



Ministério da
Ciência e Tecnologia



sid.inpe.br/mtc-m19/2010/11.03.12.59-MAN

MANUAL DESCRITIVO DE RECURSOS E OPERAÇÕES DO BANCO DE TESTES EM CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS - BTCA

Carlos Dolberth Jaeger
José Gobbo Ferreira

Manual descritivo e de procedimentos para a operação do Banco de Testes em Condições Atmosféricas - BCTA do Laboratório Associado de Combustão e Propulsão do INPE.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/38H5EQ5>>

INPE
São José dos Campos
2010

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**Presidente:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Membros:

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr^a Regina Célia dos Santos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Horácio Hideki Yanasse - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Deicy Farabello - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Vivéca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
Ciência e Tecnologia



sid.inpe.br/mtc-m19/2010/11.03.12.59-MAN

MANUAL DESCRITIVO DE RECURSOS E OPERAÇÕES DO BANCO DE TESTES EM CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS - BTCA

Carlos Dolberth Jaeger
José Gobbo Ferreira

Manual descritivo e de procedimentos para a operação do Banco de Testes em Condições Atmosféricas - BCTA do Laboratório Associado de Combustão e Propulsão do INPE.

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/38H5EQ5> >

INPE
São José dos Campos
2010

RESUMO

Este documento tem como objetivo descrever os recursos e a operação do Banco de Testes em Condições Atmosféricas do Laboratório Associado de Combustão e Propulsão (LCP/CES/INPE)

DESCRIPTIVE AND OPERATIONS MANUAL FOR THE ATMOSPHERIC CONDITIONS STAND TEST - BTCA

ABSTRACT

The objective of this document is to describe the facilities and to explain the operation of the Atmospheric Conditions Test Stand - BTCA of the Combustion and Propulsion Laboratory of our Institute.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 Vista geral do BTCA	2
2.1 Compartimentos da linha de combustível	4
2.2 Sala de Controle	6
2.3 Bancada de Calibração	7
2.4 Bancada para trabalhos mecânicos	7
2.5 Itens de segurança	9
2.6 Itens de segurança	9
4.1 Linha A - Oxidante	13
4.2 Linha B - Combustível bipropelente	15
4.3 Linha C - Combustível monopropelente	17
5.1 Sistema de controle e aquisição de dados	20
5.2 Unidade de monitoramento e comando manual	22
5.3 Sistema de segurança do motor	23
5.4 Desktop Realtime	24
5.5 Placas de aquisição e controle	25
5.6 Desktop IHM	26
5.7 Rack SCXI	27
5.8 Terminais de conexão direta	27
5.9 Fontes	28
5.10 Conexões dos cabos	29
5.11 Transmissor/indicador de Pressão do Tanque	30
5.12 Medidores de Vazão Coriois	31
5.13 Sensores Magnéticos dos Medidores de Vazão.....	31
5.14 Conexões dos termopares	33
5.15 Célula de carga para teste monopropelente	34
5.16 Amplificador de linhas para célula de carga	35
5.17 Programa para teste bipropelente	36
5.18 Programa para visualização das curvas	38
5.19 Programa para análise dos dados	39
5.20 Gravadores de vídeo em HD	40

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

°C	- Grau Centígrado
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ATM	- Atmosfera
BTCA	- Banco de Testes Em Condições Atmosféricas
CA	- Corrente Alternada
CC	- Corrente Contínua
CLP	- Controlador Lógico Programável
DVD	- Digital Versatile Disc (Disco Digital Versátil)
E/S	- Entrada e Saída
EPI	- Equipamento de Proteção Individual
ETC	- Etecetera
FAPESP	- Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo
G	- Grama
GHz	- Giga Hertz
HD	- Hard Drive (Disco Rígido)
Hz	- Hertz
IHM	- Interface Homem-Máquina
INMETRO	- Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
l	- Litro
LCP	- Laboratório Associado De Combustão E Propulsão
mA	- Miliampères
min	- Minuto
ms	- Milisegundo
Ms/s	- Mega Samples Per Second (Milhões De Amostras Por Segundo)
mV	- Milivolt
N	- Neuton
N50	- Nitrogênio Ultrapuro 99.9999%

NO ₂	- Óxido Nítrico
PCI	- Peripheral Component Interconnect (Interconector De Componentes Periféricos)
PGS	- Projeto Gráfico De Sistemas
PRONEX	- Programa De Apoio A Núcleos De Excelência
PTFE	- Politetrafluoretileno
RAM	- Random Access Memory (Memória De Acesso Aleatório)
RBC	- Rede Brasileira De Calibração
s	- Segundo
SCXI	- Signal Conditioning And Switching Input Platform (Plataforma De Chaveamento E Condicionamento De Sinais De Entrada)
SS	- Sistema De Segurança
SSM-X	- Sistema De Segurança Do Motor X
UCA	- Unidade De Comando E Aquisição De Dados
V	- Volt
VHS	- Video Home System (Sistema De Vídeo Doméstico)

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
2 INSTALAÇÕES	3
2.1 Linhas de propelente.....	3
2.2 Ponto fixo	4
2.3 Câmara de baixo vácuo	5
2.4 Sala de controle	5
2.5 Bancada de teste, calibração e ajuste de sensores e transmissores	6
2.6 Bancada para trabalhos mecânicos	7
2.7 Sistema de segurança pessoal e ambiental	8
3 OPERAÇÃO	11
3.1 Teste de motores a bipropelente	11
3.2 Teste de motores a monopropelente	11
3.3 Teste de motores híbridos.....	12
3.4 Teste de estado-reatores e motores com propelente sólido	12
4 DETALHAMENTO DAS LINHAS DE PROPELENTES.....	13
4.1 Linha A - Oxidante	13
4.2 Linha B - Combustível bipropelente	15
4.3 Linha C - Combustível monopropelente	17
5 SISTEMA DE CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS	19
5.1 Comando manual e sistema de segurança do motor SS	22
5.2 Unidade de controle e aquisição de dados UCA	23
5.2.1 UCA Backup: CLP Altus, Placas MC 12 bits, Indusoft	23
5.2.2 UCA Principal: Hardware National e Labview	23
5.2.2.1 Desktop Realtime	24
5.2.2.2 Placas de E/S	25
5.2.2.3 Interface homem máquina IHM	25
5.2.2.4 Rack SCXI	26
5.2.2.5 Terminais de conexão direta	27

5.2.2.6	Fontes de tensão e corrente controladas	28
5.2.3	Bloco de conexões do cabeamento	29
5.3	Sensoriamento	29
5.3.1	Medidores de pressão	30
5.3.2	Medidores de vazão coriolis	30
5.3.3	Termopares	33
5.3.4	Células de carga	34
5.4	Programas	36
5.4.1	Programas para teste ou supervisórios	36
5.4.2	Programas de análise dos resultados	37
5.5	Sistema de registro de vídeo	40
	APÊNDICE A - FICHA TÉCNICA BTCA	41
A.1	Introdução	41
A.2	Linhas de propelente	42
A.3	Sensoriamento	43
A.4	Sistema de controle e aquisição	45
A.5	Segurança	48
A.6	Controle de documentação	48
A.7	Precisão dos equipamentos	48

1 INTRODUÇÃO

O Banco de Testes em Condições Atmosféricas - BTCA, é um componente da infraestrutura do Laboratório Associado de Combustão e Propulsão - LCP. Foi inteiramente concebido, projetado, construído e equipado no LCP, graças a recursos de um projeto infraestrutura da FAPESP, do programa PRONEX/CNPq e do INPE. Tem condições de realizar ensaios abrangendo praticamente todos os tipos de propulsão química que não envolvam propelentes criogênicos, até um empuxo de cerca de 2000 N.

O objetivo principal do BTCA é o desenvolvimento de novos propulsores químicos. A fase de desenvolvimento de propulsores apresenta riscos que devem ser, em tese, completamente eliminados, e o desempenho desejado deve ser assegurado com elevada probabilidade de êxito, antes que o produto passe para a fase seguinte, de testes em vácuo ou testes de qualificação.

Suas instalações oferecem as condições necessárias ao avanço nas pesquisas sobre processos propulsivos, uma vez que permitem a realização de ensaios de motores sólidos, híbridos, líquidos a bipropelente, líquidos a monopropelente - incluindo testes de desempenho de catalisadores, estado-reatores etc. Por isso, está envolvido em grande parte dos trabalhos de pós-graduação em propulsão realizados no LCP.

Sua operação é conduzida com especial cuidado pela segurança de pessoas e instalações envolvidas e pelo respeito ao meio ambiente.

A Figura 1.1 mostra uma vista geral do BTCA.



Figura 1.1 - Vista geral do BTCA.

2 INSTALAÇÕES

O BTCA é composto das linhas de propelentes, ponto fixo, câmara de baixo vácuo, sala de controle, bancada de teste para calibração e ajuste de sensores, bancada mecânica e sistema de segurança pessoal e ambiental.

Para o trabalho com propulsão sólida, o ponto fixo é adaptado para testes em provetes e em motores em sua configuração mecânica final, permitindo a medição de pressões, temperaturas e empuxo. O Banco conta com uma bomba de Crawford, usada para a medição da velocidade linear de queima de propelentes sólidos.

Para permitir o desenvolvimento da propulsão líquida o BTCA conta com três linhas de propelentes que convergem para o ponto fixo onde são montados os motores para os ensaios. Os motores a bipropelentes líquidos são instalados ao ar livre e aqueles a monopropelente líquido dentro de uma câmara de baixo vácuo.

Para o comando das válvulas pneumáticas, conta com um compressor de ar com reservatório de 220 l e pressão de até 12 bar e vazão de 10 pés³/min, que também abastece a bancada de calibração e a bancada mecânica.

Existe ainda o sistema de segurança contra incêndio e um depósito onde ficam os produtos de uso eventual.

2.1 Linhas de propelente

Existem três linhas de propelentes, uma para o combustível, outra para o oxidante e uma terceira para a operação com monopropelentes. As linhas de combustível e de oxidante são iguais. Neste momento, o combustível é a UDMH (dimetilhidrazina assimétrica), o oxidante é o N₂O₄ (tetróxido de nitrogênio) e o monopropelente é a N₂H₄ (hidrazina)

Por razões de segurança, as linhas de propelentes são divididas em duas baias, mostradas na Figura 2.1, uma para a parte gasosa e outra para o propelente pressurizado. O ponto fixo fica localizado após a baia de propelente. Todas essas três seções são separadas entre si por paredes de concreto de resistência adequada.



Linha de Combustível - Baia líquida.



Linha de Combustível - Baia gasosa.

Figura 2.1 - Compartimentos da linha de combustível.

2.2 Ponto fixo

Chamamos de “Ponto Fixo” à estrutura em concreto na qual são fixados os motores, sólidos e bipropelentes para a realização dos testes.

O teste com motores bipropelentes é geralmente realizado com o motor na posição vertical, para prevenir que um incidente qualquer possa permitir o acúmulo de propelentes na câmara. Nessa situação, o propelente não queimado simplesmente escoar pela tubeira.

O conjunto conta com um reservatório de água, em aço inoxidável, que funciona pleno durante os tiros com bipropelentes e transborda através de uma tubulação formando uma cascata que protege a parede externa do tanque contra as altas temperaturas dos gases da exaustão. Existe ainda um dispositivo com vários injetores que lança água contra esses gases evitando, ou pelo menos diminuindo bastante, sua fuga para a atmosfera.

Os engenhos sólidos e híbridos de pequenas dimensões (que constituem a maioria de nossos produtos) podem utilizar balanças de empuxo presas à face anterior do ponto fixo. Para engenhos sólidos maiores (motores sólidos, estado-reatores, etc.), a estrutura conta com trilhos, sobre os quais se desloca horizontalmente um suporte com rodízios, no qual eles são acoplados.

Caso haja interesse e dependendo das dimensões do motor em teste, a versatilidade do sistema de balanças de empuxo permite a instalação de propulsores em ângulos que variam desde a posição horizontal até a vertical.

2.3 Câmara de baixo vácuo

Para testes com motores monopropelentes, foi instalada na região do ponto fixo uma pequena câmara de baixo vácuo (até cerca de 0,85 bar). A bomba de vácuo dispõe de anel líquido, e os gases oriundos da decomposição do propelente, geralmente hidrazina, são conduzidos a um tanque no qual se dissolvem. Isso evita o lançamento de gases diretamente na atmosfera, principalmente da amônia, que é extremamente irritante e persistente. De tempos em tempos a água do tanque é neutralizada.

2.4 Sala de controle

Os cabos dos sensores, válvulas pilotadas e sinais de vídeo das câmeras chegam à sala de controle, mostrada na Figura 2.2, onde se encontra o rack de equipamentos, os indicadores de vazão e os monitores de vídeo.

A sala possui sistema de climatização e de controle de energia (No-break estabilizado), que pode manter todo sistema (exceto ar condicionado e iluminação) funcionando por cerca de 30 minutos.

Durante os trabalhos, a comunicação entre a sala de controle e os ambientes externos é feita por meio de radiocomunicadores.

Durante os testes todas as aberturas da sala são fechadas para evitar uma possível contaminação.



Figura 2.2 - Sala de Controle.

2.5 Bancada de teste, calibração e ajuste de sensores e transmissores

O BTCA possui uma bancada que possibilita a calibração dos seguintes tipos de Sensores:

- a) Sensores e Transmissores de Pressão nas faixas de Vácuo, 15 psia, 68 atm e 340 atm
- b) Sensores e Transmissores de Temperatura na faixa de 20°C a 350 °C
- c) Sensores de Força (Células de Carga) na faixa de 0 a 2000 N

Além disso, a bancada possibilita a calibração de amplificadores e transmissores, podendo receber e gerar praticamente todos os tipos de sinais utilizados, como tensão (V e mV), corrente (mA), resistência (Ohm, mOhm), frequência (Hz), nas diversas configurações em 2, 3 e 4 fios, ponte (straingage), simulação de termopar, termoresistência, etc..

A bancada, mostrada na Figura 2.3, possui certificados de calibração de acordo com a ABNT, rastreados pelo Cgcre/Inmetro, realizados por Laboratório Associado à RBC, que comprovam resultados com precisão melhor que 0,01%.

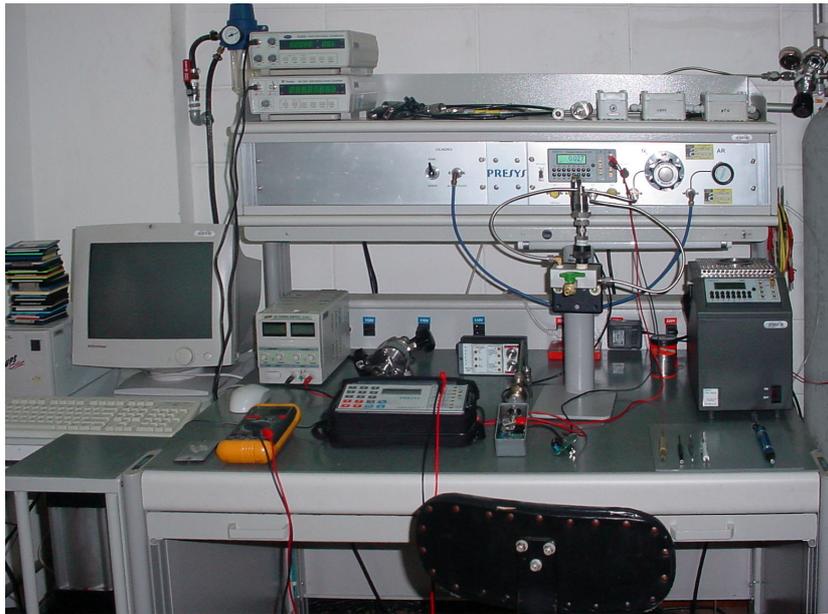


Figura 2.3 - Bancada de calibração.

2.6 Bancada para trabalhos mecânicos

O BTCA também possui uma bancada, mostrada na Figura 2.4, que possibilita a realização de pequenos trabalhos mecânicos como a confecção de pequenas peças, montagem e desmontagem de propulsores.



Figura 2.4 - Bancada para trabalhos mecânicos.

2.7 Sistema de segurança pessoal e ambiental

Para minimizar riscos de vazamentos e evitar a contaminação tanto das pessoas como dos propelentes, todos os materiais em contato com os propelentes são de aço inoxidável 304 ou 316 e teflon PTFE. As válvulas e conexões foram padronizadas (Swagelok), e existe todo um sistema de segurança contra incêndios e contaminação. Um reservatório elevado garante o suprimento de água com a pressão necessária para alimentar os hidrantes - aos quais são conectadas as mangueiras. A manipulação das linhas e motores é feita com a utilização de diversos equipamentos de proteção individual (EPI's): máscara com filtro apropriado, macacão, luvas e botas de proteção. Também existe um chuveiro e um lavador de olhos. Além disso, existem placas de alerta com as características dos propelentes e procedimentos no caso de contato acidental.

O BTCA também conta com detector portátil de NO₂ que deve ser utilizado nos trabalhos próximos à linha de Oxidante ou na manipulação de seus componentes. Ele possui alarme de pico e tempo de exposição prolongada, armazenando as leituras em sua memória interna, que pode ser transferida ao computador através do software de comunicação.

Existe ainda, no prédio do BTCA, uma sala destinada ao depósito de materiais diversos.

As Figuras 2.5 e 2.6 ilustram alguns dos itens de segurança do BTCA.



Reservatório.



Hidrantes.



Caixa de mangueiras.



Mangueira no hidrante.



Lavador de olhos.



Detector.

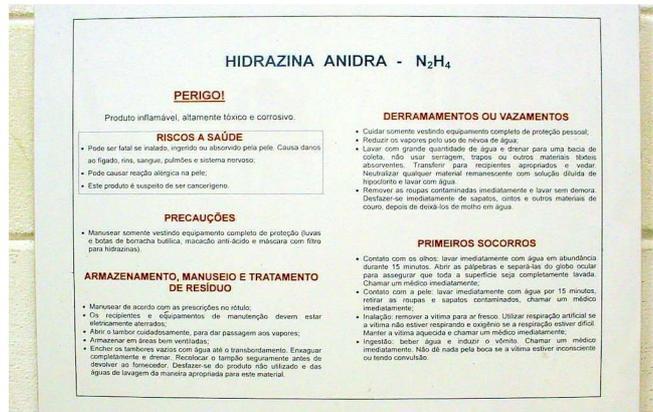


Máscara/filtro.

Figura 2.5 - Itens de segurança.



Chuveiro e lavador de olhos.



Placa de Orientação-Hidrazina.

Figura 2.6 – Itens de segurança.

3 OPERAÇÃO

3.1 Teste de motores a bipropelente

Para os testes com motores bipropelentes são utilizadas duas das linhas existentes. A linha de oxidante é chamada linha “A” e a linha de combustível linha “B”. Em ambas as linhas cilindros de nitrogênio aeroespacial ultra-puro (N50 – 99.999%) pressurizam os tanques de propelente, expulsando-os em direção ao motor. Uma série de válvulas manuais e controladas remotamente permite o completo condicionamento da linha de acordo com as necessidades de cada teste. O propelente passa por medidores de vazão mássica e, além da vazão mássica, são monitoradas e adquiridas diversas pressões, temperaturas, empuxo, e eventualmente outras variáveis mecânicas e acústicas. Para a despressurização dos tanques, o nitrogênio é conduzido a tanques de neutralização para evitar que quaisquer vapores tóxicos sejam lançados ao ambiente. O motor é montado no local de testes na vertical ou em ângulos variáveis, para uma melhor dissipação do calor dos gases.

3.2 Teste de motores a monopropelente

Para os testes com monopropelentes, é utilizada a parte de pressurização da linha de combustível, sendo o nitrogênio conduzido ao tanque próprio do combustível monopropelente, expulsando-o em direção ao motor. As partes da linha que são específicas do monopropelente são chamadas de linha “C”. Adicionalmente, o local de testes do motor é constituído de uma câmara de baixo vácuo. O ar e os gases provenientes do motor são sugados por uma bomba de vácuo de anel líquido e lançados em um tanque com água. Da mesma forma, válvulas manuais e controladas remotamente permitem o condicionamento da linha de acordo com as necessidades de cada teste e o propelente passa pelo seu medidor de vazão mássica. Também são monitoradas e adquiridas diversas pressões, temperaturas, empuxo, e eventualmente outras variáveis mecânicas e acústicas. Para a despressurização do tanque é utilizado o mesmo procedimento da linha “B”.

3.3 Teste de motores híbridos

Os testes de motores híbridos (com oxidante e combustível em estados físicos diferentes) são similares aos dos bipropelentes líquidos, podendo ser utilizadas as duas linhas ou apenas a linha de oxidante. São feitas modificações nos procedimentos e programas de controle e aquisição específicos para que as válvulas manuais e controladas remotamente sejam adequadas às peculiaridades de cada teste. São monitoradas e adquiridas vazões, pressões, temperaturas, empuxo, variáveis mecânicas e acústicas e, se for utilizado propelente sólido, os grãos são pesados antes e depois dos testes. A adaptação da linha líquida ao motor e sua despressurização também é análoga às dos motores bipropelentes.

3.4 Teste de estado-reatores e motores com propelente sólido

Os testes de estado-reatores e motores com propelente sólido não necessitam das linhas de propelente líquido, porém necessitam de sistemas de ignição específicos. Os estado-reatores necessitam de gases, válvulas reguladoras e de válvulas de controle adicionais. Devido a versatilidade do sistema de controle e aquisição de dados todas as variáveis podem ser monitoradas e adquiridas. Os grãos são pesados antes e depois dos testes.

4 DETALHAMENTO DAS LINHAS DE PROPELENTES

4.1 Linha A – Oxidante bipropelente.

A Figura 4.1 mostra o esquema da linha A - referente ao oxidante.

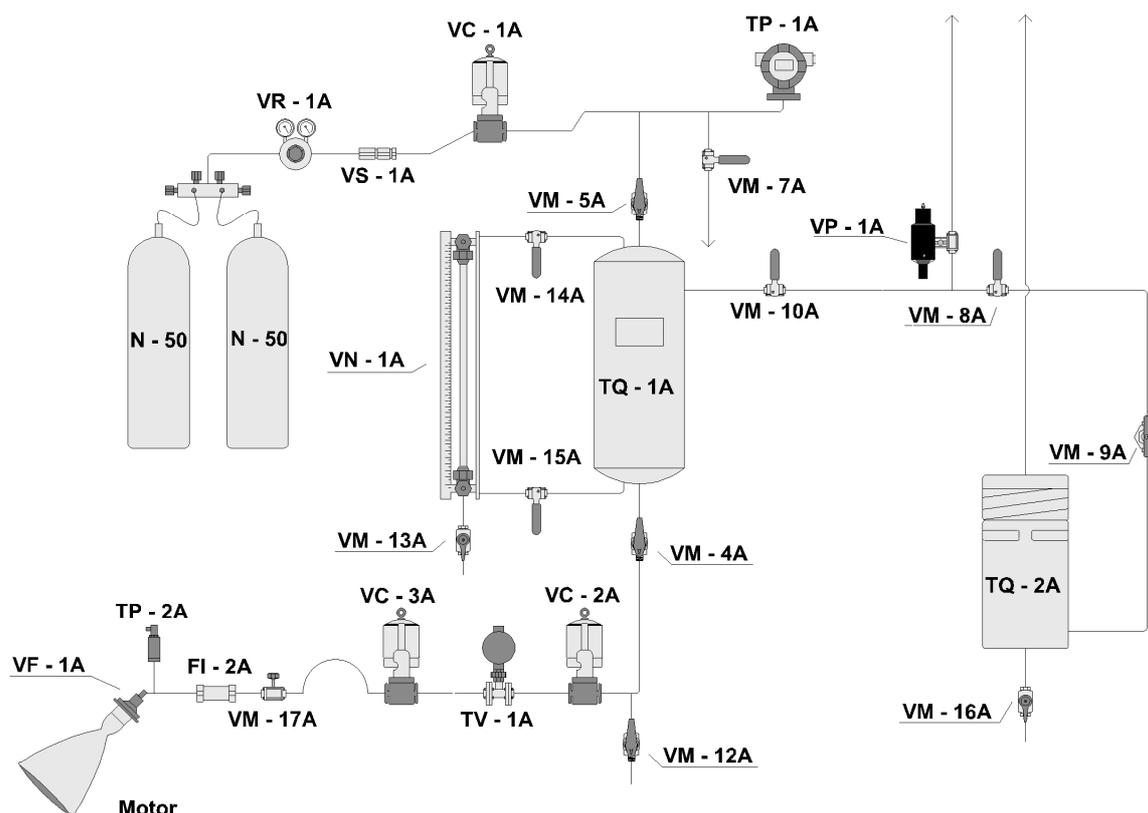


Figura 4.1 - Linha A – Oxidante.

A linha de oxidante é alimentada por um conjunto de dois cilindros de nitrogênio N-50 ligados a um manifold em aço inox com válvulas independentes de purga e passagem. A saída é aplicada à válvula reguladora VR-1A, que opera na faixa de 0 a 30 bar de pressão manométrica. Logo em seguida a válvula de segurança VS-1A visa impedir o retorno de quaisquer vapores. O gás é conduzido a uma válvula controladora de pressão VC-1A, dotada de um posicionador beta, controlado pelo sistema. Para ensaios de tempo e empuxo reduzidos, o posicionador é retirado e a válvula opera em modo on-off, atuada a partir da sala de comando. A saída de VC-1A é ligada ao transmissor de pressão manométrica TP-

1A. Existe ainda a válvula VM-7A, utilizada para fazer vácuo e permitir o carregamento do propelente.

O conjunto do tanque de oxidante é constituído pela válvula VM-5A na entrada, o tanque TQ-1A, a válvula VM-4A na saída e a válvula de alívio VM-10A. O tanque é ligado ao visor de nível VN-1A que possui válvula de entrada VM-14A, válvula de saída VM-15A e válvula de esgotamento VM-13A.

A depressurização e evacuação de vapores é feita por meio de VM-10A, através do circuito de depressurização de emergência ou do circuito de depressurização neutralizada. O primeiro libera os vapores diretamente para a atmosfera através do conjunto VP-1A, formado pela válvula manual, seu acionador pneumático e sua solenóide, comandada na sala de controle. No circuito de depressurização neutralizada os vapores passam por VM-8A e VM-9A, que controla a vazão, e são conduzidos ao tanque TQ-2A, que contém uma solução de uréia, onde são borbulhados, para permitir a neutralização dos componentes nocivos, antes de liberá-los para a atmosfera. Abaixo do tanque TQ-2A existe uma válvula de saída da solução de uréia, VM-16A.

Após a válvula de saída do tanque VM-4A existe a válvula VM-12A, utilizada para fazer o carregamento do propelente. Em seguida vem a válvula controladora de vazão VC-2A, dotada de um posicionador beta controlado pelo sistema. Analogamente à VC-1A, para ensaios de tempo e empuxo reduzidos, o posicionador é retirado e a válvula opera em modo on-off, atuada a partir da sala de comando. Após VC-2A vem o sensor e transmissor de vazão TV-1A, que mede a vazão de propelente na linha através do efeito Coriolis. Em seguida vem a válvula shut-off VC-3A, normalmente fechada e que é a segurança final do processo. Para abrir, e permitir a execução do tiro, essa válvula recebe o comando automático ou manual do sistema. Sempre que a pressão no tanque não estiver adequada, ou qualquer alarme seja acionado, ela não se abrirá ou, se o processo estiver em curso, se fechará imediatamente.

Após a válvula shut-off existe um tubo flexível que conecta a linha aos diversos motores. O filtro FI-2A e a válvula de agulha VM-17A terminam a parte permanente da linha.

4.2 Linha B - Combustível bipropelente.

A Figura 4.2 mostra o esquema da linha de combustível para teste de sistemas propulsivos a bipropelentes líquidos.

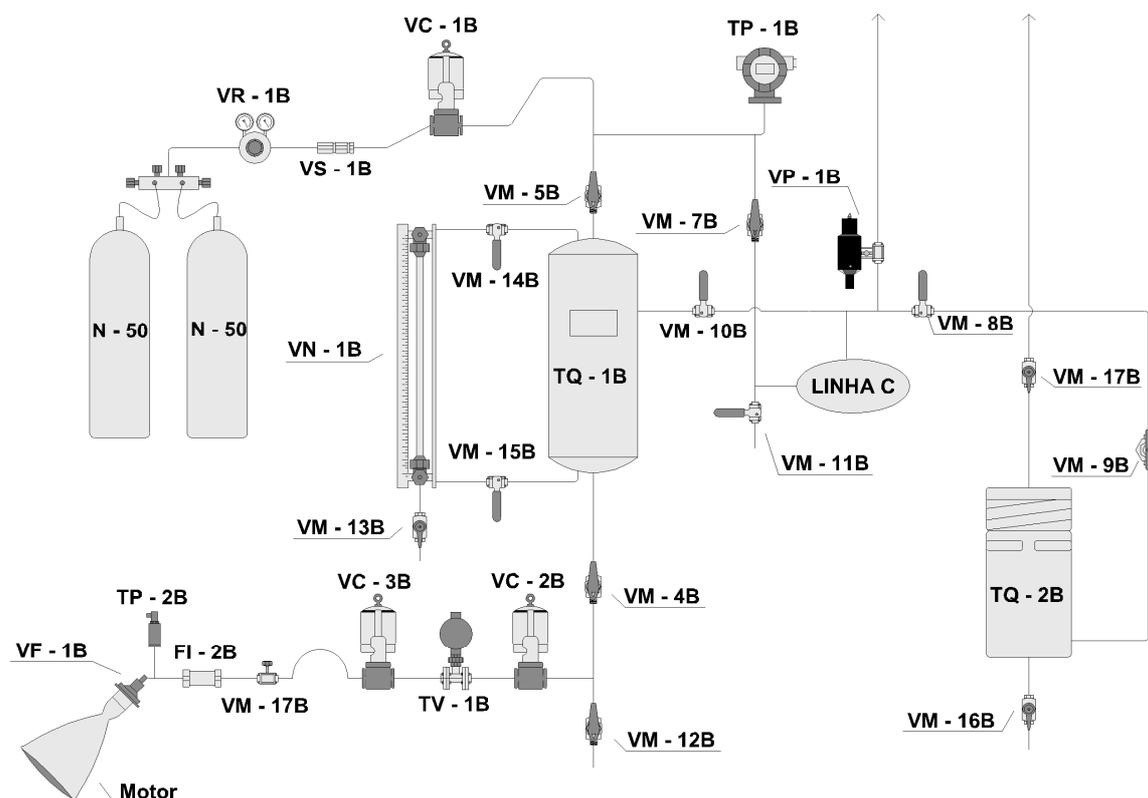


Figura 4.2 - Linha B - Combustível bipropelente.

Da mesma maneira que a linha de Oxidante (A), a linha de combustível - linha B - é alimentada por um conjunto de dois cilindros de nitrogênio N50 ligados a um manifold em aço inox com válvulas independentes de purga e passagem. A saída é aplicada à válvula reguladora VR-1B, que opera na faixa de 0 a 30 bar de pressão manométrica. Logo em seguida a válvula de segurança VS-1B visa impedir o retorno de quaisquer vapores. O gás é conduzido à uma válvula controladora de pressão VC-1B, dotada de um posicionador beta, controlado pelo sistema. Para ensaios de tempo e empuxo reduzidos, o posicionador é retirado e a válvula opera em modo on-off, atuada a partir da sala de comando. A saída de VC-1B é ligada ao transmissor de pressão manométrica TP-1B. Existe ainda a válvula VM-7B, que permite a utilização da pressurização pela linha monopropelente, e a válvula VM-

11B, utilizada para fazer vácuo e permitir o carregamento do combustível para o tanque bipropelente ou monopropelente.

O conjunto do tanque de combustível é constituído pela válvula VM-5B na entrada, o tanque TQ-1B, a válvula VM-4B na saída e a válvula de alívio VM-10B. O tanque é ligado ao visor de nível VN-1B que possui válvula de entrada VM-14B, válvula de saída VM-15B e válvula de esgotamento VM-13B.

A despressurização e evacuação de vapores é feita através de VM-10B, através do circuito de despressurização de emergência ou do circuito de despressurização neutralizada. O primeiro libera os vapores diretamente para a atmosfera através do conjunto VP-1B, formado pela válvula manual, seu acionador pneumático e seu solenóide, comandado na sala de controle. No circuito de despressurização neutralizada os vapores passam por VM-8B e VM-9B, que controla a vazão, e são conduzidos ao tanque TQ-2B, que contém uma solução de ácido acético, onde são borbulhados, para permitir a neutralização dos componentes nocivos, antes de liberá-los para a atmosfera. Abaixo do tanque TQ-2B existe uma válvula de saída da solução VM-16B.

Após a válvula de saída do tanque VM-4B existe a válvula VM-12B, utilizada para fazer o carregamento do propelente. Em seguida vem a válvula controladora de vazão VC-2B, dotada de um posicionador beta controlado pelo sistema. Analogamente à VC-1B, para ensaios de tempo e empuxo reduzidos, o posicionador é retirado e a válvula opera em modo on-off, atuada a partir da sala de comando. Após VC-2B vem o sensor e transmissor de vazão TV-1B, que mede a vazão de propelente na linha através do efeito Coriolis. Em seguida vem a válvula shut-off VC-3B, normalmente fechada e que é a segurança final do processo. Para abrir, e permitir a execução do tiro, essa válvula recebe o comando automático ou manual do sistema. Sempre que a pressão no tanque não estiver adequada, ou se qualquer alarme for acionado, ela não se abrirá ou, se o processo estiver em curso, se fechará imediatamente.

Após a válvula shut-off existe um tubo flexível que conecta a linha aos diversos motores. O filtro FI-2B e a válvula de agulha VM-17B terminam a parte permanente da linha.

4.3 Linha C - Combustível monopropelente.

A Figura 4.3 mostra o esquema da linha de combustível para teste de sistemas propulsivos a monopropelente líquido.

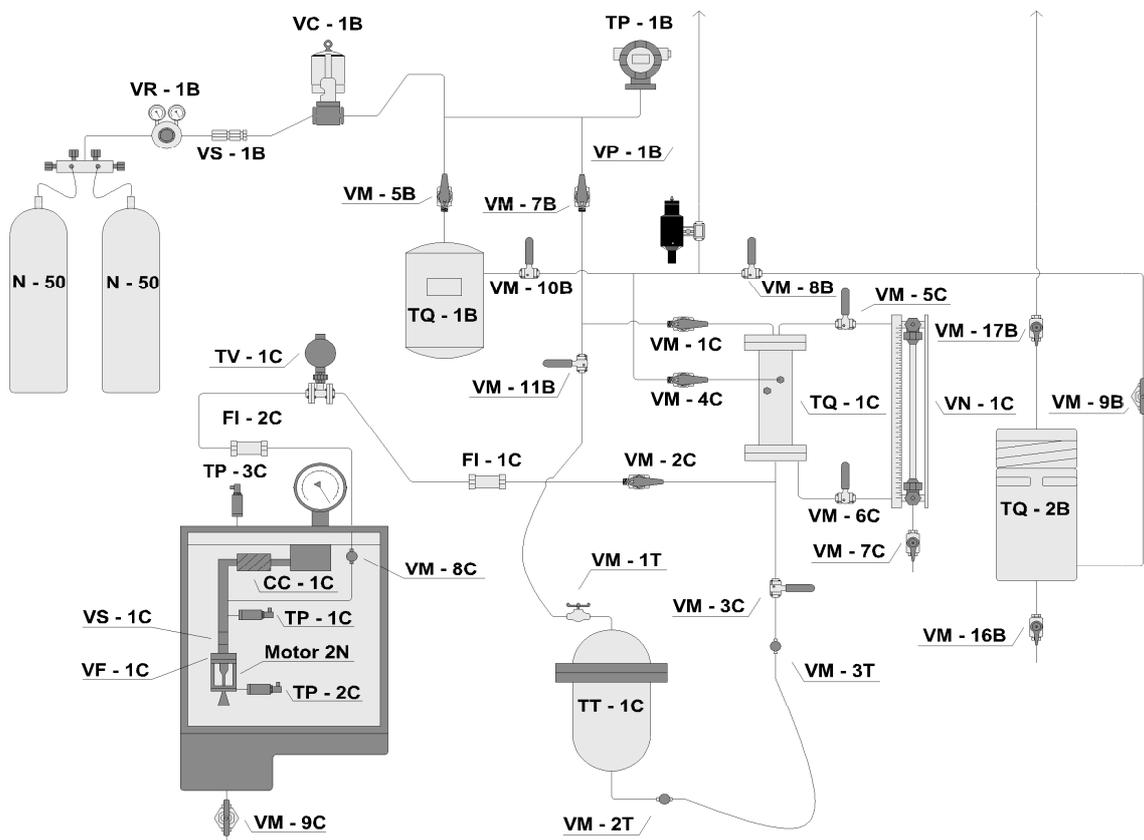


Figura 4.3 - Linha C - Combustível monopropelente.

A linha de combustível monopropelente (C) aproveita todo o sistema de pressurização e despressurização da linha de combustível, tomando a pressão após VM-7B, e retornando entre VM-10B e VM-8B para a despressurização do tanque de propelente..

O conjunto do tanque de monopropelente é constituído pela válvula VM-1C na entrada, o tanque TQ-1C, a válvula VM-2C na saída, a válvula de despressurização VM-4C e a válvula de carregamento VM-3C. O tanque é ligado ao visor de nível VN-1C que possui válvula de entrada VM-5C, válvula de saída VM-6C e válvula de esgotamento VM-7C.

Após a válvula de saída do tanque VM-2C existe um filtro FI-1C e em seguida o sensor e transmissor de vazão Coriolis TV-1C.

Próximo à câmara de baixo vácuo existe o filtro FI-2C e no seu interior uma válvula de agulha VM-8C, que libera o propelente ao sensor de pressão manométrica TP-1C, na entrada do motor, próximo às eletroválvulas VS-1C - válvula de segurança e VF-1C - válvula de fluxo. O vácuo na câmara é medido pelo sensor TP-3C e pelo supervisor do sistema. A câmara de vácuo pode ser levada novamente à pressão atmosférica através de VM-9C que pode ser utilizada também para retirar qualquer tipo de líquido que ali se acumule.

Observação: TP-1C e TP-2C medem pressão manométrica. Sob a ação de vácuo, seu referencial cai o equivalente ao valor do vácuo aplicado. O valor absoluto da pressão reinante vale: $P_{(abs)} = P_{(med)} + (p_{(atm)} - \text{Vácuo})$, onde $P_{(med)}$ é a pressão lida no aparelho.

5 SISTEMA DE CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS

Propulsores químicos para satélites e foguetes são componentes de alta tecnologia que necessitam de condições especiais para o seu desenvolvimento e teste. Abaixo são listados os principais requisitos a serem atendidos pelo sistema de comando do teste e aquisição de dados:

- o comando do motor deve ser totalmente automatizado;
- deve ser possível comandar manualmente, caso necessário;
- deve ser possível a armazenagem de seqüências de testes individuais para cada tipo de propulsor;
- os tempos de comando devem ser extremamente precisos;
- os dados adquiridos em cada teste devem ser armazenados individualmente;
- alguns dados necessitam alta taxa de aquisição e para outros é necessária alta resolução;
- deve ser possível a programação de limites de segurança (alarmes) para cada grandeza;
- os limites descritos no item g) devem ser monitorados em tempo real;
- ações de emergência devem ser programadas e executadas automaticamente caso algum limite seja excedido;
- o tempo entre a detecção do alarme e a execução da ação de emergência deve ser mínimo;
- além dos dados numéricos, é importante o registro visual, com redundância, dos testes (vídeos);

A aquisição de dados ainda precisa levar em conta os seguintes fatores:

- o local de testes, chamado ponto fixo, é separado das linhas de propelente e da sala de comando;
- em geral, os ambientes de teste possuem grande quantidade de ruídos eletromagnéticos;
- os próprios comandos, das linhas e do motor, geram ruídos eletromagnéticos

O sistema implementado no BTCA, representado pelo diagrama da Figura 5.1, atende a todos esses requisitos. Concebido para maximizar a utilização das linhas de propelente existentes, é um sistema modular que permite a programação de testes individuais para todos os tipos de propulsores. Para cada tipo de motor os comandos podem ser totalmente automatizados e os dados de temperaturas, pressões, empuxo, consumo de propelentes, etc.,

são armazenados em arquivo durante a execução dos testes. Da mesma maneira, os alarmes e suas ações são programados conforme o tipo particular de propulsor em teste. Todos os comandos automáticos podem ser desabilitados manualmente, protegendo os operadores, as instalações e o propulsor em teste.

Os comandos das válvulas de fluxo (solenóides ou atuadores elétricos ou pneumáticos) e eventuais válvulas de segurança são enviados ao motor através de circuitos CC ou CA, em uma ampla faixa de tensões.

Os dados, tais como pressões nas entradas de propelente, na câmara de combustão, vácuo na câmara de teste, empuxo, temperaturas e vibração são medidos por diversos sensores.

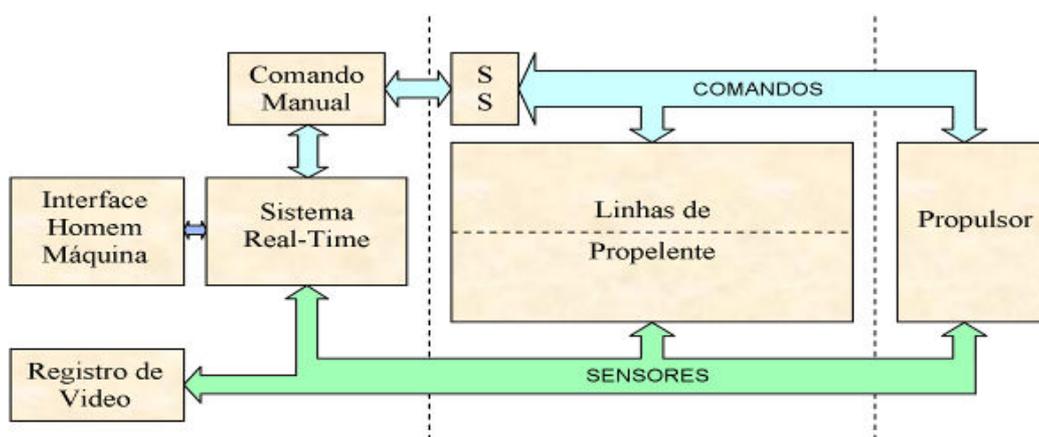


Figura 5.1 – Sistema de controle e aquisição de dados.

O Comando manual permite o comando direto da sala de controle às principais válvulas do sistema, informando através de indicação luminosa o estado de cada uma delas. Também permite uma forma imediata de abortar manualmente o tiro forçando o fechamento de todas as válvulas comandadas.

O Sistema de Segurança do Motor (SS), quando na posição de segurança, impede qualquer eventual comando manual ou automático vindo da Sala de Comando.

O Sistema Real-Time (SRT) contém placas de aquisição e controle de alta velocidade e resolução, condicionamento de sinais, fontes de energia e drivers de saída. O SRT utiliza um sistema operacional específico - Labview Realtime - e se comunica com a Interface

Homem Máquina – IHM-, através de uma rede de alta velocidade. Com o sistema atual, é possível adquirir dados com 18 bits de resolução e 1.25 MS/s e gerar comandos com contadores de 32 bits e 2.82 MS/s.

O Desktop IHM permite a criação de programas supervisórios específicos para cada tipo de motor, desenvolvidos em Labview, que é um ambiente tipo PGS (Projeto Gráfico de Sistemas). Como exemplo, um programa para teste de motor bipropelente permite a geração de n pulsos para o comando das válvulas de fluxo do oxidante e combustível com resolução de 1 ms e atrasos individuais para cada válvula. São definidos alarmes de sobrepressão, sobretemperatura, retorno de abertura de válvulas e discrepâncias na vazão dos propelentes. Níveis de alarme permitem o aviso de atenção e o abortamento automático do teste com o fechamento das válvulas do motor e das linhas.

Para minimizar problemas de interferência eletromagnética, o cabeamento de controle é separado do cabeamento dos sensores. Atenção especial é dada ao aterramento e à blindagem. Dados mais sensíveis utilizam conexões balanceadas.

Duas câmeras de vídeo monitoram o ensaio permitindo a identificação de problemas em todos os lados da bancada. Os sinais são gravados em tempo real com gravadores de vídeo dedicados em discos rígidos (HDD – hard disk drives) permitindo a análise posterior tanto do vídeo como do áudio. Uma câmera de vídeo infravermelho também pode ser usada para visualização da distribuição de temperaturas. Após uma campanha de testes os vídeos dos ensaios são arquivados em DVD.

Além dos programas supervisórios e de controle dos testes, são desenvolvidos programas específicos para a análise dos dados, permitindo após cada teste a visualização imediata das curvas de todos os parâmetros, com análise matemática dos dados e valores estatísticos.

5.1 Comando manual e sistema de segurança (SS)

A unidade de comando manual e monitoramento dos comandos das válvulas está localizada ao lado do monitor do desktop IHM, conforme descrito na Figura 5.2.



Figura 5.2 - Unidade de monitoramento e comando manual.

Os dois sistemas de segurança, SSM-1 para bipropelente e SSM-2 para monopropelente, estão localizados na baía gasosa da linha de combustível, permitindo que os comandos somente sejam habilitados ao final da preparação externa para o ensaio, imediatamente antes da entrada na sala de controle, e desabilitados antes que qualquer operador se aproxime do ponto fixo.

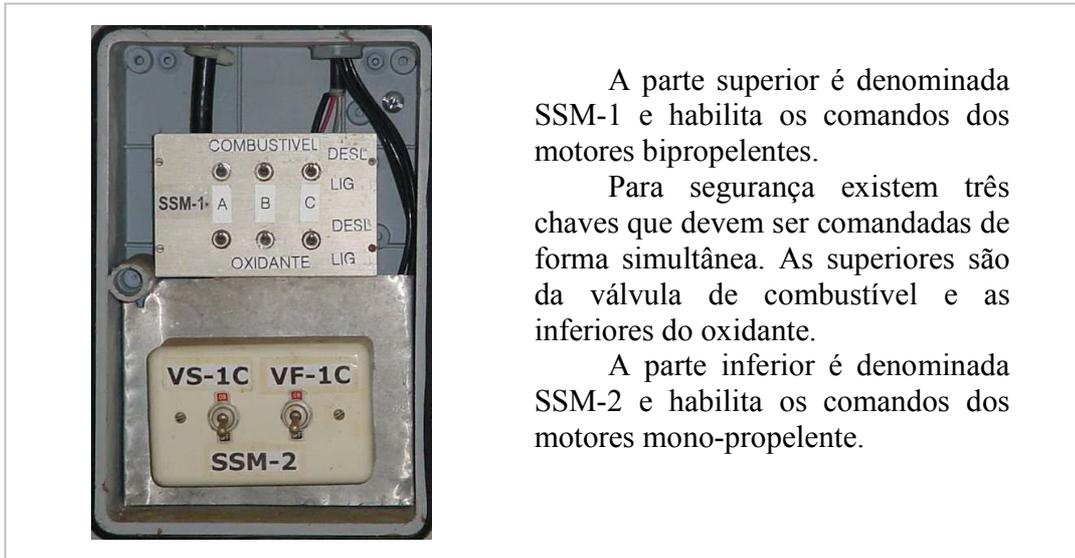


Figura 5.3 - Sistema de segurança do motor.

5.2 Unidade de controle e aquisição de dados - UCA

5.2.1 UCA Backup

A UCA Backup utiliza um CLP (Controlador Lógico Programável) da marca ALTUS e duas placas de aquisição de 12 bits fabricadas pela MC-Measurement Computing, além de fontes e placas condicionadoras. O Sistema Supervisório foi desenvolvido em "Indusoft", com software interno do CLP desenvolvido em Ladder Master Tools.

Este sistema não é mais utilizado no momento pois foi substituído pelo Labview. Existe outro documento - UCA Backup.doc - que apresenta o seu detalhamento completo.

5.2.2 UCA Principal

A UCA principal utiliza hardware e software da National Instruments e os programas são desenvolvidos em Labview.

Os seguintes componentes fazem parte do sistema:

5.2.2.1 Desktop Realtime

É o microcomputador responsável pelo controle, aquisição de dados, monitoramento e controle de alarmes e arquivamento temporário dos arquivos.

Um sistema operacional próprio, Labview Realtime Desktop, garante a estabilidade do sistema e a capacidade de obter dados determinísticos da mesma maneira que um CLP (solução anterior, descrita em UCA Backup).

Placas de E/S instaladas no barramento PCI de alta velocidade de um PC possibilitam várias opções de controle e aquisição de dados em diversas resoluções e taxas de aquisição.

A comunicação com o Desktop IHM é feita por uma conexão de rede ponto a ponto de alta velocidade.

A configuração atual é mostrada na Figura 5.4.



Figura 5.4 - Desktop Realtime.

5.2.2.2 Placas de E/S

Dentro do Desktop Realtime estão instaladas três placas de aquisição e controle, mostradas na Figura 5.5, sendo duas PCI 6251 e uma PCI 6284. A placa 6284 possui dois conectores e cada 6251 possui um, totalizando quatro conectores.



Figura 5.5 - Placas de aquisição e controle.

5.2.2.3 Interface Homem Máquina IHM

O Desktop IHM é o microcomputador responsável pela Interface Homem-Máquina. Por ele são definidos os valores de configuração dos testes e os comandos. Este sistema utiliza o sistema operacional Windows 7 e o software Labview Professional, no qual são desenvolvidos os programas de controle, aquisição e tratamento de dados específicos para cada teste.

Sua configuração é mostrada na Figura 5.6.



Figura 5.6 - Desktop IHM.

5.2.2.4 Rack SCXI

O Rack SCXI é o hardware onde são instalados os módulos de condicionamento de sinais. Mostrado na Figura 5.7, o rack permite a instalação de até quatro módulos.

Os seguintes módulos estão instalados:

- a) Módulo de 32 saídas a relé
- b) Módulo de 8 entradas para sensores tipo ponte (Straingage)
- c) Módulo de 32 entradas para Termopar
- d) Módulo de 8 entradas diferenciais com amostragem simultânea



Figura 5.7 - Rack SCXI.

5.2.2.5 Terminais de conexão direta

Os sinais que não necessitam de condicionamento são conectados diretamente nos terminais SCB-68, mostrados na Figura 5.8.

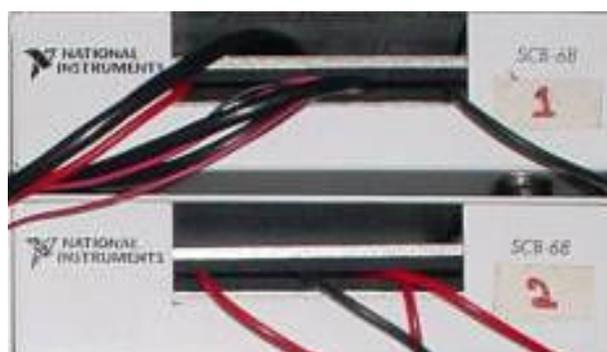


Figura 5.8 - Terminais de conexão direta.

5.2.2.6 Fontes de Tensão e Corrente Controladas

Para alimentar os sensores, transmissores e válvulas solenóides, inclusive as válvulas do motor em teste, existem 4 fontes independentes, mostradas na Figura 5.9, que podem ser associadas para incremento de corrente ou tensão.

Para alimentar os sensores fixos das linhas, que transmitem 4-20 mA, normalmente é utilizada a fonte 3 ajustada para 24,4 V (este valor não é crítico, pois os sensores trabalham de 15 a 30 V).

As válvulas dos motores bipropelente normalmente operam com 28V. A qualidade, confiabilidade e a repetibilidade das válvulas é importante e normalmente influem de maneira decisiva em seus preços. Devido à dificuldade em obter material de boa qualidade no mercado nacional, já foram empregadas válvulas, mesmo estrangeiras (francesas, marca Industria) que só abriam com tensões maiores, até 31V.

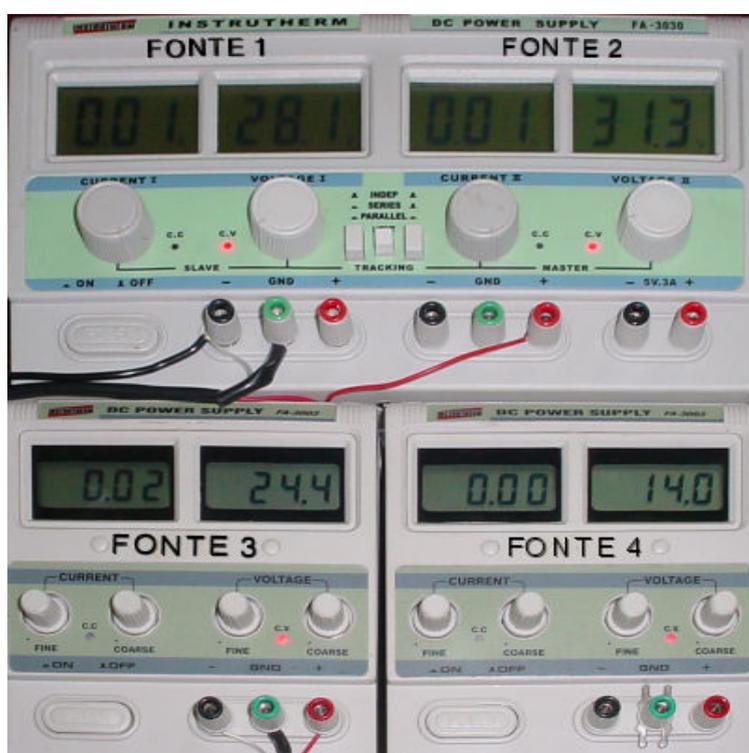


Figura 5.9 – Fontes.

5.2.3 Bloco de Conexões do Cabeamento

Os cabos de sinal e solenóides que vem das linhas e do motor, numerados de 1 a 36, são ligados ao Bloco de Conexões, mostrado na Figura 5.10:

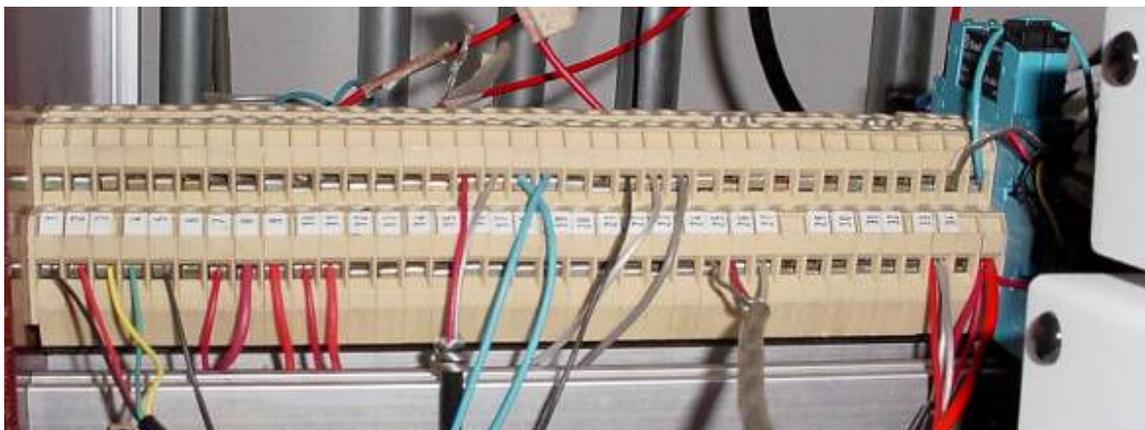


Figura 5.10 - Conexões dos cabos.

5.3 Sensoriamento

As linhas de propelente possuem alguns sensores permanentes, bem como cabeamento, suportes e amplificadores que permitem a rápida instalação de sensores adequados ao ensaio em questão.

Os sensores permanentes são os medidores de pressão na entrada dos tanques e medidores de vazão. Termopares e Células de Carga possuem cabeamento e conexões preparadas, e são instalados de acordo com o ensaio.

5.3.1 Medidores de Pressão

Em cada tanque de propelente existe um transmissor de pressão com indicação local, TP1A e TP1B. Na Figura 5.11 é mostrado o TP1B.



Figura 5.11 - Transmissor/indicador de pressão do tanque.

5.3.2 Medidores de Vazão Coriolis

Na figura 5.12 são mostrados os módulos de comando e indicação local dos medidores de vazão Coriolis, que estão ligados aos sensores instalados nas linhas. O display mostra o totalizador e a vazão instantânea.

O zero dos medidores deve ser ajustado no início de uma série de testes, ou sempre que alguma condição (temperatura, pressão inicial) for alterada, e os Totalizadores Reiniciados. Para estes procedimentos, existem dois ímãs móveis e três sensores magnéticos (M1, M2 e M3) em cada módulo, conforme mostra a figura 5.13.

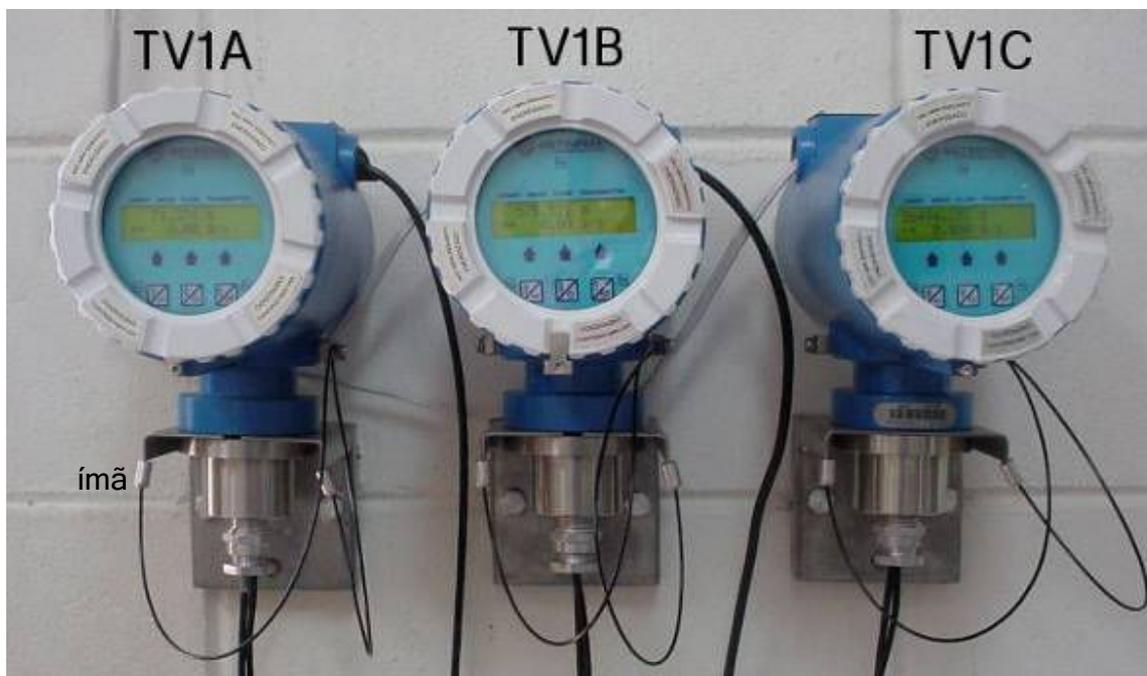


Figura 5.12 - Medidores de vazão Coriolis.



Figura 5.13 - Sensores magnéticos dos medidores de vazão.

O procedimento para ajuste do zero é:

- 1- Aproximar o ímã de M1 duas vezes (o display mostrará "Enter Setup Next")
- 2- Aproximar o ímã de M3 (o display mostrará "unlock Password")
- 3- Aproximar o ímã de M1 três vezes (o display mostrará " *** ")
- 4- Aproximar o ímã de M2 duas vezes (o display mostrará " ***** ")
- 5- Aproximar o ímã de M3 (o display mostrará " Zero Reset Next ")
- 6- Aproximar o ímã de M3 (o display mostrará " Undo Zero Exit ")
- 7- Aproximar o ímã de M2 (o display mostrará " Zeroing Active ")
- 8- Aguardar até voltar à indicação anterior (" undo ZERO EXIT ")
- 9- Repetir os passos 7 e 8 por mais duas vezes
- 10- Aproximar o ímã de M1 (o display retornará à indicação normal)

O procedimento para reset do totalizador é:

- 1- Aproximar o ímã de M1 duas vezes (o display mostrará "Enter Setup Next")
- 2- Aproximar o ímã de M3 (o display mostrará "unlock Password")
- 3- Aproximar o ímã de M1 três vezes (o display mostrará " *** ")
- 4- Aproximar o ímã de M2 duas vezes (o display mostrará " ***** ")
- 5- Aproximar o ímã de M3 (o display mostrará " Zero Reset Next ")
- 6- Aproximar o ímã de M2 (o display mostrará " Reset Undo Exit ")
- 7- Aproximar o ímã de M3 (o totalizador será zerado)
- 8- Aproximar o ímã de M1 (o display retornará à indicação normal)

5.3.3 Termopares

Atualmente existem 8 (oito) cabos de extensão de termopar tipo K conectados ao módulo 3 do rack SCXI. Destes, 6 (seis) tem seu conector de terminação próximo ao ponto fixo (teste de motores bipropelente, híbrido, sólido, estado-reator, etc ...), mostrados na Figura 5.14, e 2 (dois) próximos à câmara de baixo vácuo (teste de motores monopropelente).

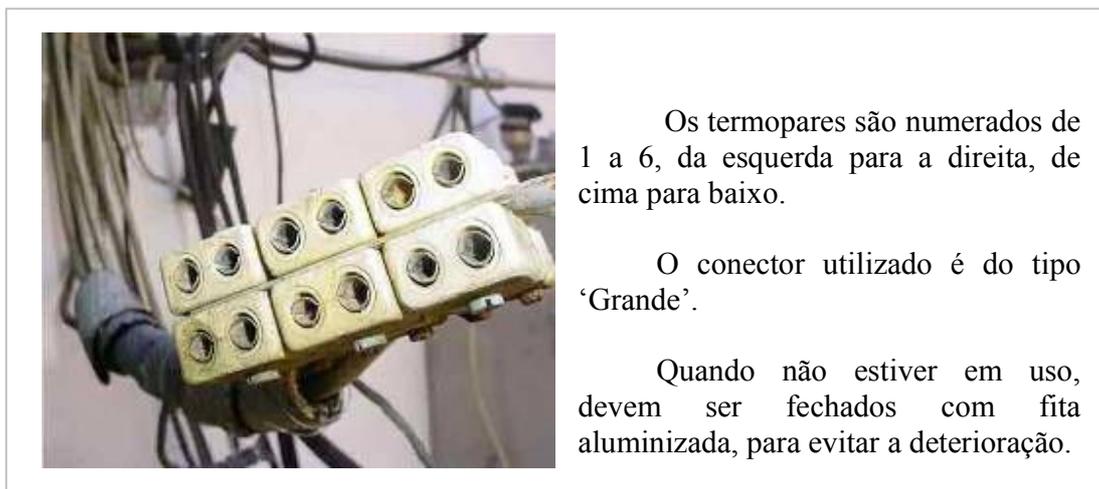


Figura 5.14 - Conexões dos termopares.

5.3.4 Células de Carga

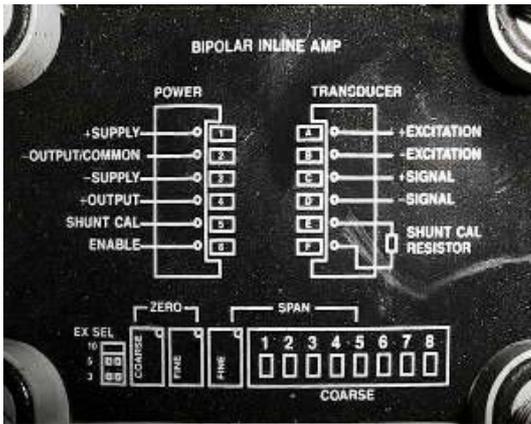
Para cada teste deve ser instalada uma célula de carga compatível. No caso dos testes monopropelentes a balança de empuxo e a célula de carga ficam instaladas dentro da câmara de baixo vácuo. Na foto 5.15 podemos ver a balança, com um ajuste mecânico que toca a plataforma da célula de carga para permitir a definição de uma tensão inicial. A célula mostrada tem um valor nominal de 300 g (3N).



Figura 5.15 - Célula de carga para teste monopropelente.

O sinal da célula de carga poderia ser conectado diretamente ao sistema de aquisição mas, para facilitar a calibração de tensão inicial, utiliza-se um amplificador de linha e um indicador digital local.

O amplificador, mostrado na Figura 5.16, permite a calibração de 'zero' e 'span'. O ajuste de 'zero' permite que a tensão inicial seja suprimida, e o ajuste de 'span' determina a faixa a ser medida, que deve ser um pouco superior ao empuxo máximo esperado do motor.



Amplificador fechado.



Esquema interno.



Detalhe do interior do amplificador.

Figura 5.16 - Amplificador de linhas para célula de carga.

São vistos na parte de baixo 3 (três) ajustes e um conjunto de chaves. Os dois primeiros são os ajustes 'inicial' e 'final' do Zero. O terceiro é o ajuste final do span, cujo ajuste inicial é feito pelas chaves.

5.4 Programas

Graças à grande versatilidade na implementação de programas específicos utilizando o Labview para cada teste são desenvolvidos, geralmente, dois tipos de interfaces gráficas.

5.4.1 Programas para teste ou supervisórios

É a interface gráfica principal de cada tipo de teste, que monitora a linha em tempo real, exibindo as leituras dos sensores e estado das válvulas comandadas, e permite a execução do ensaio e a aquisição de dados.

Como exemplo, mostra-se na Figura 5.17 a interface gráfica para teste de propulsor bipropelente desenvolvido para um motor nacional de 400 N.



Figura 5.17 - Programa para teste bipropelente.

Na parte superior esquerda são exibidos os dois botões principais de execução do tiro, Iniciar e Parar. Abaixo o campo para definir o nome do arquivo no qual serão gravados os dados adquiridos durante o teste. No caso de já haver um arquivo com o mesmo nome no diretório será mostrada a palavra 'Existe' em vermelho. Abaixo aparece a data de criação e o passo (delta time) do arquivo. Mais abaixo são vistos os campos de configuração do teste: Número de Pulsos, Delay Inicial, Tempo Energizado e Desenergizado para Oxidante (A) e Combustível (B). O exemplo está configurado para 5 pulsos de 2 segundos energizados e 1 segundo desenergizado, totalizando 15 segundos, com um delay de 2s. Por último, o campo que mostra o tempo de amostragem (aquisição de dados). No exemplo, quando se clica em 'Iniciar', as válvulas de segurança VC3 se abrem e a aquisição de dados será iniciada e o tempo de amostragem exibido. Após dois segundos (Delay Inicial) as válvulas do motor são abertas e o ensaio tem início, ficando abertas por dois segundos, fechadas por um segundo completando o pulso, que se repetirá mais quatro vezes. É aconselhável configurar o tempo de amostragem para um tempo maior que a duração do ensaio, para acompanhar os valores após o final do teste, principalmente a evolução das temperaturas.

Na parte central são vistos os dois gráficos online. No caso, acima, comandos e pressões e, abaixo, temperaturas. À direita dos gráficos são mostrados os valores.

5.4.2 Programas de Análise dos Resultados

Os dados adquiridos são gravados em arquivos específicos, permitindo que grande quantidade de dados seja tratada com rapidez. Pode-se salvar todos os dados em um mesmo arquivo ou separar os valores com taxas de amostragem diferentes. Por exemplo, os valores de temperatura a serem adquiridos a uma taxa menor podem ser gravados em arquivo separado.

Como exemplo na Figura 5.18 mostra-se a tela de um programa de exibição das curvas do bipropelente.



Figura 5.18 - Programa para visualização das curvas.

Ao executar o programa abre-se uma janela de diálogo permitindo seleccionar o arquivo principal, correspondente ao nome definido na tela do Supervisor. Os arquivos de comandos: pressões, vazões e temperaturas serão abertos automaticamente e exibidos em gráficos separados.

Na Figura 5.19, mostra-se a tela de outro programa que, além de exibir as curvas, aplica um filtro ajustável e calcula valores médios e integrais.

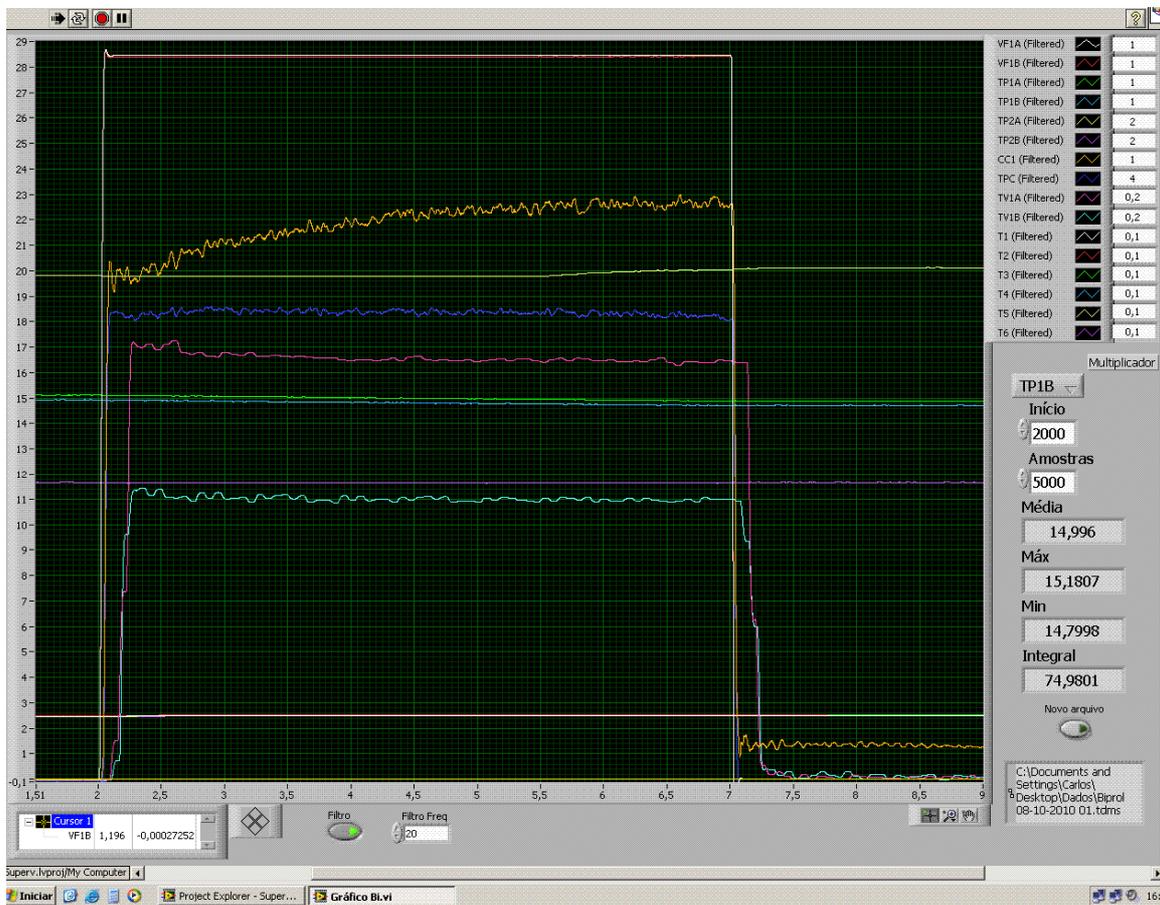


Figura 5.19 - Programa para análise dos dados.

Ao executar o programa abre-se a janela seleção de arquivo. As curvas serão mostradas em uma única janela e cada curva será multiplicada por um valor a ser definido na coluna mais a direita da tela (Multiplicador). Abaixo das curvas um botão ativa ou desativa o 'Filtro' e à sua direita o campo para definição de sua 'frequência de corte'. Abaixo do Multiplicador um campo de seleção para a variável desejada e as definições de 'Início' e 'Número de amostras' para os cálculos de 'Média', 'Valor Máximo', 'Mínimo' e 'Integral'. Um botão de 'Novo arquivo' permite fechar o atual para comparar com outro.

5.5 Sistema de Registro de Vídeo

Para monitoração e registro de vídeo normalmente são utilizadas duas câmeras montadas em tripés, de maneira que cada uma delas mostre um lado da bancada. Os cabos de áudio e vídeo conduzem os sinais até os gravadores de DVD/HDD mostrados na Figura 5.20, e sua saída é ligada aos monitores de vídeo da sala. O controle remoto dos gravadores comanda simultaneamente os dois gravadores.



Figura 5.20 - Gravadores de vídeo em HDD.

Anteriormente, as gravações eram efetuadas com o auxílio de videocassetes. Esses aparelhos atualmente podem ser usados como gravadores adicionais, ou para recuperar gravações antigas, que foram feitas em fitas VHS e VHS Compact.

APÊNDICE A - FICHA TÉCNICA BTCA

A.1 INTRODUÇÃO

Este documento apresenta de forma sintética as características técnicas do BTCA e especificações de seus equipamentos além de informações gerais. Preferiu-se separá-las neste apêndice, pois sua apresentação juntamente com a descrição acima poderia tornar o texto menos claro e conciso, pelo acúmulo de informações. Foram enfocados os aspectos da qualidade, compreendendo instalações, sensoriamento, sistema de controle e aquisição, segurança, controle de documentação, calibração de instrumentos, medidas e tolerâncias permitidas, principais desafios, parâmetros, medidas e tipos de controles mais utilizados.

Resumidamente, com a configuração instalada e calibrada neste momento, o banco possui:

a) linhas de propelente para motores bipropelente, com capacidade de pressão regulada de 0 a 30 bar (manométrica), medidores de pressão com precisão de 0.075% na faixa de 0 a 30 barg, tanques com capacidade útil de 30 litros, medidores de vazão Coriolis com precisão de 0.15% na faixa de 0,2 a 10 kg/min e medidor de empuxo com precisão de 0,5% na faixa de 0 a 50 kgf.

b) linha de propelente para motores monopropelente com capacidade de pressão regulada de 0 a 30 bar (manométrica), medidores de pressão com precisão de 0.075% na faixa de 0 a 30 barg, tanque com capacidade útil de 1 litro, medidor de vazão Coriolis com precisão de 0.15% na faixa de 0,03 a 0,6 kg/min e medidor de empuxo com precisão de 0,5% na faixa de 0 a 300 gf.

c) sistema de aquisição e controle principal com 96 entradas/saídas digitais, 64 entradas analógicas, 4 saídas analógicas, 4 contadores/timers, resolução máxima 18 bits 12.5 ns, velocidade máxima 2.86 MS/s de saída e 1.25 MS/s de entrada, 32 saídas a relé, 32 entradas condicionadas para termopar, 8 entradas condicionadas para sensor tipo ponte (Straingauge), 8 entradas diferenciais com amostragem simultânea. Programas desenvolvidos em Labview/Labview Realtime/Labview DSC.

d) sistema de aquisição e controle opcional composto de CLP com 8 entradas analógicas, 8 saídas analógicas, 8 saídas digitais e 8 saídas a relé e placas com 32 entradas analógicas, 12 bits, 300 KS/s, Programas desenvolvidos em Indusoft/Altus Ladder.

e) sistema de monitoração e registro de ensaios com duas câmeras de vídeo e dois gravadores com capacidade para cerca de 34 horas contínuas à máxima qualidade e 270 horas na qualidade mínima.

f) bancada de calibração para sensores e transmissores de pressão nas faixas de Vácuo, 15 psia, 68 atm e 340 atm, sensores e transmissores de temperatura na faixa de 0 a 350 °C, sensores de força (células de carga) na faixa de 0 a 2000 N, amplificadores e transmissores, recebendo e gerando praticamente todos os tipos de sinais utilizados, como tensão (V e mV), corrente (mA), resistência (Ohm, mOhm), frequência (Hz), nas configurações em 2, 3 e 4 fios, ponte (Strain gauge), simulação de Termopar, Termoresistência, com certificados de calibração de acordo com a ABNT, acreditados pelo Cgcre/Inmetro, realizados por Laboratório Associado à RBC, que comprovam resultados com precisão melhor que 0.01%.

A.2 LINHAS DE PROPELENTE

As linhas de propelente são compostas pelo circuito de pressurização, tanques de propelente, medidores de pressão e vazão e válvulas manuais e comandadas.

O circuito de pressurização usa cilindros de Nitrogênio Aeroespacial Ultra Puro (N50), válvulas reguladoras manuais, válvulas comandadas e tanques de neutralização. Atualmente estão instaladas válvulas reguladoras manuais de pistão com faixa de 0 a 30 bar manométrica. As válvulas comandadas estão configuradas para atuação On-Off. Existem duas opções de despressurização:

a) despressurização normal: a pressão do tanque é conduzida ao tanque de neutralização e então liberada.

b) despressurização rápida: uma válvula comandada permite a liberação direta. Os tanques são de aço inoxidável e possuem aproximadamente diâmetro interno 301.1 mm por 50 cm de altura para bipropelentes e 64 mm de diâmetro interno por 24 cm de altura para monopropelente. Todos os tanques possuem visores de nível.

As válvulas manuais são Swagelok e as válvulas comandadas são válvulas pneumáticas Valtek e válvulas manuais Swagelok com atuadores pneumáticos.

A.3 SENSORIAMENTO

As linhas de propelente possuem alguns sensores permanentes, bem como cabeamento, suportes e amplificadores que permitem a rápida instalação de sensores adequados ao ensaio em questão.

Os sensores permanentes são os seguintes:

a) Sensores de Pressão dos Tanques de Propelente:

- Nome: RTX 1000H Series Hart Pressure Transmitter

Fabricante: GE Druck (GE Sensing - Druck Limited)

Código: RTX1000H16G

Faixa de Pressão: 0 a 70 bar

Limite de Sobrepressão: 140 bar

Faixa de Temperatura ambiente: -20°C a +70°C

Faixa de Temperatura do gás: -40°C a +120°C

Faixa de Temperatura compensada: -40°C a +85°C

Faixa de Umidade Relativa: 0 a 100%

Faixa de Pressão Calibrada: 0 a 30 bar

Tempo de Resposta: 100 ms

Tempo de Inicialização: 2 s

Precisão (Incluindo Não Linearidade, Histerese e Repetibilidade): 0,075%

Estabilidade de Longo Tempo: 0.2 % em cinco anos

Saída de Sinal: 4 a 20 mA - 2 fios

Limites: 3.8 a 20.5 mA

Alimentação: 12 a 35 Vdc

b) Sensores de Vazão (Dados Comuns):

- Nome: Medidor de Vazão Mássico Coriolis RHM

Fabricante: Metroval (Rheonik)

Faixa de Temperatura ambiente: -20°C a +120°C

Faixa de Temperatura do propelente: 10°C a +35°C

Faixa de Pressão: 0 a 50 kgf/cm²

Temperatura de calibração: 25°C

Tempo de Resposta: 50 ms

Precisão (Incluindo Não Linearidade, Histerese e Repetibilidade): 0,2%

Saída de Sinal: 4 a 20 mA - 2 fios

Alimentação: 12 a 35 Vdc

Linhas Bipropelente:

Código: RHM04-1FS1PS+CCM01-290DACDCB

Faixa de Vazão: 0 a 10 kg/min

Faixa de Vazão Calibrada: 0,2 a 10 kg/min

Tempo de Inicialização: 4 s

Linha Monopropelente:

Código: RHM015-1FS1PS+CCM01-290DACDCB

Faixa de Vazão: 0 a 0,6 kg/min

Faixa de Vazão Calibrada: 0,03 a 0,6 kg/min

Tempo de Inicialização: 12 s

Sensor Opcional para Vazão Alta:

Código: RHM06-1FS1PS+CCM01-290DACDCB

Faixa de Vazão: 0 a 18 kg/min

Faixa de Vazão Calibrada: 0,9 a 18 kg/min

Tempo de Inicialização: 4 s

O banco conta com sensores a serem instalados de acordo com o motor em desenvolvimento, destacando precisos sensores Piezoresistivos e Amplificadores de Carga Sensotec, Sensores Druck, Células de Carga Kyowa e HBM.

A.4 SISTEMA DE CONTROLE E AQUISIÇÃO

Existem dois sistemas de aquisição independentes: o sistema principal, utilizado atualmente, com Hardware National Instruments; e o sistema opcional com CLP Altus e placas Measurement Computing, que foi o sistema original e não é detalhado nesta ficha.

Componentes do sistema principal:

a) Desktop Realtime:

CPU: AMD Athlon 64 X2 4400+

Memória Ram: 2 GB

HDD: 40 GB

Sistema operacional: Labview Realtime

b) Desktop IHM:

Cpu: Intel Core Quad Q9550

Memória Ram: 4 GB

HDD: 540 GB

Sistema operacional: Labview Full Development System 8.6.1

Módulos Adicionais: Labview DSC

c) Placas de Aquisição e Controle:

- PCI 6284:

Número de Entradas Analógicas: 32 Não-Balanceadas ou 16 Balanceadas

Taxa de Amostragem: 625 kS/s

Resolução: 18 bits

Faixa de Voltagem máxima: -10V a 10V

Número de Canais Digitais: 48 Entrada/Saída

Taxa de Clock Máximo: 10 Mhz

Nível de saída: 0 a 5V (TTL)

Corrente Máxima: 24mA por canal / 1A Total

Número de saídas de contador/temporizador: 2

Resolução: 32 bits

Frequência Base Máxima: 80 Mhz

Resolução: 12.5 ns

- PCI 6251 (por placa - 2 placas no sistema):

Número de Entradas Analógicas: 16 Entradas Não-Balanceadas ou 8 Balanceadas

Taxa de Amostragem: 1.25 MS/s

Resolução: 16 bits

Faixa de Voltagem máxima: -10V a 10V

Número de Saídas Analógicas: 2

Taxa de Atualização: 2.86 MS/s

Número de Canais Digitais: 48 Entrada/Saída

Taxa de Clock Máximo: 10 Mhz

Nível de saída: 0 a 5V (TTL)

Corrente Máxima: 24mA por canal / 448 mA Total

Número de saídas de contador/temporizador: 2

Resolução: 32 bits

Frequência Base Máxima: 80 Mhz

Resolução: 12.5 ns

d) Módulos de Condicionamento de Sinais:

Ficam inseridas num Rack SCXI 1000, com as seguintes características:

Número de Slots Disponíveis: 4

Número de Barramentos Analógicos: 3

Taxa de Aquisição Máxima: 333 kS/s

Módulos instalados:

- SCXI 1166: High-Current General Purpose Relay Switch

Número de saídas: 32 saídas reversíveis únicas, 16 saídas reversíveis duplas

Tensão máxima de chaveamento: 150 Vdc / 125 Vrms

Corrente máxima de chaveamento: 2A

Corrente máxima após ligado: 5A

Potência máxima de chaveamento: 60W

Resistência total típica: 0.1 Ω

Taxa de varredura: 115 ciclos/s

- SCXI 1520: 8-Channel Universal Strain Gage Input

Número de entradas diferenciais com amostragem simultânea: 8

Configurações Possíveis: $\frac{1}{4}$ de ponte, $\frac{1}{2}$ ponte e Ponte Completa

Impedância de Entrada: 1G Ohm

Filtros programáveis para cada canal: Butterworth de 4 pólos, 10Hz a 10kHz

- SCXI 1102: 32-Channel Thermocouple/Voltage Input

Número de entradas: 32

Tipos de sensores suportados: Corrente, Tensão, Termopares e Termoresistências

Tipos de compensação de junta fria: Interna, Externa e Fixa

Filtro passa baixa por canal: 2 Hz

Detecção de Termopar aberto

Proteção contra sobre voltagem: $\pm 42V$

- SCXI 1140: 8-Channel Simultaneous-Sampling Differential Amplifier

Número de entradas diferenciais com amostragem simultânea: 8

Entradas Isoladas

Impedância de Entrada: 100G Ohm

Proteção contra sobre voltagem: $\pm 30V$

A.5 SEGURANÇA

- a) Todos os materiais em contato com os propelentes são de Aço Inox 304/316 e teflon PTFE.
- b) Reservatório elevado que garante o suprimento de água com a pressão necessária
- c) Hidrantes
- d) Mangueiras de incêndio
- e) EPI's: máscara, com o filtro apropriado; roupa, luva e botas de proteção.
- f) Chuveiro e lavador de olhos externos
- g) Placas de alerta com as características dos propelentes e procedimentos no caso de contato acidental.
- h) Sensor Portátil de Oxidante, utilizado pela técnico que estiver mais próximo à linha.
- i) Comunicação entre a sala de controle e os ambientes externos feita através de radiocomunicadores Motorola Spirit Mv22cvs

A.6 CONTROLE DE DOCUMENTAÇÃO

As informações principais de todos os ensaios são registrados no livro de registros.

Até 2008 os videos dos ensaios eram registrados em fita VHS. Atualmente são registrados nos HDDs dos gravadores e copiados em DVD.

A.7 PRECISÃO DOS EQUIPAMENTOS

Bancada de calibração:

- a) Condições do local:

Temperatura controlada: 21 °C a 24 °C

Umidade relativa: 45% a 51%

- b) Calibrador de Pressão, Tensão e Corrente:

Nome: Calibrador de Pressão PC-507

Fabricante: Presys

Código: PC-507-4-3-V-3-A-8-M-10-M-E

Precisão: 0,02%

Faixas de Pressão: (Dados do Certificado)

-12 a 0 psig

Resolução 0,0001 psi Incerteza máxima: 0,0013 psi

0 a 15 psia

Resolução 0,0001 psi Incerteza máxima: 0,0016 psi

0 a 68 atm

Resolução 0,001 atm Incerteza máxima: 0,007 atm

0 a 340 atm

Resolução 0,01 atm Incerteza máxima: 0,06 atm

Faixa de Corrente: (Dados do Certificado)

4 a 20 mA

Resolução 0,01 mA Incerteza máxima: 0,002 mA

c) Calibrador de Temperatura:

Nome: Calibrador de Temperatura T-350P

Fabricante: Presys

Código: PC-507-4-3-V-3-A-8-M-10-M-E

Precisão: 0.1%

Faixa de Temperatura: (Dados do Certificado)

- 50 °C a 350 °C

Resolução 0,01 °C Incerteza máxima: 0.097 °C

d) Cilindro PressãoxForça:

Fabricante: Parker

Código: P1E-S100DAN-0100

Faixa de Temperatura: -10 °C a 80 °C

Pressão Máxima: 10 bar

e) Calibrador de loop de corrente:

Fabricante: Instrutherm

Código: CL-323

Precisão: 0.05%

f) Calibrador Universal:

Nome: Calibrador Universal ISOCAL

Fabricante: Presys

Código: MSC-10

Precisão: 0,02%

Faixas de Entrada:

- -500 mV a 2450 mV

- -10V a 45V

- -5mA a 24.5 mA

- 0 a 10kHz

- 0 a 10^8 contagens

- - 0 a 2500 Ω

-270 °C a 1820 °C (Pt100 e 1000, Cu-10, Ni-100, TCJ,K,T,B,R,S,E,N E L)

Faixas de Saída:

- -15 mV a 75 mV

- -1V a 11V

- 0 a 24 mA

- 0 a 10kHz

- 0 a 10^8 contagens

- 0 a 2500 Ω

- -270 °C a 1820 °C (Pt100 e 1000, Cu-10, Ni-100, TCJ,K,T,B,R,S,E,N E L)

Estabilidade Térmica: 0,001% / °C

Faixa de Tensão: (Dados do Certificado)

10 Vcc

Resolução 0,0001 V Incerteza máxima: 0,002 V

Faixa de Corrente: (Dados do Certificado)

4 a 20 mA

Resolução 0,0001 mA Incerteza máxima: 0,0021 mA

Faixas de Temperatura: (Dados do Certificado)

- 90 °C a 1200 °C (TC)

Resolução 0,1 °C Incerteza máxima: 0.2 °C

- 100 °C a 800 °C (Pt-100)

Resolução 0,01 °C Incerteza máxima: 0.05 °C

g) Acessório: Probe de Pressão

Nome: ISOCAL MPY

Código: MPY-D-12-M-13-M

Faixas de Pressão: (Dados do Certificado)

500 psig

Resolução 0,01 psi Incerteza máxima: 0,04 psi

1000 psig

Resolução 0,01 psi Incerteza máxima: 0,08 psi

h) Balança Analítica de Precisão:

Nome: Balança BK6600

Fabricante: Gehaka

Código Inmetro: 003167431-7

Faixas:

0.2 a 600 g (0.01g)

600 a 6100g (0.1g)

i) Demais equipamentos:

- Osciloscópio Duplo Traço Minipa MO-1230
- Gerador de Funções Politerm VC-2002
- Freqüencímetro Minipa MF7240
- Multímetro Minipa ET2082 (2)
- Amperímetro Minipa ET3360T
- Fonte Simétrica Minipa MPC-303DI
- Barômetro Digital Oregon Scientific EB833
- Timer Omron H5CR
- Estação de solda Toyo PC-900