



6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em
Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Motor Foguete a Propelente Líquido L75

Daniel Soares de Almeida

08 e 09 de agosto de 2012
São José dos Campos - SP

Apoio





6º SeP P&D

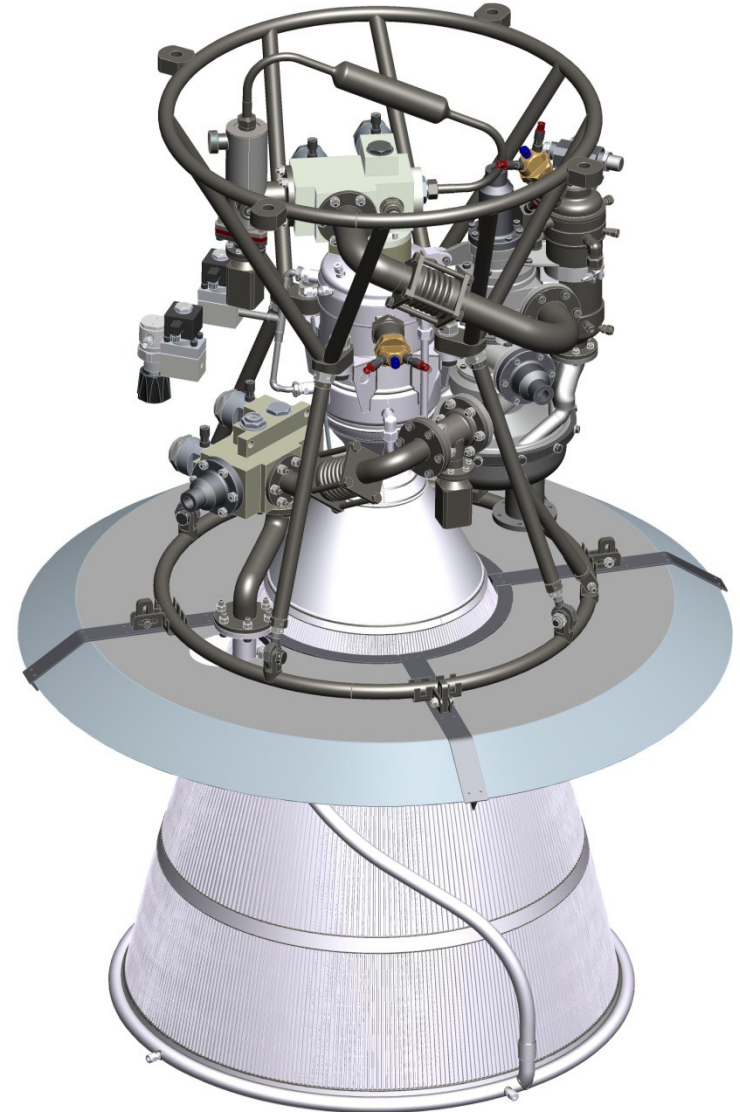
Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

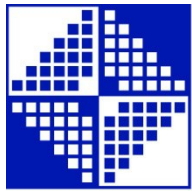
Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



SUMÁRIO

- Introdução;
- Características do Motor L75;
- Organização e desenvolvimento;
- Status;
- Desafios.





6º SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



PNAE (Programa Nacional de Atividades Espaciais 2005-2014)

O desenvolvimento de lançadores será executado de forma autônoma, ou em parcerias internacionais, tendo como uma de suas diretrizes:

“Capacitar o País na área de propulsão líquida, inicialmente para equipar os estágios destinados a garantir precisão de injeção em órbita dos satélites e subsequentemente para integrar os grandes propulsores, objetivando o crescimento da capacidade dos veículos lançadores para disputar o mercado internacional de transporte espacial.”



6º SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



A tecnologia para projetar, fabricar, testar e operar MFPL é um dos objetivos a serem alcançados pelo PNAE (Programa Nacional de Atividades Espaciais) e o Projeto L75 está incorporado ao PPA 2012-2015 (Plano Plurianual) no Programa 2056 (Política Espacial), Objetivo 0555, “Desenvolver e ampliar o conhecimento das tecnologias críticas para garantir o uso autônomo das aplicações espaciais”.



6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Vantagens e desvantagens dos Motores Foguete:

MFPS tem tecnologia de fabricação e integração mais simples mas possui menor desempenho que um MFPL.

MFPL apresentam a possibilidade de controle do módulo do vetor empuxo e da impulsão total ou do tempo de operação, que podem variar a cada missão e possibilidade de reignição.



6º SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Objetivo do Projeto:
Capacitar equipe para desenvolvimento das atividades em Propulsão Líquida

Especificação Funcional do Motor L75:
Motor foguete a propelente líquido com empuxo de 75,0 kN no vácuo para uso em estágio superior de um veículo lançador de satélite.





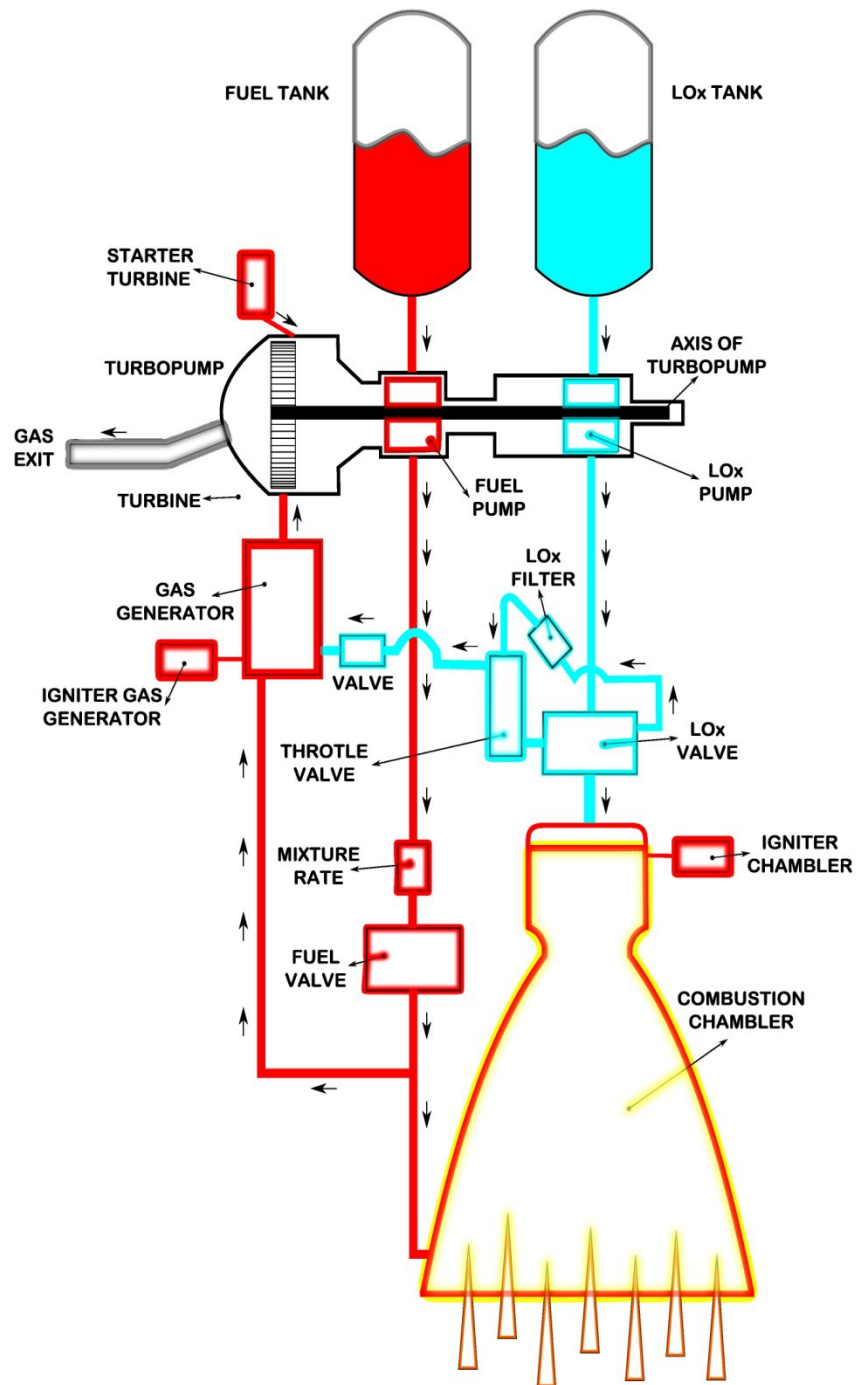
6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Princípio de funcionamento





Características Globais do Motor L75

Propelente	Oxigênio Líquido e Querosene
Sistema de alimentação da câmara	Turbobomba
Esquema de refrigeração da câmara	regenerativa
Empuxo no vácuo	75 kN
Pressão na câmara de combustão	7,0 MPa
Impulso específico no vácuo	324 s
Fluxo de massa global de propelente	23,59 kg/s
Razão de mistura global	2,21
Tempo de operação	400 s



6º SeP P&D

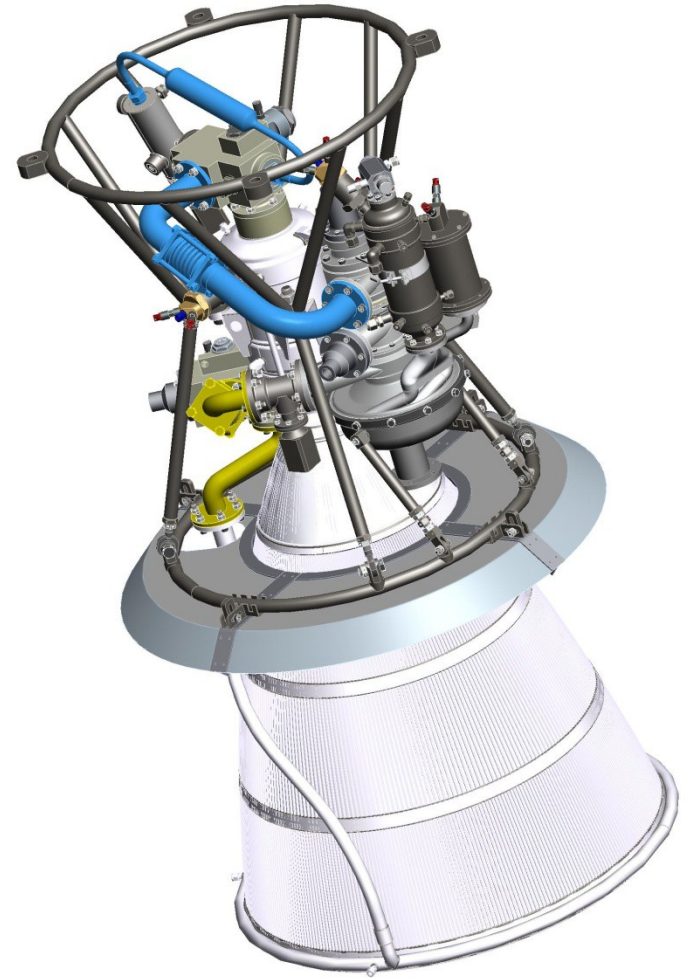
Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Principais Componentes:

- Câmara de Empuxo;
- Gerador de Gases;
- Turbobomba;
- Válvulas e Reguladores;
- Ignitores;
- Elementos estruturais de fixação;
- Sistema de Controle.





6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Documentos elaborados:

Tipos de documentos	Quantidades
Desenhos CAD (Pro/E 5.0)	1362
Análises CAE	23
Memorandos técnicos	26
Relatórios técnicos	109



6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Sistema de Combustão

Principais Características da Câmara de Empuxo:

Vazão mássica: 22,67 kg/s

Razão de mistura: 2,40

Temperatura na câmara de combustão: $\cong 3600$ K

Razão de expansão: 1400



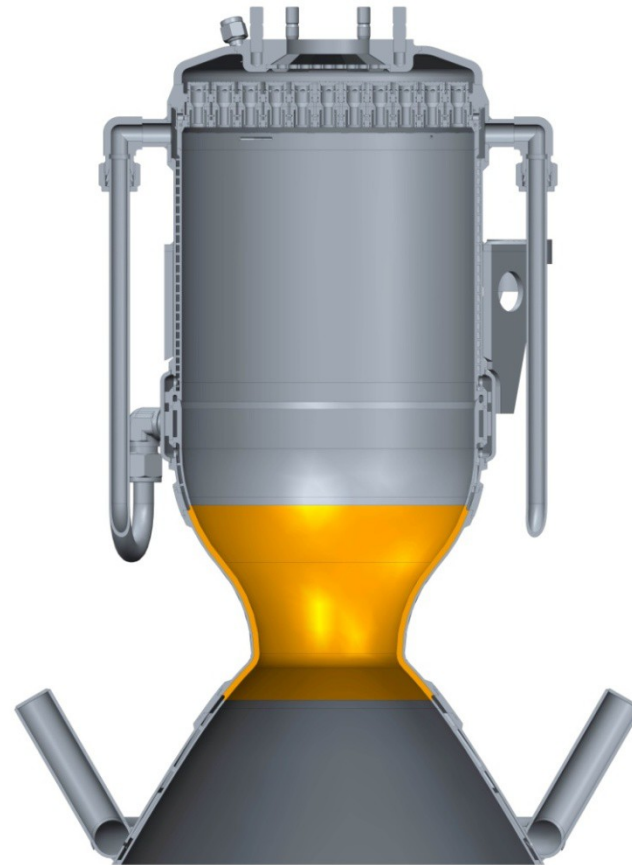
6º SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Modelo de Desenvolvimento Câmara de empuxo curta





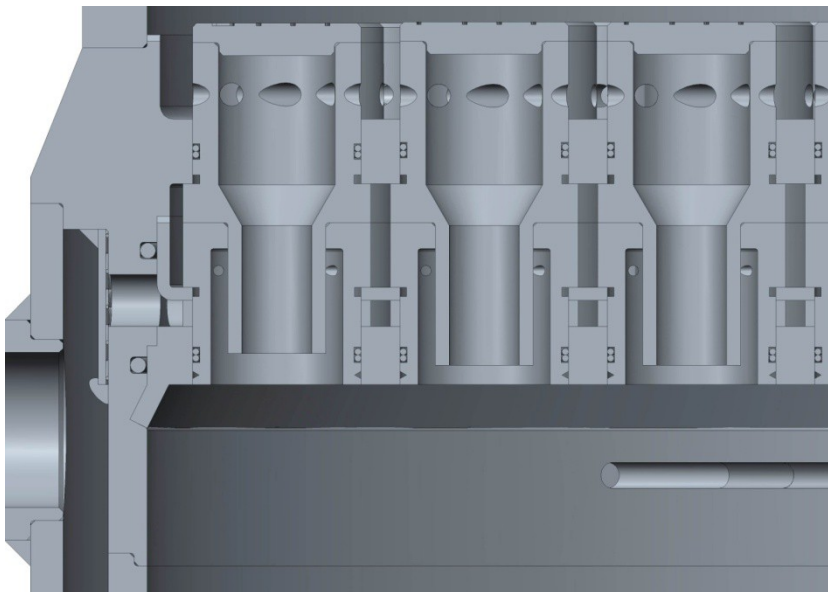
6º SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

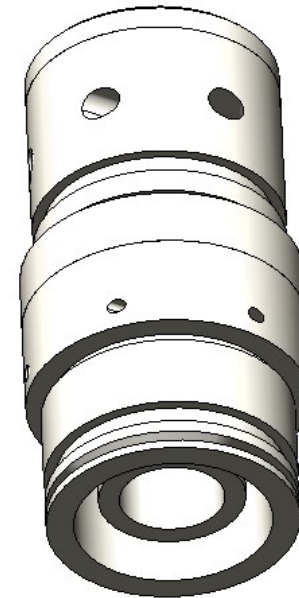
Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Bloco de Injeção



Injetores





6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Sistema de Combustão

Principais Características do Gerador de Gás:

Vazão mássica: 0,92 kg/s

Razão de mistura: 0,355

Temperatura dos gases: 1070...1139K

Pressão do Gerador de Gás: 5,6 MPa





6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores

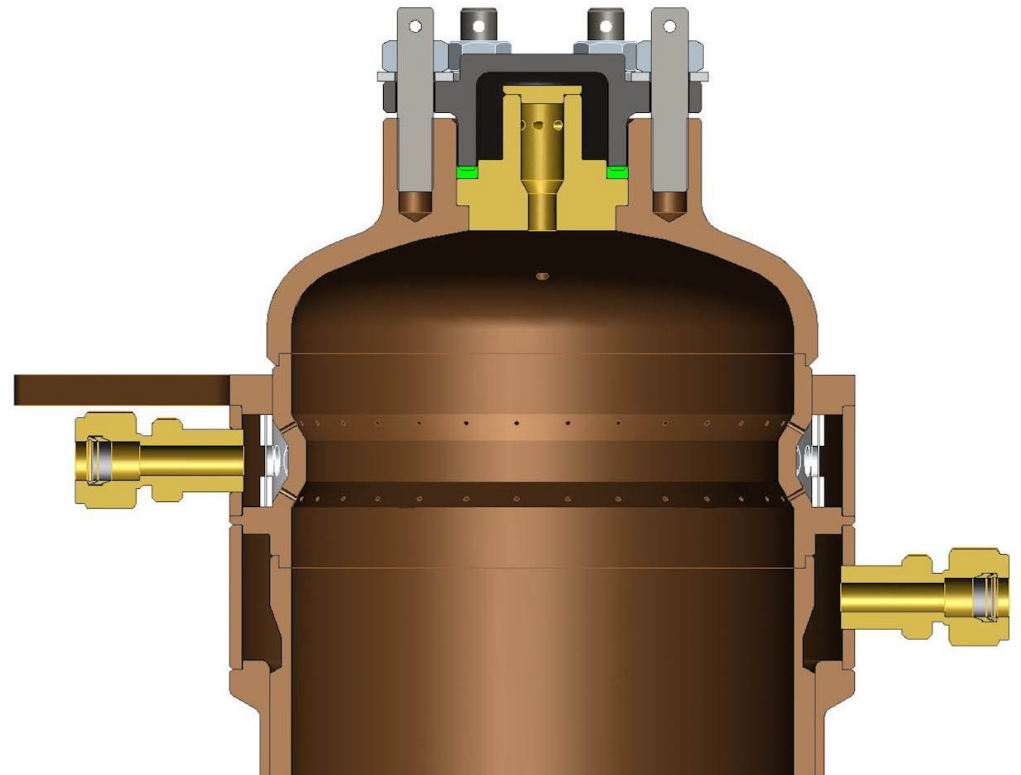


Projeto do Gerador de Gás

Injetor

Cinta de Injeção

Jaqueta de resfriamento





6º SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Requisitos do Sistema de Alimentação

- Funções:
 - Fornecer o par propelente nas pressões, vazões e temperaturas necessárias ao correto funcionamento do Sistema de Combustão.
 - Preparação para início de operação e limpeza após funcionamento do Motor.
- Principais requisitos:
 - Preparação para operação;
 - Partida da Turbobomba;
 - Regulagem da razão de mistura;
 - Regulagem do empuxo;
 - Desligamento do Motor.



6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Sistema de Alimentação

Principais Características da Tubobomba:

Bomba de oxidante, bomba de combustível e turbina em um mesmo eixo.

Rotação: 30.000 rpm

Turbina:

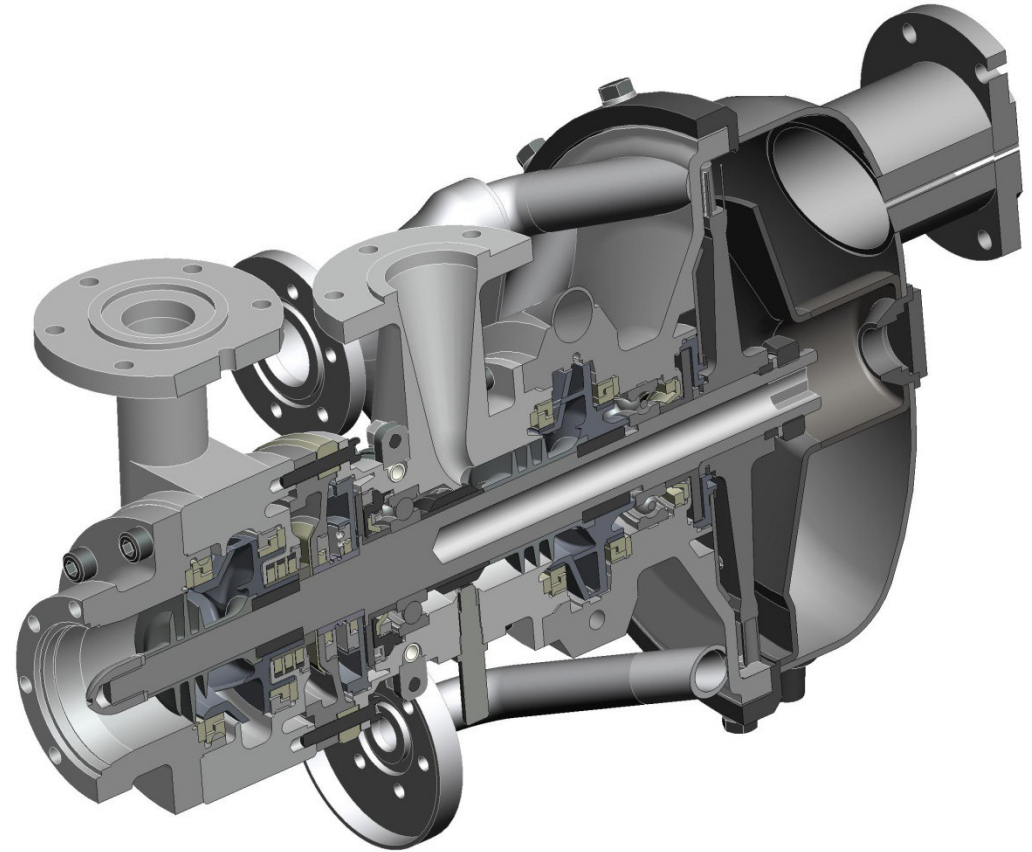
Potência: 432 kW

Pressão de entrada: 5,3 MPa

Pressão de saída: 0,35 MPa

Vazão de gás: 0,93 kg/s

Temperatura nas pás: 1006 K





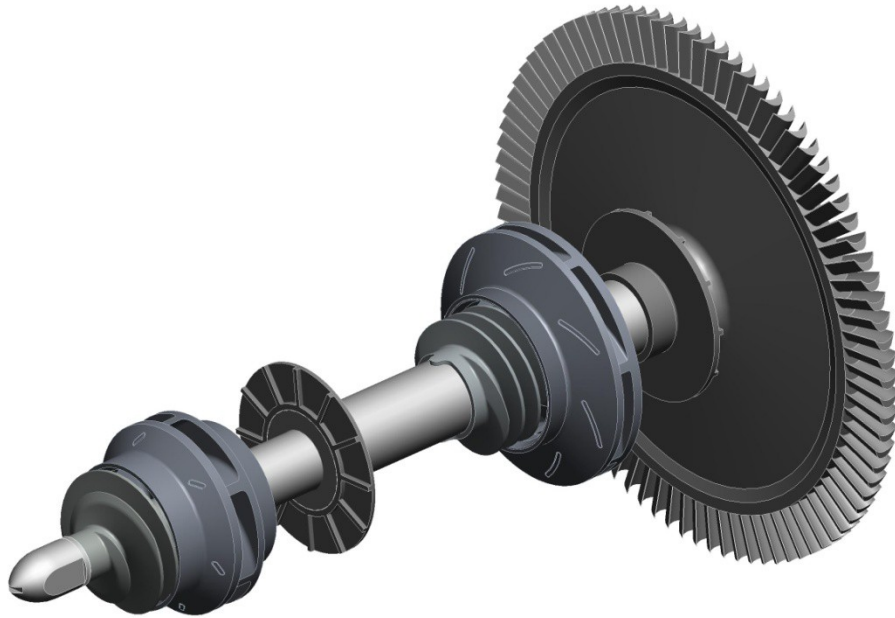
6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Sistema de Alimentação



Grupo Rotativo

Principais Características da Turbobomba

Bomba de Oxidante:

Pressão de entrada: 0,4 MPa

Pressão de saída: 9 MPa

Temperatura de operação: 90 K

Vazão mássica: 16,23 kg/s

Bomba de Combustível:

Pressão de entrada: 0,25 MPa

Pressão de saída: 14 MPa

Temperatura de operação: 303 K

Vazão mássica: 7,35 kg/s



6º SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Componentes do Sistema de Alimentação

- Linha de Oxidante:
 - ✓ Tubulação de oxidante
 - ✓ Filtro de oxigênio líquido – F02
 - ✓ Bloco de válvulas de oxidante – BVO 01
 - ✓ Bloco de válvulas do gerador de gás – BVGG 04
 - ✓ Válvula de segurança – V10
 - ✓ Válvula de pré-estágio – VPE 26
 - ✓ Regulador de Empuxo – PC 03



6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores

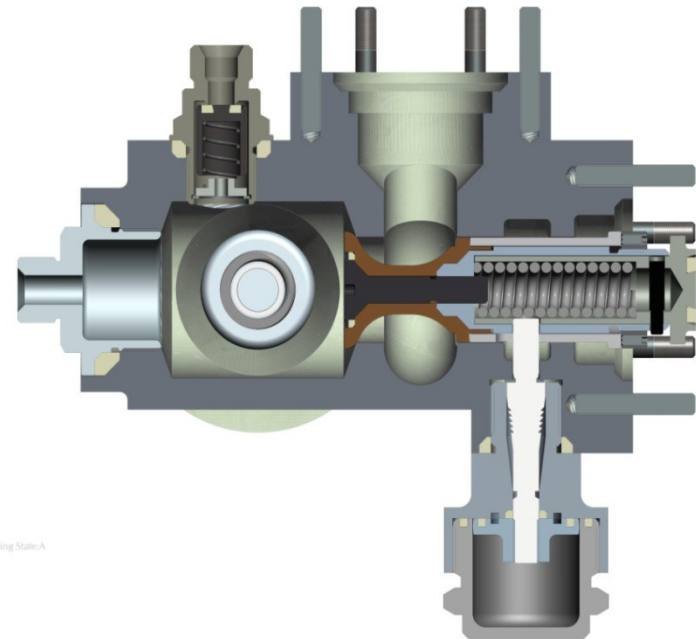
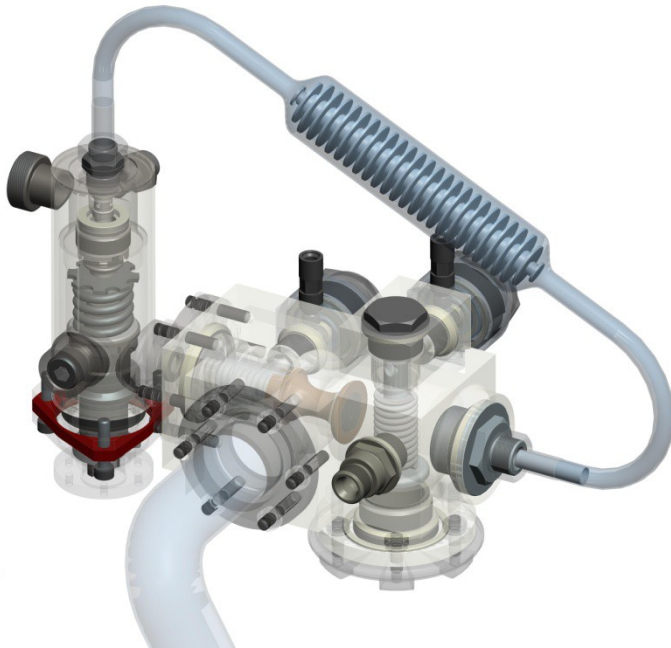


Componentes do Sistema de Alimentação

- Linha de Combustível:
 - ✓ Tubulação de combustível
 - ✓ Bloco de válvulas de combustível – BVC 06
 - ✓ Válvula dreno de combustível – VD 09
 - ✓ Orifício calibrado da CC – OC 07
 - ✓ Orifício calibrado do GG – OC 08
 - ✓ Regulador de Razão de Mistura – FC 05



- Bloco de válvulas de oxidante – BVO 01:
 - Composta por 03 válvulas, sendo duas válvulas do tipo globo com acionamento pirotécnico e uma válvula anti-retorno;
 - Funções de pré-resfriamento do regulador de empuxo, limpeza do cabeçote de injeção da CE e GG e interrupção do fluxo de oxidante para a CE no desligamento.



Clipping State-A



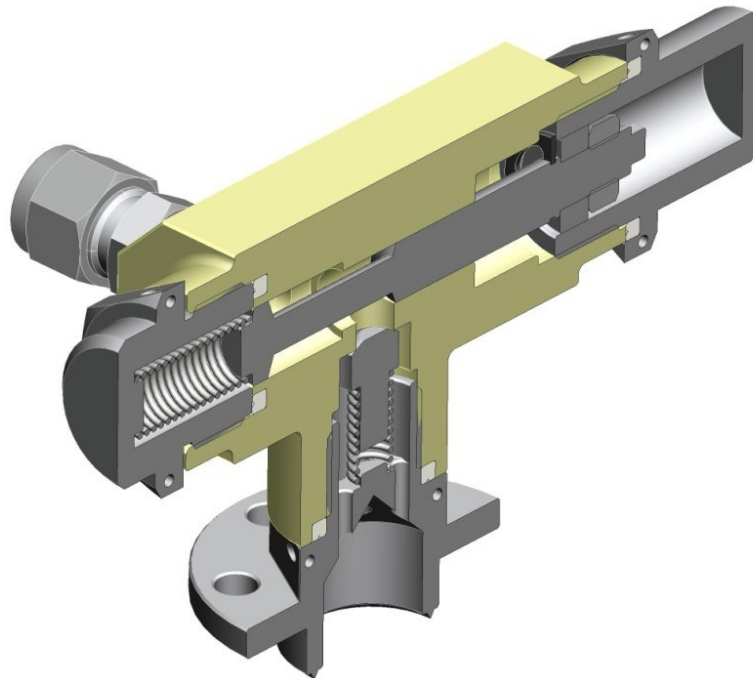
6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores

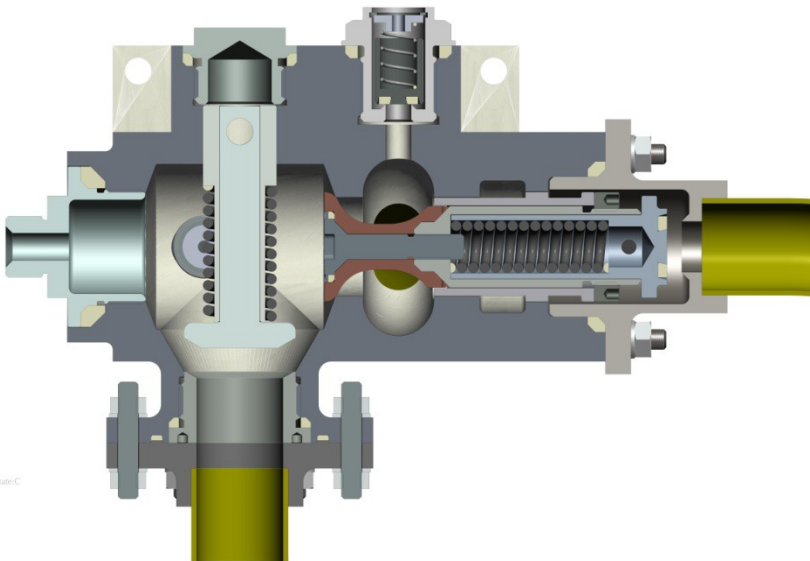


- Bloco de válvulas do gerador de gás – BVGG 04
 - Composto por 02 válvulas, uma do tipo globo com acionamento pirotécnico e uma válvula anti-retorno.
 - Funções de interromper o fluxo de oxidante para o GG e impedir o retorno de oxidante para as linhas de alimentação.

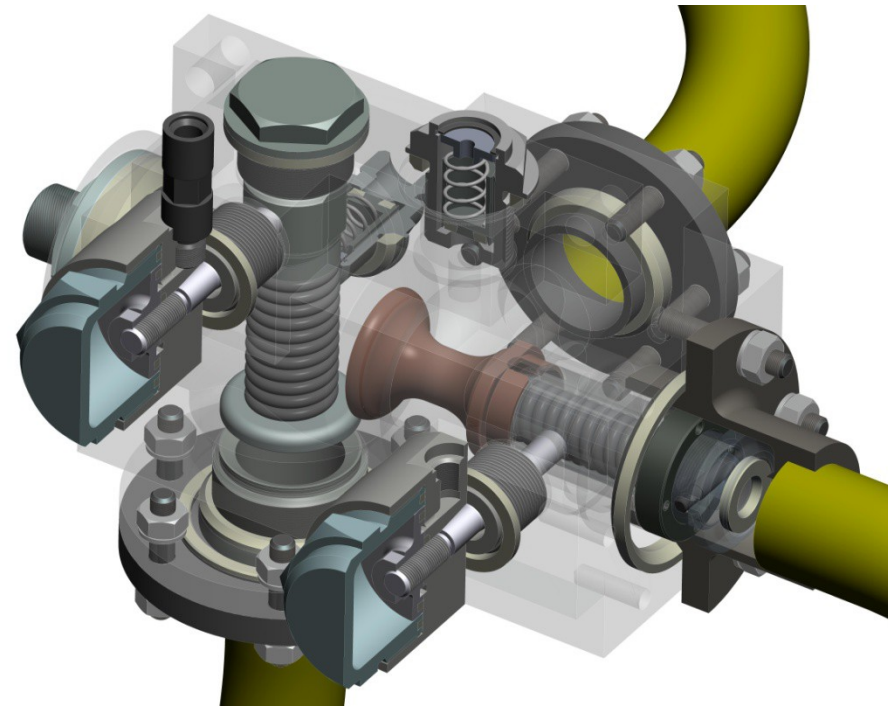




- Bloco de válvulas de combustível – BVC 06
 - Composto por quatro válvulas: duas do tipo globo com acionamento pirotécnico, uma válvula anti-retorno e uma válvula de segurança;
 - Funções: permitir a limpeza das linhas de combustível, atuar em casos de sobrepressão na linha de combustível e interromper o fluxo de combustível para a CE e GG no desligamento do Motor.



Clipping Space





6º SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



- Regulador de Empuxo – PC 03
 - É calibrado em banco de ensaios para o valor de empuxo desejado antes de ser instalado no Motor;
 - Faz a regulagem do empuxo mecanicamente.





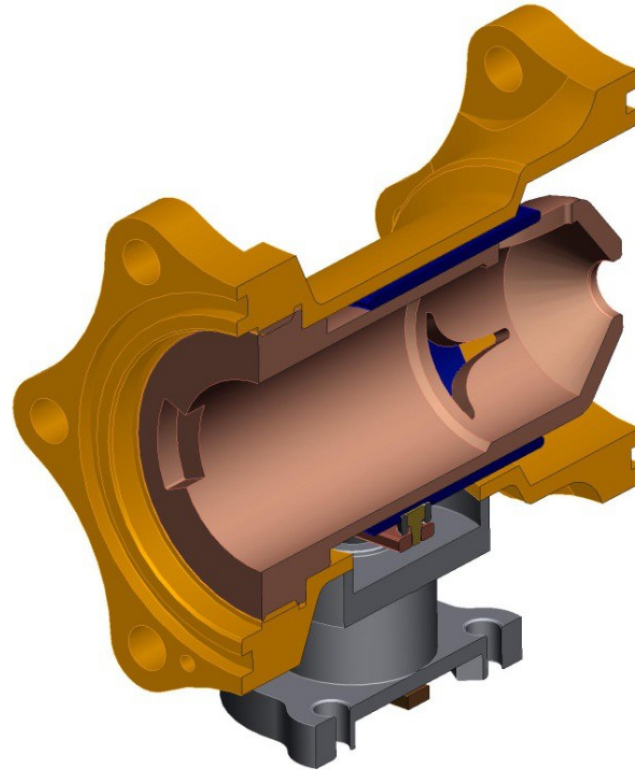
6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



- Regulador de Razão de Mistura – FC 05
 - Faz a regulação da razão de mistura a partir de comando do Sistema de Controle.





6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Sistema de Ignição

Objetivos

- Ignitar:
 - Câmara de Empuxo
 - Gerador de gás
- Iniciar as válvulas pirotécnicas
- Dar a partida na turbobomba



6^o SeP P&D

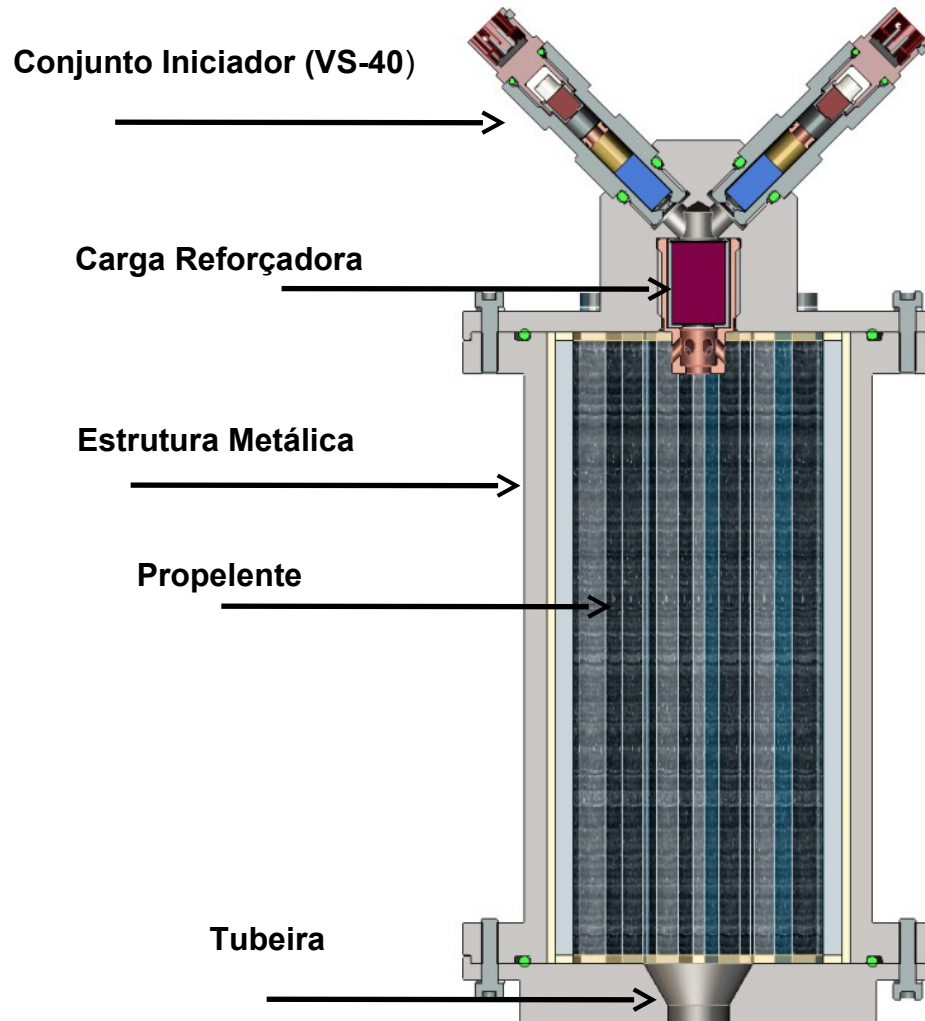
Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Sistema de Ignição

Sistema de partida da turbobomba





6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



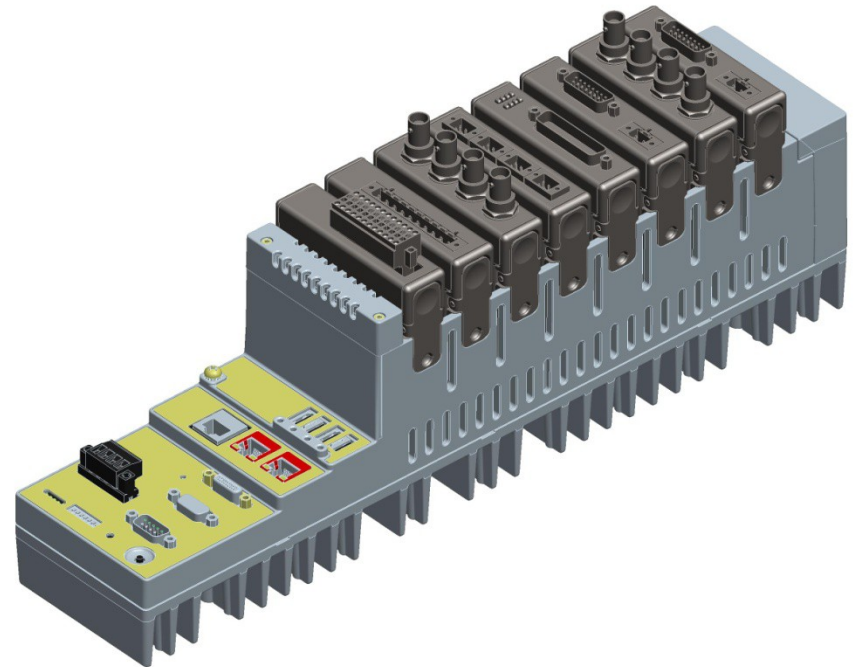
Sistema de controle

Software:

- Eventos
- Controle da Razão de Mistura
- Segurança
- Monitoramento

Hardware:

- Controlador
- Sensores
- Atuadores
- Amplificadores de Potência
- Circuitos de Ativação e Segurança (CSA)
- Cablagens



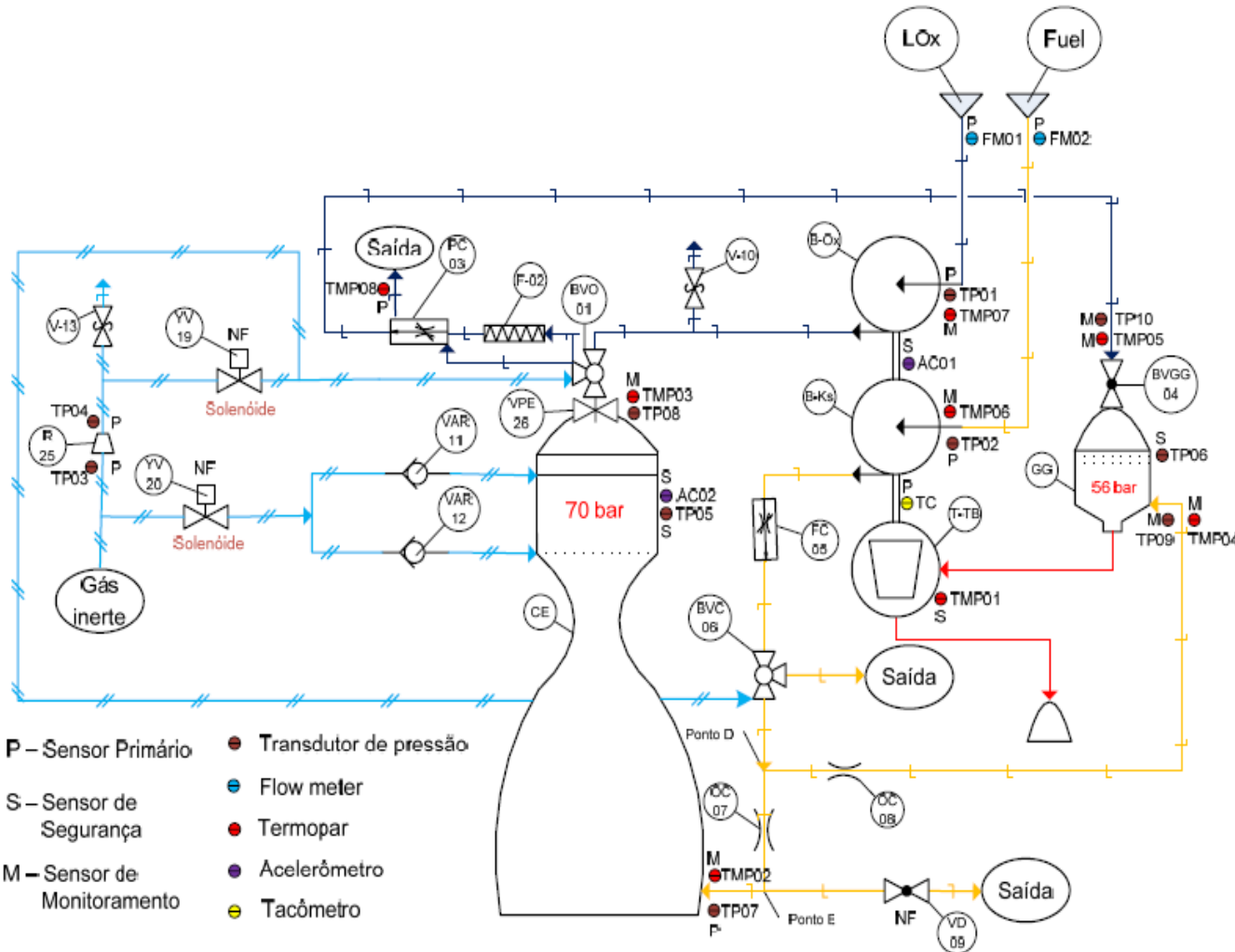


6º SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores

Esquema do Motor L75



Componentes	
B-Ôx	Bomba de Oxidante
B-Ks	Bomba de Combustível
T-Tb	Turbina
GG	Gerador de Gás
CE	Câmara de Empuxo
BVO-01	Bloco de Válvulas de Oxidante
F-02	Filtro de Oxigênio Líquido
PC-03	Regulador de Empuxo
BVGG-04	Bloco de Válvulas do Gerador de Gás
FC-05	Regulador de Razão de Mistura
BVC-06	Bloco de Válvulas de Combustível
OC-07	Orifício Calibrado da Câmara de Empuxo
OC-08	Orifício Calibrado do Gerador de Gás
VD-09	Válvula de dreno de combustível
V-10	Válvula de segurança
V-13	Válvula de segurança
VAR-11	Válvula Anti-Retorno de Combustível
VAR-12	Válvula Anti-Retorno de Combustível
YV-19	Válvula de limpeza de Oxidante
YV-20	Válvula de limpeza de Combustível
VPE-26	Válvula de Pré-Estágio
R-25	Redutor de pressão de gás inerte

- P – Sensor Primário
- S – Sensor de Segurança
- M – Sensor de Monitoramento
- Transdutor de pressão
- Flow meter
- Termopar
- Acelerômetro
- Tacômetro



6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Análises Estruturais e Térmicas de Componentes e Sistemas do Motor L75

Relatórios:

- Análise Térmica Preliminar da Câmara de Empuxo do MFPL L75;
- Análise Estrutural Preliminar da Câmara de Empuxo do MFPL L75;
- Análise Estrutural do Cabeçote Cego do MFPL L75;
- Análise Estrutural da Câmara *Dummy* do MFPL L75;
- Análise Termo-Estrutural dos Blocos das Válvulas de Combustível e LOx do MFPL L75;
- Análise Estrutural Preliminar da Câmara Curta do MFPL L75;
- Análise Estrutural Preliminar do Gerador de Gás do MFPL L75.

Memorandos Técnicos

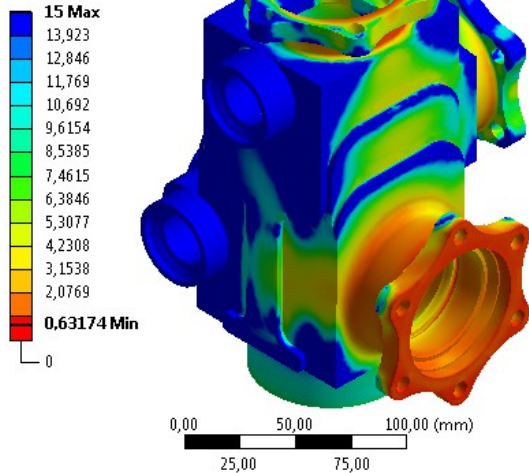
- MEMOTEC 2010-017 – Avaliação da Rótula do Sistema de Ancoragem;
- MEMOTEC 2010-009 – Análise Mecânica Preliminar do Eixo da Turbobomba;
- MEMOTEC 2010-020 – Análise Térmica do Eixo da Turbobomba com Rasgo de Chaveta;
- MEMOTEC 2011-018 – Avaliação do Fator de Segurança no Acoplamento Eixo-Disco da Turbina pela Norma DÍN 5464;
- MEMOTEC 2011-019 – Análise Comparativa do Fator de Segurança na Aplicação das Normas DIN 5464 e DIN 5481.



Resultados das Análises Estruturais e Acopladas

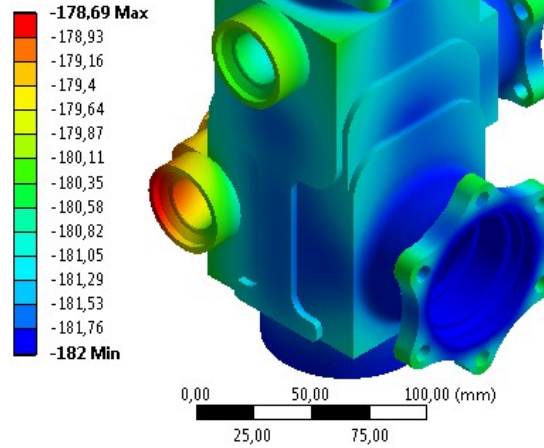
E: Static Structural v3

Safety Factor
Type: Safety Factor
Time: 1
18/02/2011 09:34



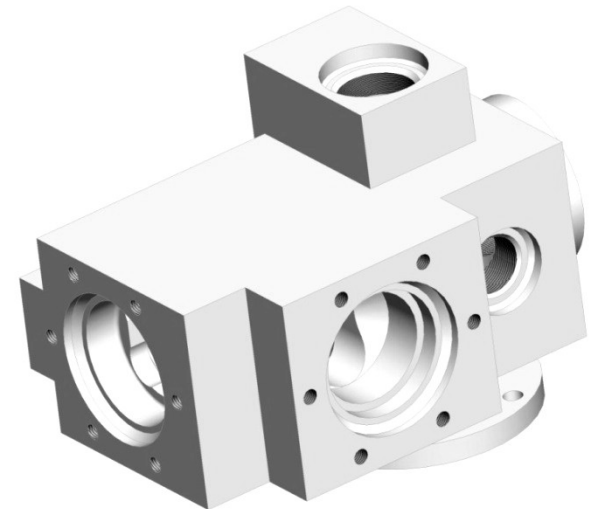
H: Steady-State Thermal v3

Temperature
Type: Temperature
Unit: °C
Time: 1
18/02/2011 09:30



Distribuição de temperatura para o Corpo do Bloco de Válvula Oxidante

Modelo final para ensaios de funcionalidade em banco



Corpo do Bloco de Válvula de Oxidante sob condições térmicas criogênicas

Modelos	Tensões de Von Mises [MPa]	Temperatura Máxima [°C]	Fator de segurança	Fator de segurança real
1	1210,40	-176,78	0,5097	2,9797
2	1037,60	-178,71	0,5946	3,0646
3	976,60	-178,69	0,6317	3,1017



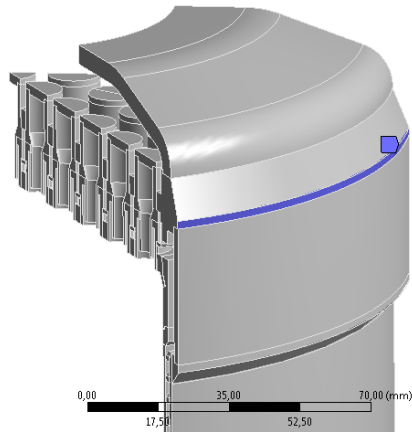
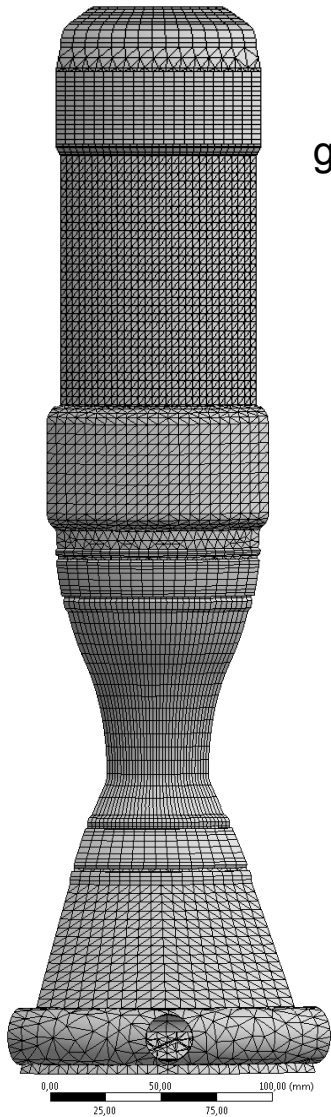
6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

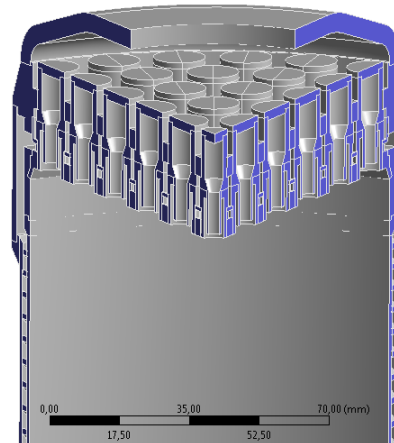
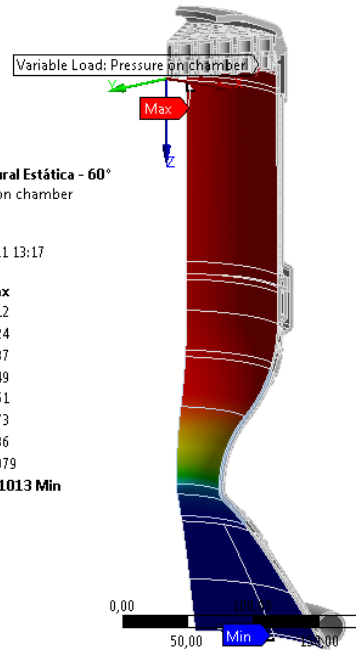
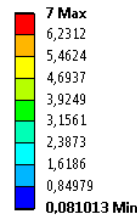
Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



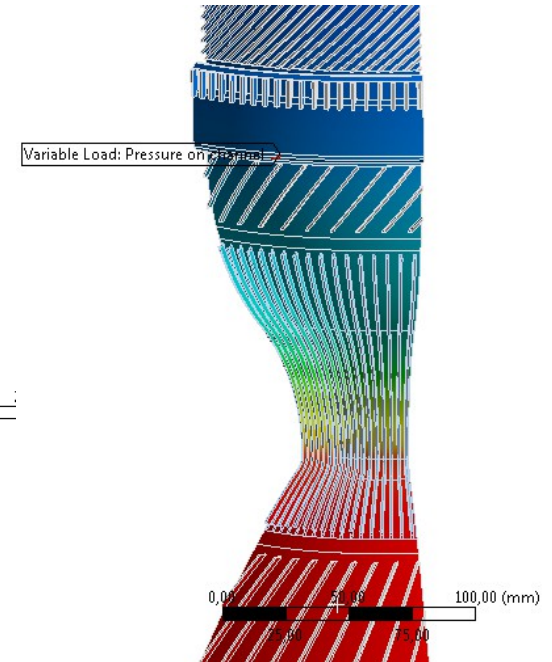
Malha de elementos finitos gerada para a câmara curta



B: Estrutural Estática - 60°
Pressure on chamber
Time: 1, s
Unit: MPa
14/10/2011 13:17



Condições de contorno de pressão



Condições de contorno de fixação e simetria



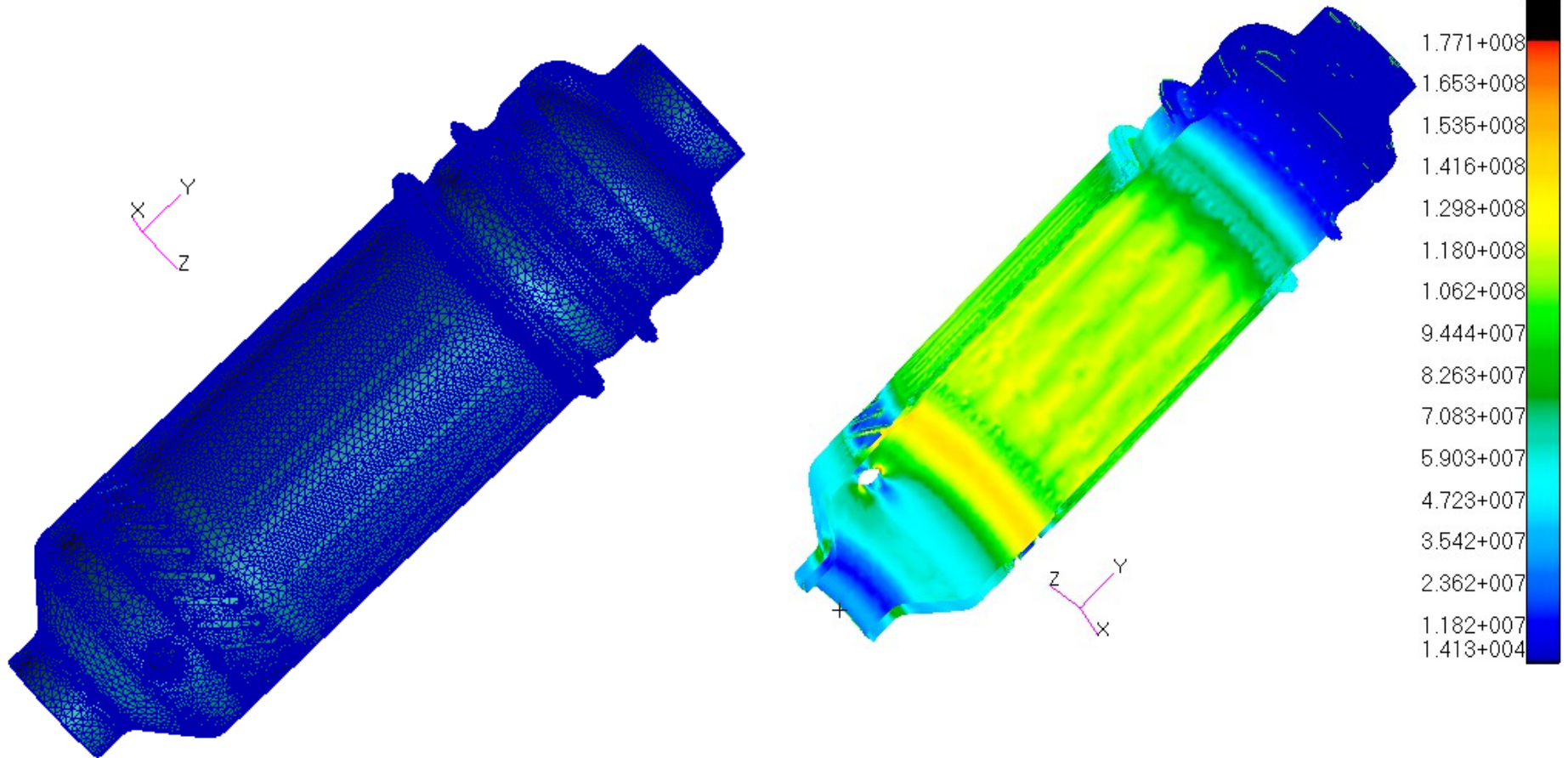
6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Tensões de Von Mises (Pa)





6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Modelo Matemático dos Componentes

Hipóteses:

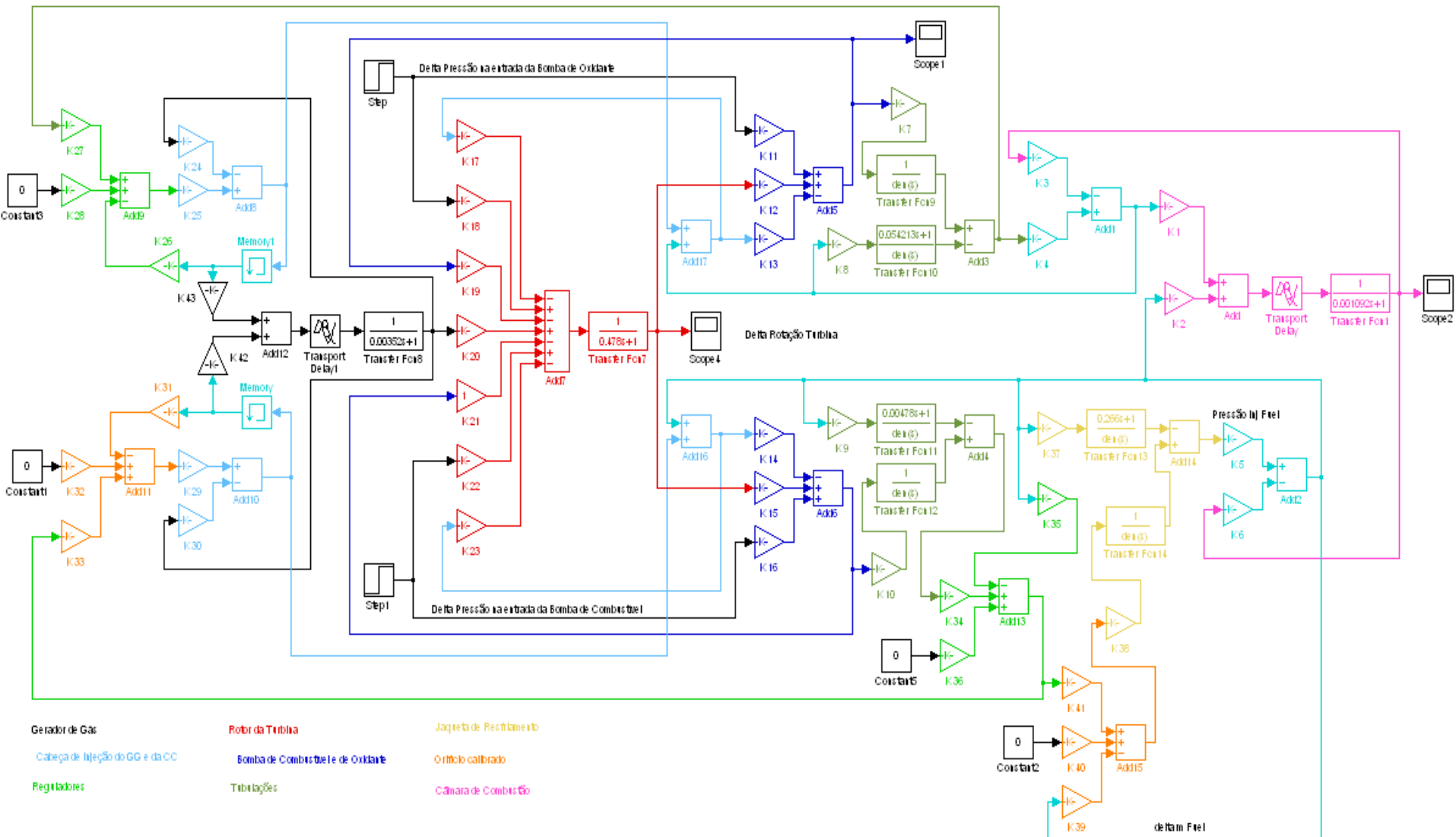
- Os modelos dos componentes do sistema foram linearizados;
- Variações em torno dos valores nominais de operação do motor;
- Analisa o regime permanente;
- Valores de entrada e saída correspondem a flutuações relativas em relação ao valor nominal.



6º SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores





6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



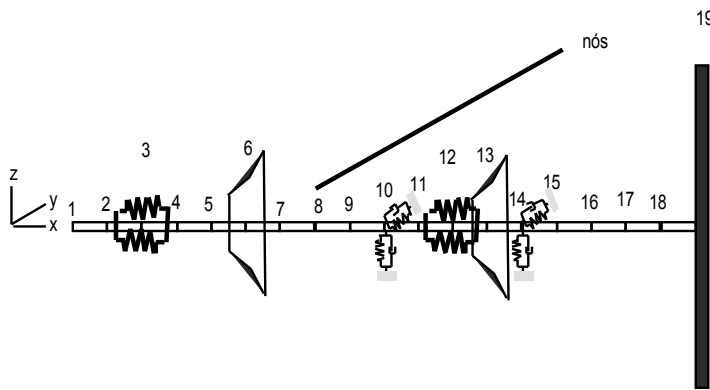
ANÁLISE DINÂMICA DA TPU DO L75

- Em um rotor ideal toda a energia fornecida é convertida em rotação. Em um rotor real parte da energia de rotação é convertida em movimentos transversais.
- Imperfeições do rotor, características dos mancais e excitações externas causam vibrações transversais ao eixo de rotação. Estas vibrações ocasionam o surgimento do efeito giroscópico.
- Em repouso um rotor comporta-se dinamicamente como uma estrutura estacionária, com formas modais semelhantes as de uma viga. À medida que o rotor começa a girar o acoplamento dos deslocamentos transversais horizontais e verticais causado pelo efeito giroscópico faz com que cada modo combine o modo de viga com um movimento de precessão.

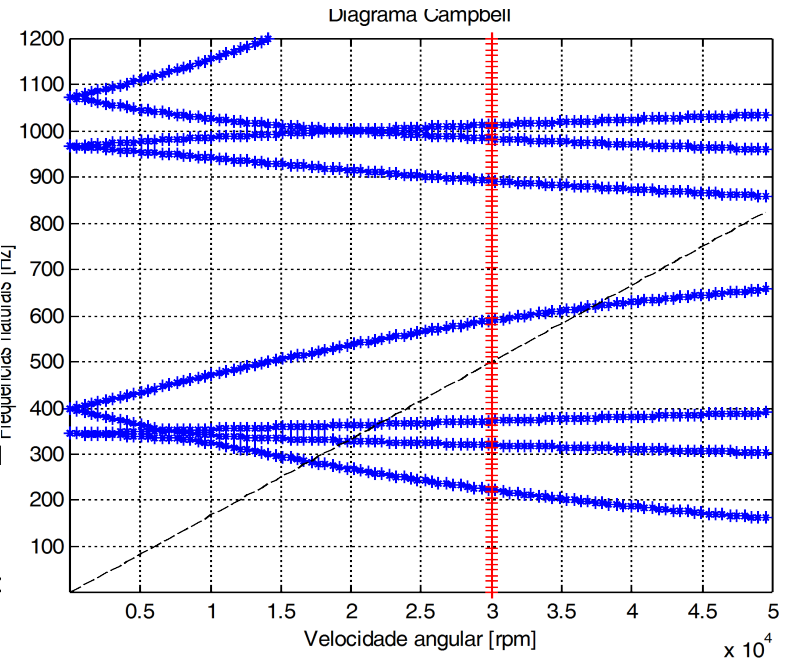
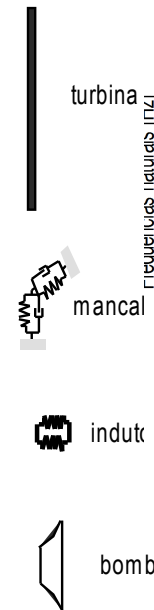


Dinâmica de rotores

Modelo de elementos finitos da TPU do L75



Legenda



- 1 17031,32
- 2 19739,52
- 3 21882,49
- 4 37154,30



6º SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Processos de fabricação do Motor L75

Objetivos:

- Validar e documentar processos de fabricação;
- Garantir repetibilidade;
- Desenvolver processos de soldagem e brasagem;
- Avaliar modificações necessárias para melhoria do projeto, minimizando custos de fabricação;
- Desenvolver e avaliar CDP de materiais utilizados na fabricação dos conjuntos.



6º SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores





6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



ESPECIFICAÇÕES DE ENSAIOS E INFRAESTRUTURA DE BANCOS DIRETRIZES:

- 1- Cumprir o Plano de Desenvolvimento e Verificação
- 2- Seguir as diretrizes das Normas ECSS:
 - E-10-02A - Verification
 - E-10-03A - Testing
- 3- Construir no IAE a infraestrutura de ensaios não encontrada em instituições nacionais.



6º SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Infraestrutura de Ensaios Existente

Banco de Ensaios Hidráulicos I

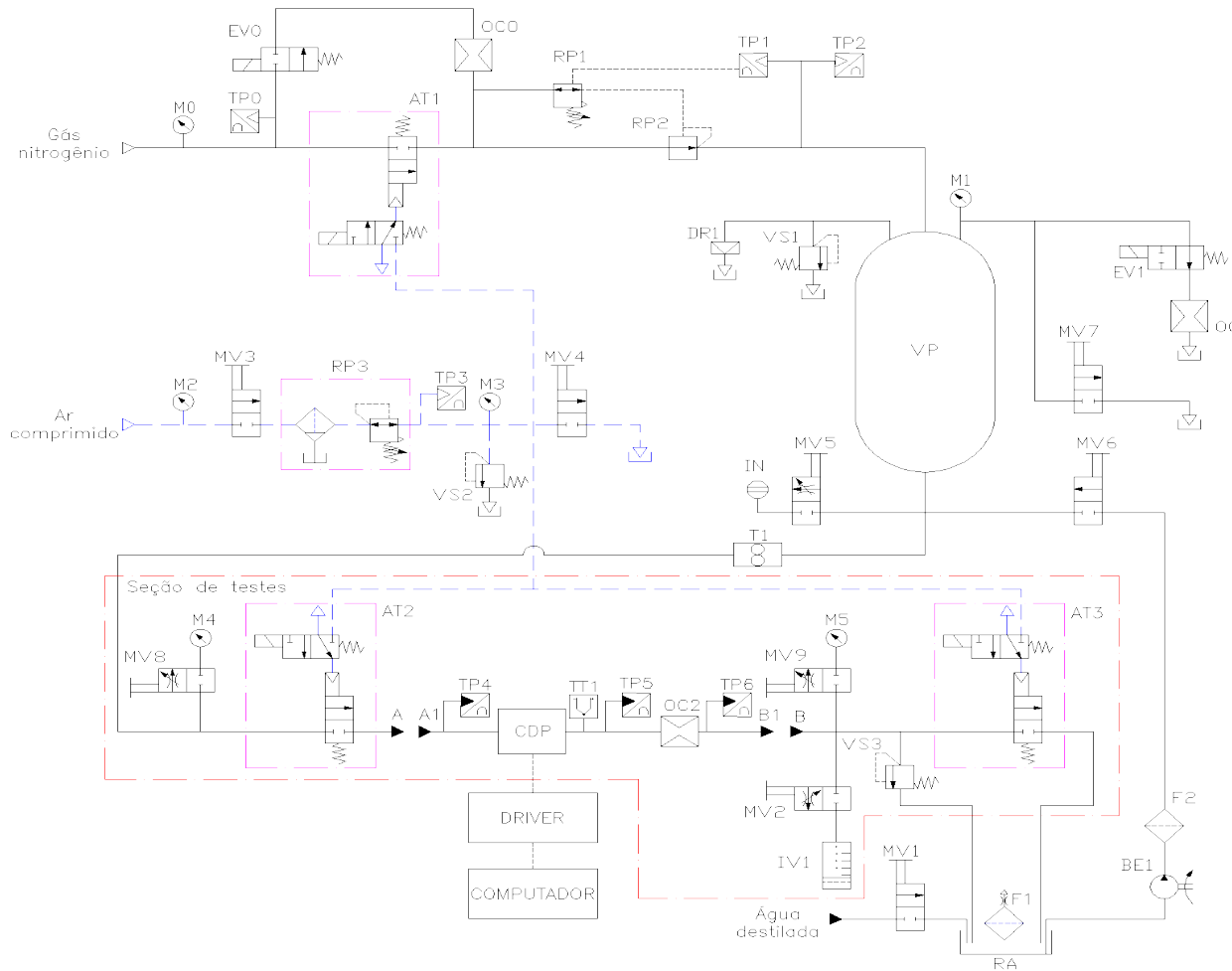


Aplicação: determinar ΔP e vazão em regime permanente das válvulas, reguladores, câmaras de empuxo e gerador de gás.

Status: sendo adaptado para o L75



Banco de Ensaio Hidráulico II - (Água, pressão até 200bar)



Aplicação:

- Verificar a funcionalidade de válvulas e reguladores nas pressões e vazões nominais;
- Determinar características de transitório.

Status:

- Projeto básico em execução.



6º SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Banco de Ensaio de Eletroválvulas - (Água, vazão < 1kg/s, 90 bar)



Aplicação:

- Determinar ΔP e vazão das válvulas, injetores, regulador de empuxo, orifícios, cintas de injeção e gerador de gás.
- Características de transitório

Status: Operacional



6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Banco de Ensaio de Reguladores- (Gás, alta pressão < 340 bar)



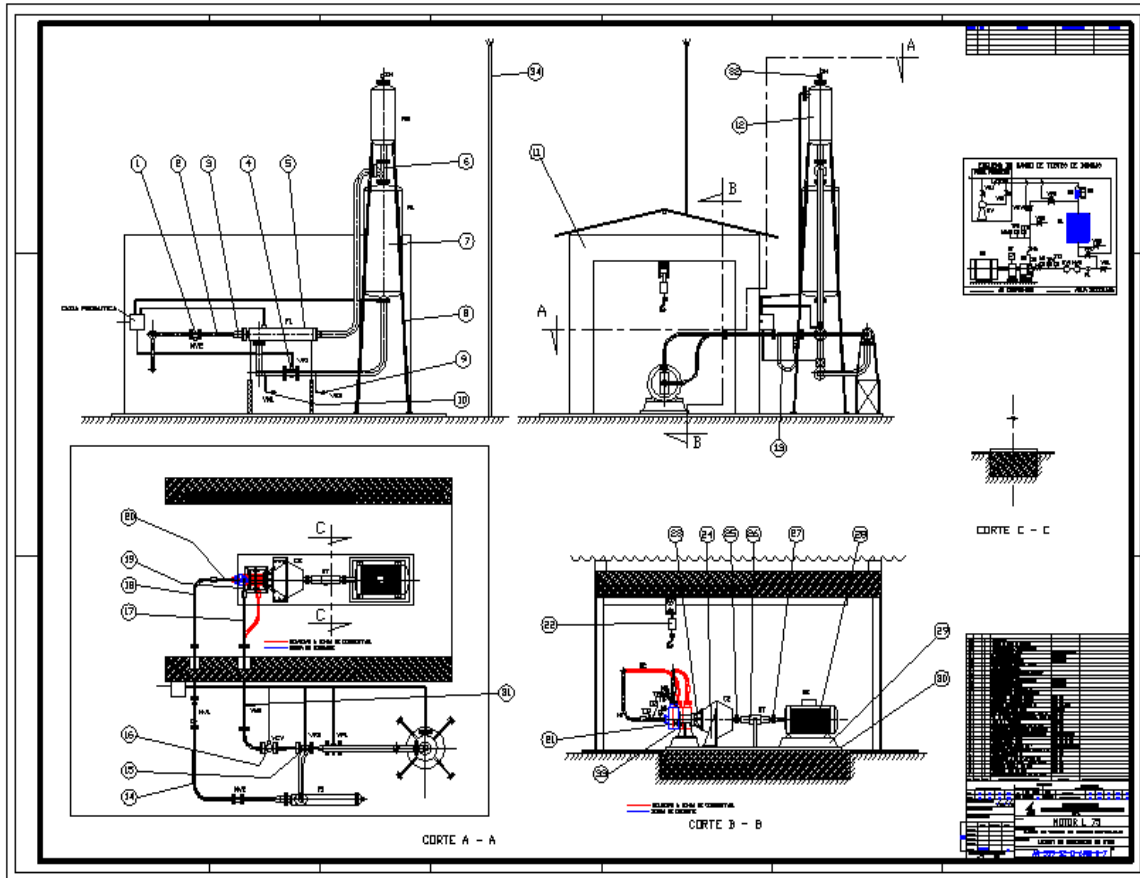
Aplicação:

- Verificar a funcionalidade em regime permanente e transitório, ΔP e vazão das válvulas solenóides e regulador de pressão.

Status: Operacional



Banco de Ensaios das Bombas e Turbina (Fluido modelo)



Aplicação:

- Determinar as curvas características de desempenho;
- Características de vibração e estanqueidade.

Status: Projeto básico pronto.



6º SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Banco de Ensaio a Quente de 20 kN – Ensaio do Gerador de Gás



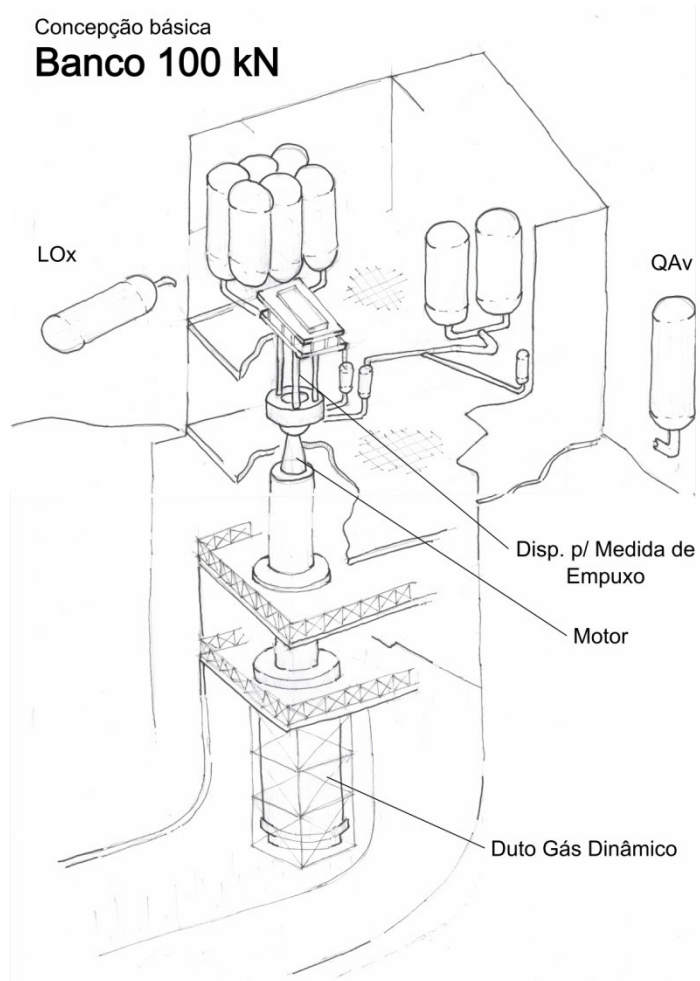
Aplicação:

- Determinar as características de desempenho do Gerador de Gás.

Status: Necessário upgrade de 40 bar para 100 bar.



Banco de Ensaios a Quente de 100 kN – Câmara, TPU e L75



Aplicação: Ensaios de desempenho a quente da Câmara de Empuxo, TPU e do Motor L75.

Status:
Contratação de projeto básico.



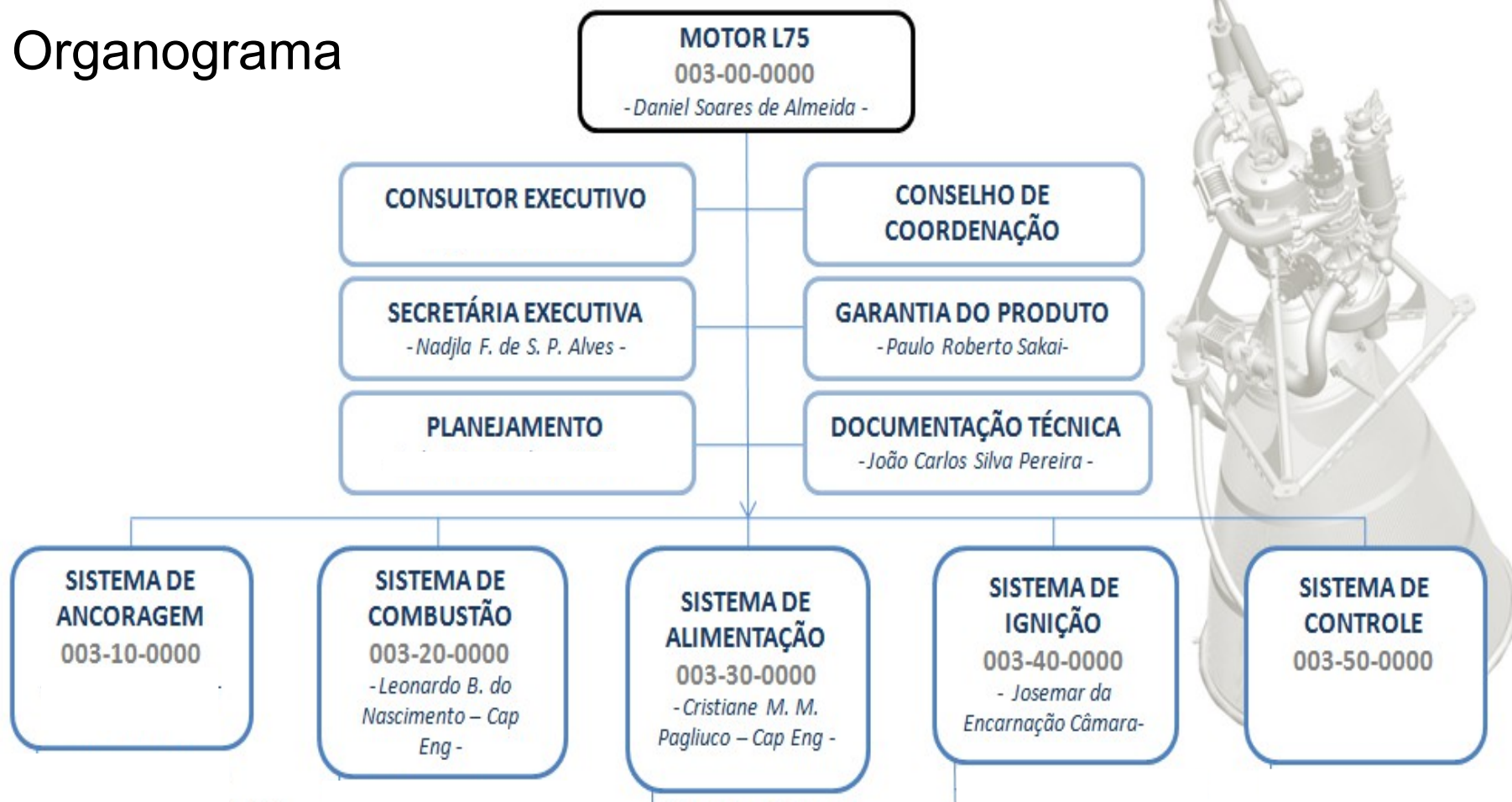
6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



Organograma





6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



ORGANIZAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Norma adotada: ECSS (EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION). A ECSS-E-30 define regras para desenvolvimento, produção e operação de produtos espaciais.

MDR Mission definition review

SRR System requirements review

PDR Preliminary Design review

CDR Critical design review

QR Qualification review



6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E VERIFICAÇÃO

A estratégia de desenvolvimento do Motor L75 é baseada na definição de modelos de desenvolvimento e modelos de engenharia dos componentes, partes e subsistemas do Motor para verificação do atendimento aos requisitos.

Um programa de verificação é estabelecido através de um Plano de Desenvolvimento e Verificação, de acordo com as especificações do Motor L75, considerando os métodos de verificação, níveis, modelos e requisitos a serem verificados.



6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO

- 1 - ESPECIFICAÇÃO DO MOTOR L75 ✓
- 2 - CÁLCULOS PRELIMINARES ✓
- 3 - PLANEJAMENTO DE VERIFICAÇÃO ✓
- 4 - REVISÃO DE REQUISITOS DO SISTEMA (SRR) ✓
- 5 - ESPECIFICAÇÃO DOS SISTEMAS ✓
- 6 - PROJETO MECÂNICO PRELIMINAR ✓
- 7 - ANÁLISES ✓
- 8 - PROJETO MECÂNICO DOS MODELOS DE DESENVOLVIMENTO ✓
- 9 - FABRICAÇÃO E TESTES DOS MODELOS DE DESENVOLVIMENTO X
- 10 - REVISÃO PRELIMINAR DE PROJETO (PDR) ✓



6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO

- 11 - ESPECIFICAÇÃO DOS COMPONENTES - MODELOS DE ENGENHARIA ✓
- 12 - REVISÃO DO MEMORIAL DE CÁLCULO E DOS PROJETOS ✓
- 13 – ANÁLISES (em andamento)
- 14 - PROJETO MECÂNICO DETALHADO (em andamento)
- 15 - PROJETO DE FABRICAÇÃO (em andamento)
- 16 - PROCEDIMENTOS DE MONTAGEM, INSPEÇÃO E TESTES (em andamento)
- 17 - PROJETO MECÂNICO DOS MODELOS DE ENGENHARIA (em andamento)
- 18 - FABRICAÇÃO DOS MODELOS DE ENGENHARIA (depende de novos contratos)
- 19 - TESTES DOS MODELOS DE ENGENHARIA (depende de novos contratos)
- 20 - REALIMENTAÇÃO DO PROJETO DETALHADO (depende de novos contratos)
- 21 - REVISÃO CRÍTICA DO PROJETO (CDR) (depende de novos contratos)



6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



DESAFIOS

Aquisição de materiais e serviços

- ❖ Para fabricação;
- ❖ Para meios de ensaios;
- ❖ Para recursos humanos especializados.



6^o SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



DESAFIOS

Operacional/material/funcional

- ❖ Desenvolvimento de modelos matemáticos não lineares
- ❖ Otimização do perfil das palhetas das bombas e turbina (cálculos CFD)
- ❖ Desenvolvimento das vedações e rolamentos da turbobomba
- ❖ Refrigeração da câmara de combustão



6º SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



DESAFIOS Tecnológicos

- ❖ Processos de Fabricação:
 - Paredes da câmara
 - Brasagem e soldagem dos componentes da câmara de combustão
 - Disco e palhetas da turbina
 - Reguladores e válvulas
- ❖ Desenvolvimento do grupo rotor da turbobomba
- ❖ Balanceamento da turbobomba



6º SeP P&D

Seminário de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas

Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores



DESAFIOS

Infra estrutura para Ensaaios

❖ Banco de testes para ensaios de componentes:

- Vedações e rolamentos da turbobomba;
- Bomba criogênica;
- Válvulas criogênicas;
- Turbina – ensaios a frio e na temperatura de operação.

❖ Banco de testes para ensaios de subsistemas:

- Gerador de Gases;
- Turbobomba;
- Câmara de Empuxo;
- Motor integrado.