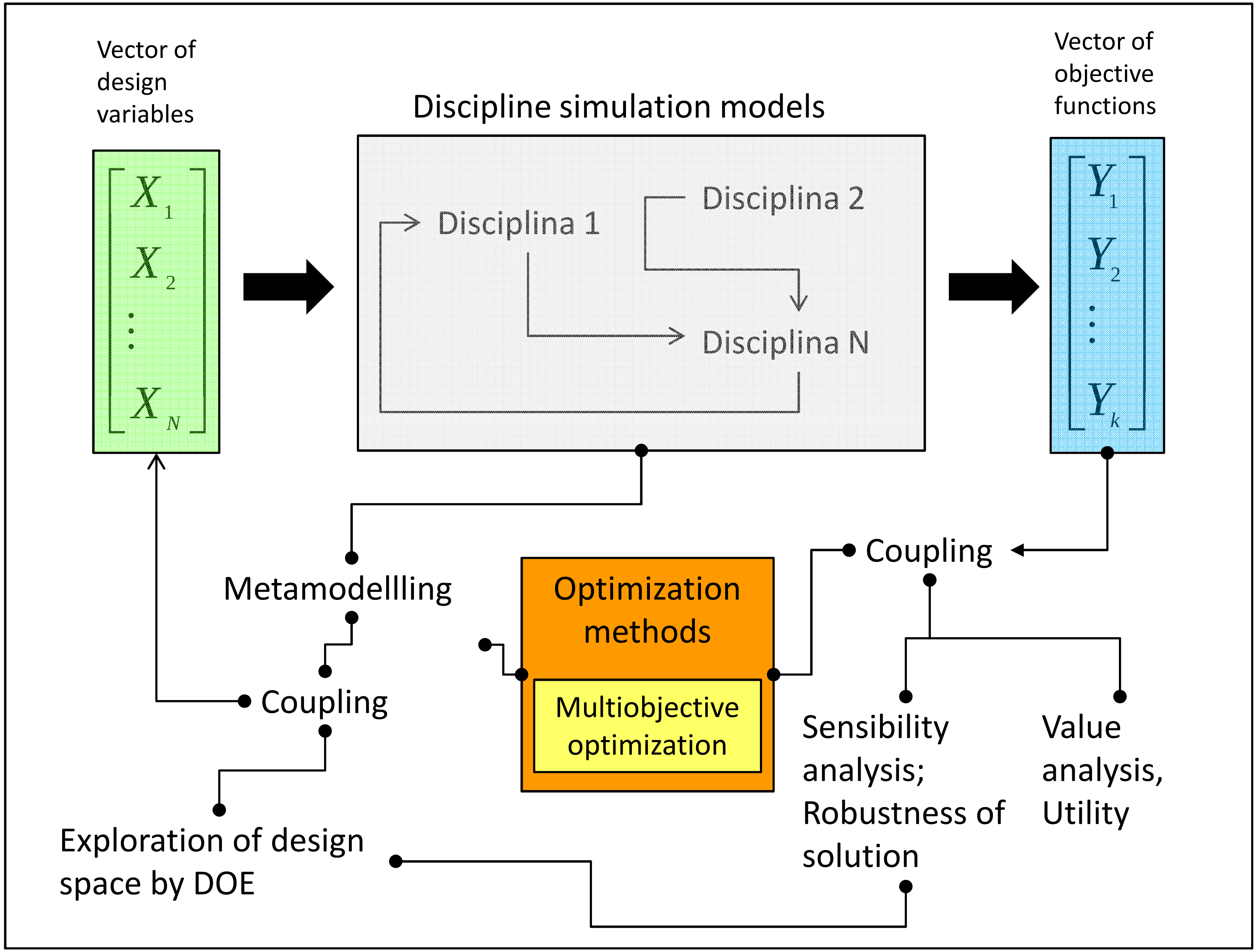
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Curso de Inverno 2018
Introdução às Tecnologias Espaciais




Momentos de um estudo no CPRIME, 2016.

A pictorial view of the main elements of a MDO architecture



Adapted from de Olivier de Weck e. Karen Willcox, curso Multidisciplinary System Design Optimization , Introduction, MIT, 2010.

MDO in conceptual design of space systems

Multidisciplinary Optimisation in Mission Analysis and Design Process

Authors: G.B. Amata, G. Fasano, L. Arcaro, F. Della Croce, M.F. Norese, S. Palamara, R. Tadei, F. Fragnelli
Contractor: Alenia Spazio, Torino.

Technical officer: Dario Izzo, Advanced Concepts Team (ESTEC)

Contacts:

Giorgio Fasano
e-mail: gfasano@to.alespazio.it

Dario Izzo
Tel: +31 (0)71-5653511
Fax: +31 (0)71-5658018
e-mail: act@esa.int

GSP programme ref: GSP 03/N16
Contract Number: 17828/03/NL/MV

Available on the ACT net (www.esa.int/act)

esa

Large-Scale MDO of a Small Satellite using a Novel Framework for the Solution of Coupled Systems and their Derivatives

John T. Hwang, Dae Young Lee, James W. Cutler, and Joaquim R. R. A. Martins
University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 48109, United States

I. Introduction

1 of 23

Curso de Inverno 2018

Automating the Process of Optimization in Spacecraft Design

Alex S. Fukunaga, Steve Chien, Darren Mutz, Robert L. Sherwood, Andre D. Stechert
Jet Propulsion Laboratory, MS 525-3660
California Institute of Technology
4800 Oak Grove Drive
Pasadena, CA 91109-8099
(818)306-6157

0-7803-3741-7/97/$5.00 © 1997 IEEE

CPRIME

Evaluation of Multidisciplinary Design Optimization Techniques as Applied to Spacecraft Design

Ellen Riddle Taylor

411

371

GENETIC ALGORITHM APPROACHES FOR CONCEPTUAL DESIGN OF SPACECRAFT SYSTEMS INCLUDING MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION AND DESIGN UNDER UNCERTAINTY

A Thesis
Submitted to the faculty
of
Purdue University
by
Rania A. Hassan

In Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree
of
Doctor of Philosophy

May 2004

Proceedings of the 2012 IEEE 16th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design

Satellite Multidisciplinary Collaborative Optimization with Distributed Computing

Wenrui Wu, Hai Huang, and Beibei Wu
School of Astronautics
Beijing University of Aeronautics and Astronautics
Beijing, China

Satellite Multidisciplinary Design Optimization with a High-Fidelity Model

Multidisciplinary Design Optimization for Concurrent Engineering of Space Systems

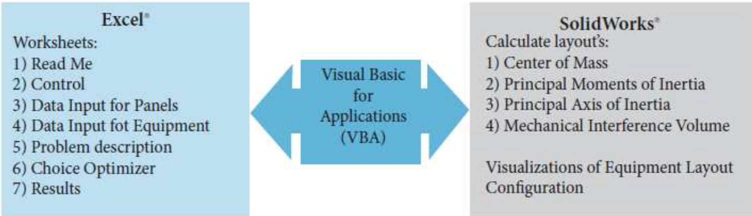
Jian Guo, Luca Guadagni
Chair of Space Systems Engineering (SSE), Faculty of Aerospace Engineering

TUDelft

SECESA2012, Lisbon, 17-19 Oct 2012

MDO tool for spacecraft equipment conceptual layout design

Recentemente foi desenvolvida no INPE uma ferramenta para otimização do layout de equipamentos em espaçonaves, utilizando Excel® e SolidWorks® (No escopo do PJOTLayout, encerrado em 2014).



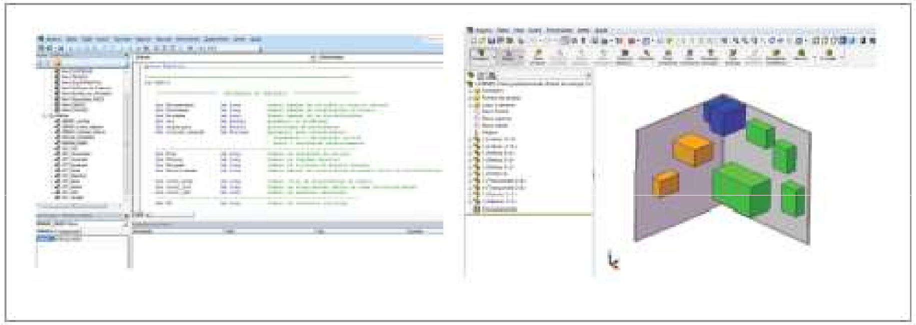


Figure 7. Screenshots of the VBA editor showing the M-GEO macro (left view) and SolidWorks® environment (right view).

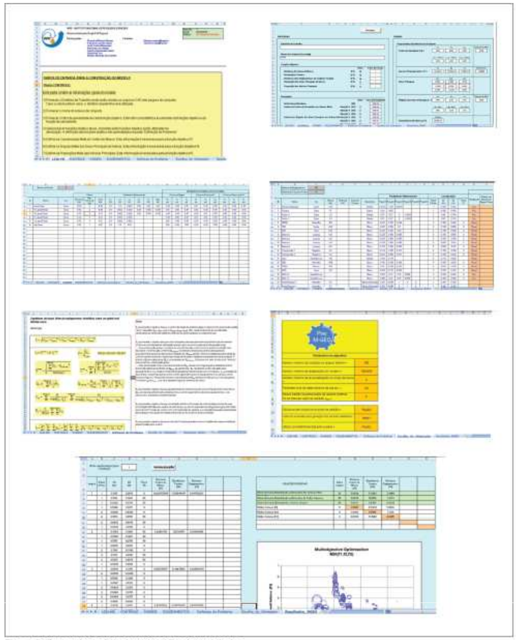


Figure 6. Screenshots of the layout tool Excel® worksheets.

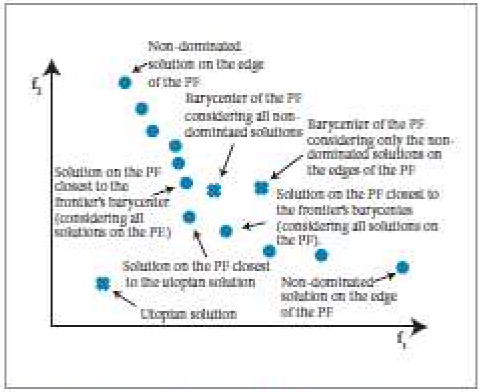
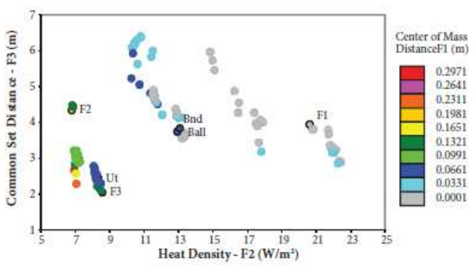


Figure 9. Some criteria to select solutions on the approximate Pareto Frontier (PF) for further analysis. A hypothetical example with two objective functions is presented here. Circles are non-dominated solutions. Crosses are reference marks based on the criteria (see text).



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CERTIFICADO DE REGISTRO
DE PROGRAMA DE COMPUTADOR

Processo: BR 51 2014 001258-1

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL expede o presente Certificado de Registro de Programa de Computador, **válido por 50 anos** a partir de 1º de janeiro subsequente à data de criação indicada, em conformidade com o art. 3º da Lei Nº 9.609, de 19 de Fevereiro de 1998, e arts. 1º e 2º do Decreto 2.556 de 20 de Abril de 1998.

Título: **OTIMIZADOR MULTIDISCIPLINAR DO LAYOUT DE EQUIPAMENTOS EM ESPAÇONAVES - MD - SELO**

Criação: 21 de julho de 2014

Titular(es): INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (01.263.896/0005-98)

Autor(es): EVANDRO MARCONI ROCCO (116.173.098-26)
FABIANO LUIS DE SOUSA (365.069.151-53)
JOSE CARLOS BECCENERI (971.750.058-49)
ROBERTO LUIZ GALSKI (562.668.870-04)
SANDRA APARECIDA SANDRI (821.745.718-20)
VALENTINO LAU (956.065.306-78)
WALTER ABRAHÃO DOS SANTOS (045.342.358-28)

Linguagem: VBA

Aplicação: CO-02, IN-02

Tipo Prog: AP-01, TC-01

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA EM DEPÓSITO SEM SIGILO

Os Direitos Patrimoniais relativos ao programa de computador objeto do presente registro foram cedidos dos Criadores para o Titular, na data de 17 de outubro de 2014, conforme documentação

A exclusividade de comercialização deste programa de computador não tem a abrangência relativa à exclusividade de fornecimento estatuída pelo art. 25, I, da Lei nº 8.666, de 21 de Junho de 1993, para fins de inexigibilidade de licitação para compras pelo poder público.

Expedido em 13 de outubro de 2015

Breno Bello de Almeida Neves
Diretor de Contratos, Indicações Geográficas e Registros

Certificado de Registro de Software no INPI (out/2015).

Fonte: Lau, V., De Sousa, F.L., Galski, R.L., Rocco, E.M., Becceneri, J.C., Santos, W.A. Sandri, S.A. A Multidisciplinary Optimization Tool for Spacecraft Equipment Layout Conception. Jornal of Aerospace Technology and Management, Vol. 6, No. 4, pp. 431-446, Oct-Dez, 2014.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Curso de Inverno 2018
Introdução às Tecnologias Espaciais

COBEM2015

23rd ABCM International Congress of Mechanical Engineering
December 6-11, 2015, Rio de Janeiro, RJ, Brazil

TOWARDS THE AUTOMATION OF CONCURRENT SPACE SYSTEMS CONCEPTUAL DESIGN THROUGH MULTIDISCIPLINARY DESIGN OPTIMIZATION

Ronan Arraes Jardim Chagas
Bráulio Fonseca Carneiro de Albuquerque
Rafael Anderson Martins Lopes
Fabiano Luis de Sousa

- Given an analysis interval, and a region of interest, search the satellite constellations that **minimizes** the number and the total mass of spacecraft and **maximizes** the accessible area (or **minimizes** the not accessible area).

Table 1. Input parameters for each simulated scenario.

Parameter	Value
Maximum number of generations in MGEO	100,000
Number of independent runs in MGEO	50
Interval of analysis	3 days
Latitude interval of the region of interest	[-34°, 6°]
Longitude interval of the region of interest	[-74°, -33°]
Launcher error in the semi-major axis	20 km
Launcher error in the inclination	0.01°
Perigee of the disposal orbit	500 km*
Camera resolution	[20 m, 30 m]
Expected mission liftime	[2, 4, 6] years
Atmospheric density	Solar maximum**

Table 2. Selected solutions for the hypothetical study case.

Altitude (km)	Inclination (°)	RAAN (°)	True anomaly (°)	Lifetime	Area Not Accessible	Satellite Mass (kg)
Ground Spatial Resolution = 20 m						
591.942	14.2857	11.4286	216.0	2 years	11.5932 %	194.388
686.430	14.2857	11.4286	264.0	4 years	9.8955 %	211.783
686.430	14.2857	11.4286	264.0	6 years	9.8955 %	217.269
Ground Spatial Resolution = 30 m						
680.131	14.2857	308.571	96.0	2 years	2.5447 %	164.243
717.926	14.2857	320.000	72.0	4 years	2.3550 %	169.063
717.926	14.2857	320.000	72.0	6 years	2.3550 %	172.186

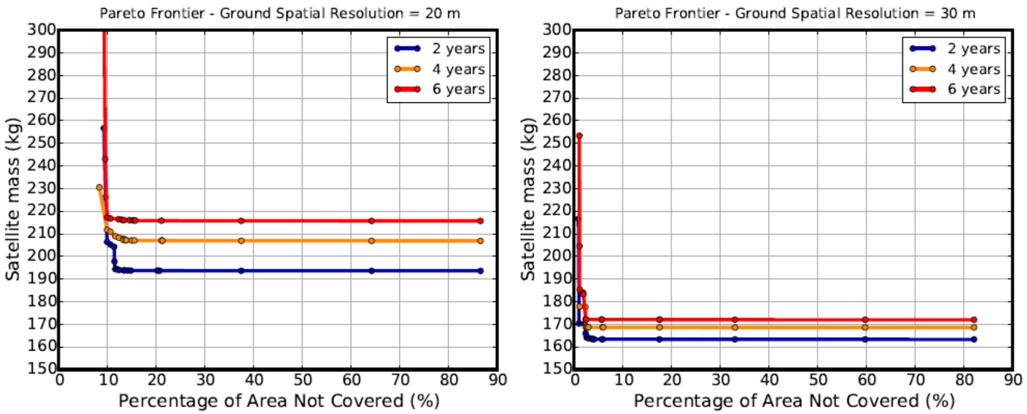


Figure 2. Pareto frontier for a payload with ground spatial resolution of 20m (left) and 30m (right).

O CPRIME em resumo

⇨ Ambiente integrado, multidisciplinar, criado para a realização do projeto e análise conceitual de missões espaciais em ambiente de engenharia simultânea;

⇨ Iniciado em Abril/2013, no escopo de um projeto de P&D da DIDSE/CGETE;

⇨ Realizados até o momento 8 estudos, cobrindo:

- Missões de observação da Terra em órbita LEO, óptica e SAR;
- Missões científicas em órbita LEO e GEO;
- Satélites com massa na "categoria cubesat" à de várias toneladas.

⇨ Dois estudos previstos para realização em 2018 (1 em andamento).

⇨ O Centro mostrou ser capaz de atender eficientemente (em tempo e qualidade técnica) demandas institucionais para o projeto e análise conceitual de missões espaciais, cumprindo sua missão precípua.

⇨ Proveu a CGETE/INPE com a capacidade de "resposta rápida" à demandas para análise de viabilidade e projeto conceitual de missões espaciais, com uma ferramenta moderna, utilizada com comprovado sucesso por diversas agências espaciais, de fundamental importância no apoio técnico a tomada de decisão.

⇨ Atividades de P,D&I no CPRIME inclui a possibilidade de serem realizadas no contexto de programa de pós-graduação.

CPRIME

CENTRO DE PROJETO INTEGRADO DE MISSÕES ESPACIAIS

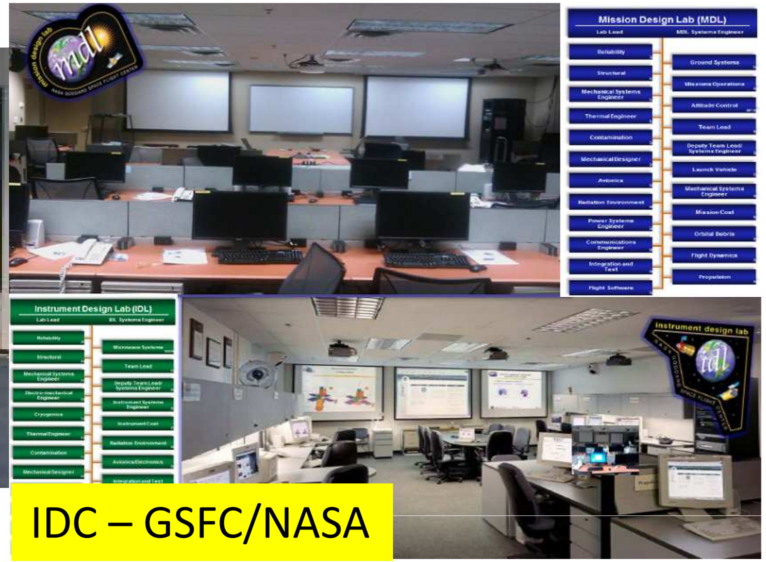
Obrigado!

Slides de Apôio

Exemplos de instalações existentes de engenharia simultânea para fase conceitual do desenvolvimento de missões espaciais.

CDF-ESA

Benefícios providos pelo CDF para a ESA



IDC – GSFC/NASA

CEF-DLR

JPL/NASA-TeamX

Benefits

- **Performances** (typical pre-Phase A study):
  - **Study duration** (Design phase): 3-6 weeks (cp. 6-9 months!)
  - Factor 4 **reduction in time**
  - Factor 2 **reduction in cost** (for the Customer)
  - **Increased nr of studies** per year, compatibly with max 2 parallel studies
- **Quality improvement**, providing quick, consistent and complete mission design, incl. technical feasibility, programmatics, risk, cost
- Technical **report becomes part of the specs** for industrial activity,

  (Cost report remains the ESA independent reference)
- Capitalisation of corporate **knowledge for further reusability**

- CDF: an essential **tool for the ESA Decision Making & Risk Management** processes

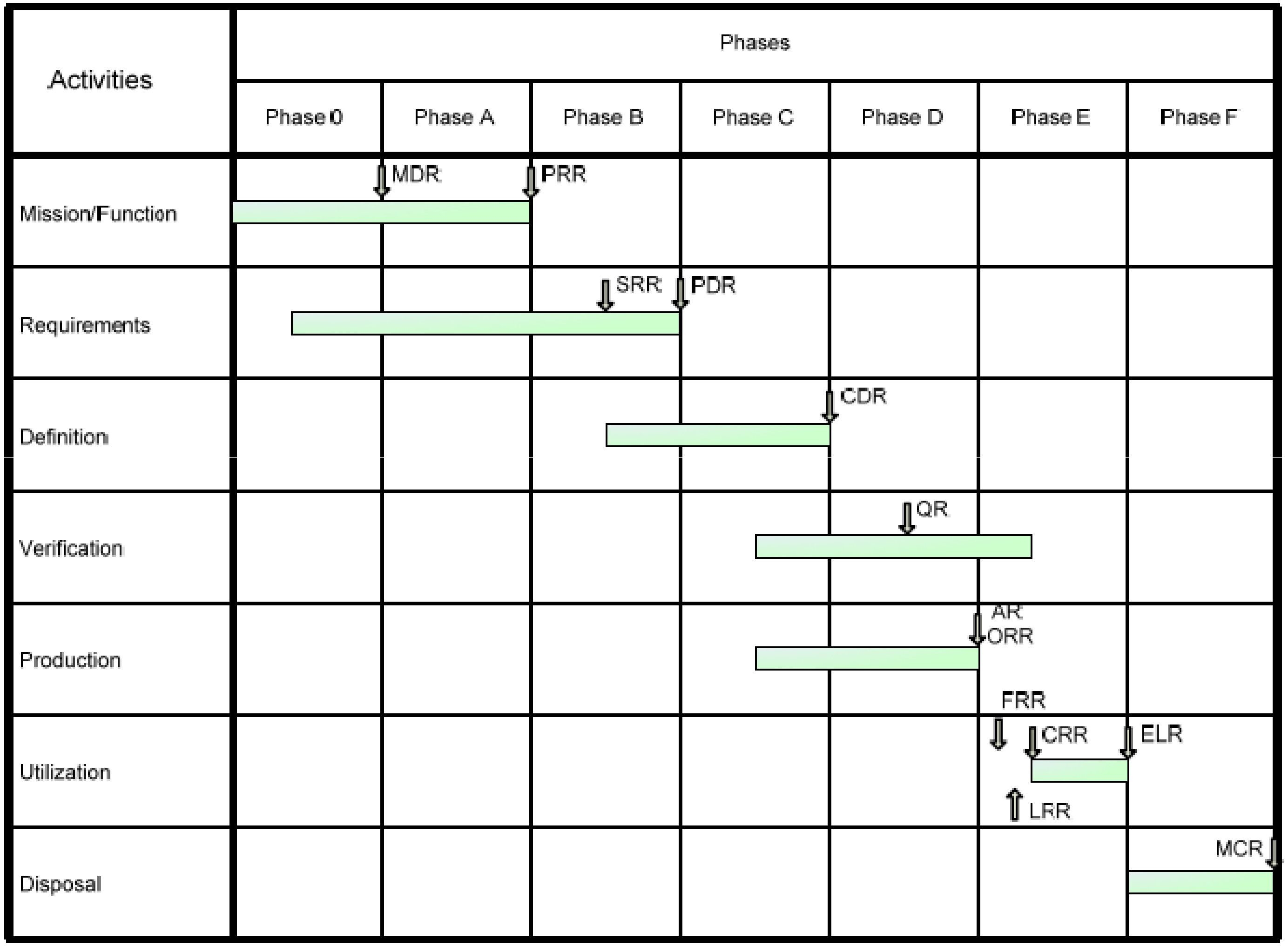
Formulation			Approval	Implementation		
Pre-Phase A: Concept Studies	Phase A: Concept & Technology Development	Phase B: Preliminary Design & Technology Completion	Phase C: Final Design & Fabrication	Phase D: System Assembly, Integration & Test, Launch	Phase E: Operations & Sustainment	Phase F: Closeout

Project Life-Cycle Phases

	Phase	Purpose	Typical Output
Formulation	Pre-Phase A Concept Studies	To produce a broad spectrum of ideas and alternatives for missions from which new programs/projects can be selected. Determine feasibility of desired system, develop mission concepts, draft system-level requirements, identify potential technology needs.	Feasible system concepts in the form of simulations, analysis, study reports, models, and mockups
	Phase A Concept and Technology Development	To determine the feasibility and desirability of a suggested new major system and establish an initial baseline compatibility with NASA's strategic plans. Develop final mission concept, system-level requirements, and needed system structure technology developments.	System concept definition in the form of simulations, analysis, engineering models, and mockups and trade study definition
	Phase B Preliminary Design and Technology Completion	To define the project in enough detail to establish an initial baseline capable of meeting mission needs. Develop system structure end product (and enabling product) requirements and generate a preliminary design for each system structure end product.	End products in the form of mockups, trade study results, specification and interface documents, and prototypes
Implementation	Phase C Final Design and Fabrication	To complete the detailed design of the system (and its associated subsystems, including its operations systems), fabricate hardware, and code software. Generate final designs for each system structure end product.	End product detailed designs, end product component fabrication, and software development
	Phase D System Assembly, Integration and Test, Launch	To assemble and integrate the products to create the system, meanwhile developing confidence that it will be able to meet the system requirements. Launch and prepare for operations. Perform system end product implementation, assembly, integration and test, and transition to use.	Operations-ready system end product with supporting related enabling products
	Phase E Operations and Sustainment	To conduct the mission and meet the initially identified need and maintain support for that need. Implement the mission operations plan.	Desired system
	Phase F Closeout	To implement the systems decommissioning/disposal plan developed in Phase E and perform analyses of the returned data and any returned samples.	Product closeout

Fonte: NASA Systems Engineering Handbook. NASA/SP-2007-6105 Rev1, 2007.

Abbreviation	Meaning
AR	acceptance review
B/L	baseline
CBCP	current baseline cost plan
CDR	critical design review
CRR	commissioning result review
DRL	document requirements list
EAC	estimate at completion
EGSE	electrical ground support equipment
ELR	end-of-life review
ETC	estimate to completion
FRR	flight readiness review
GSE	ground support equipment
ILS	integrated logistic support
ITT	invitation to tender
LRR	launch readiness review
MCR	mission close-out review
MDR	mission definition review
MGSE	mechanical ground support equipment
N/A	not applicable
OBCP	original baseline cost plan
OBS	organizational breakdown structure
ORR	operational readiness review
PDR	preliminary design review
PMP	project management plan
PRD	project requirements documents
PRR	preliminary requirements review
QR	qualification review
RFP	request for proposal
RFQ	request for quote
SRR	system requirements review
WBS	work breakdown structure
WP	work package



Typical project life cycle

Fonte: ESA ECSS Space prroject Management, Project Planning and Implementation – ECSS-M-ST-10C, ver. 1, 6 March 2009.