



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/07.01.16.50-PUD

**ANÁLISE DA ARQUITETURA DO SUBSISTEMA DE
GESTÃO DE BORDO (ON BOARD DATA HANDLING -
OBDH) DOS SATÉLITES CBERS 3 & 4 NA
PERSPECTIVA DAS DISCIPLINAS CSE-200, CSE-201,
CSE-204 E CSE-302**

Fernando Antonio Pessotta

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/37PQF2E>>

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

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/07.01.16.50-PUD

**ANÁLISE DA ARQUITETURA DO SUBSISTEMA DE
GESTÃO DE BORDO (ON BOARD DATA HANDLING -
OBDH) DOS SATÉLITES CBERS 3 & 4 NA
PERSPECTIVA DAS DISCIPLINAS CSE-200, CSE-201,
CSE-204 E CSE-302**

Fernando Antonio Pessotta

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/37PQF2E>>

INPE
São José dos Campos
2010

RESUMO

O trabalho faz uma análise da Arquitetura do Subsistema de Gestão de Bordo dos Satélites CBERS 3&4 a partir dos conceitos, métodos e técnicas abordados nas disciplinas Engenharia de Sistemas Espaciais, Introdução à Tecnologia de Satélites, Montagem, Integração e Testes de Veículos Espaciais e Engenharia de Requisitos. No trabalho o subsistema Gestão de Bordo dos Satélites é visto na perspectiva dos documentos que definem seus requisitos, assim como daqueles que definem sua interação com os demais subsistemas do satélite e com os outros segmentos da missão.

CBERS 3&4 ON BOARD DATA HANDLING – OBDH SUBSYSTEM ARCHITECTURE ANALYSIS

ABSTRACT

CBERS 3&4 On Board Data Handling Subsystem architecture is analyzed taking into account the acquired knowledge on to the following courses: Engenharia de Sistemas Espaciais, Introdução à Tecnologia de Satélites, Montagem, Integração e Testes de Veículos Espaciais, and Engenharia de Requisitos. The On Board Data Handling Subsystem is viewed from its applicable and reference documentation perspective.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Extrato do WBS das missões CBERS 3&4	3
Figura 2.2 - Arquitetura das missões CBERS 3&4	5
Figura 3.1 - Topologia do subsistema OBDH CBERS 3&4.....	6
Figura 3.2 - ESA Data Bus Interface System.....	7
Figura 3.3 – Extrato da estrutura de tópicos do documento RBF-HDS-0006/02	13
Figura 3.4 – Diagrama de contexto do subsistema	17
Figura 3.5 - Modos de operação do subsistema OBDH	18
Figura 3.6 – Diagrama de decomposição funcional do subsistema.....	21
Figura 3.7 – Diagrama de fluxo da arquitetura do subsistema	22
Figura 3.8 – Diagrama de interconexão da arquitetura do subsistema	24
Figura 3.9 - ESE da CTU.....	31
Figura 3.10 - Ambiente para teste do subsistema OBDH.....	32
Figura 3.11 - Ambiente desenvolvido pelo INPE para verificação do OBDH OBS ...	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Interfaces disponibilizadas pelas RTUs	9
Tabela 3.2 – Efeito e severidade da falha das funções	20
Tabela 3.3 - Alocação funcional	23
Tabela 3.4 - Matriz de teste do equipamento CTU (continua na Tabela 3.5)	27
Tabela 3.5 - Matriz de teste do equipamento CTU (continuação da Tabela 3.4)	28
Tabela 3.6 - Teste que devem ser aplicados ao QM dos equipamentos.....	29
Tabela 3.7 - Teste que devem ser aplicados aos FMs dos equipamentos.....	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIT	Montagem, Integração e Teste
AN/BL	Canal Analógico e Bipolar
AOCC	Computador de Controle de Atitude e Órbita
AOCC	Computador de Controle de Atitude e Órbita
AOCS	Subsistema de Controle de Atitude e Órbita
AR	Revisão de Aceitação
CABL	Cablagem
CAST	Academia Chinesa de Tecnologia Espacial
CBERS	Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres
CDR	Revisão Crítica do Projeto
CDU	Unidade de Decodificação de Comando
CMD	Comando
CTU	Unidade Terminal Central
DCS	Subsistema de Coleta de Dados
DDR	Gravador de Dados Digitais
DPU	Unidade de Processamento de Dados
DVM	Matriz de Verificação do Projeto
ECSS	European Cooperation for Space Standardization
EM	Modelo de Engenharia
EPSS	Subsistema de Suprimento de Energia
ESA	Agência Espacial Européia
ESE	Equipamento de Suporte Elétrico
FM	Modelo de Vôo
FMEA	Análise de Modo e Efeito de Falha
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IEEE	Instituto dos Engenheiros Eletricista e Eletrônicos
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRMS	Imageador por Varredura de Média Resolução
JPC	Comitê Conjunto do Programa CBERS
LAN	Rede Local
ML	Comando de Carregamento de Memória
MUX	Câmera Multi-espectral
MWT	Transmissor das Câmeras MUX e WFI

O/O	Comando Liga/Desliga
OBDH	Subsistema de Gestão de Bordo
OBS	Software de Bordo
OBDH OBS	Software de Bordo do Subsistema de Gestão de Bordo
PAN	Câmera Pan-cromática Multi-espectral
PDR	Revisão do Projeto Preliminar
PIT	Transmissor das Câmeras PAN e IRS
PROM	Memória Programável Somente de Leitura
PROP	Subsistema Propulsão
QM	Modelo de Qualificação
QR	Revisão de Qualificação
RAM	Memória de Acesso Aleatório
RTU	Unidade Terminal Remota
SD	Canal Serial Digital
SDB	Barramento Serial de Dados
SE	Engenharia de Sistema
SEM	Monitor do Ambiente Espacial
SLC	Comando Serial de Carregamento
STRU	Subsistema Estrutura
SYSC	Subsistema de Circuitos
TC	Telecomando
TCSS	Subsistema de Controle Térmico
TCU	Unidade de Telecomando
TH	Canal Termistor
TM	Telemetria
TTCS	Subsistema de Telemetria, Rastreamento e Comando
USO	Oscilador Ultra Estável
WBS	Estrutura Analítica do Projeto
WFI	Imageador de Amplo Campo de Visada

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos.....	1
1.2	Metodologia	1
2	AS MISSÕES CBERS 3&4 E O SUBSISTEMA OBDH	2
2.1	Introdução.....	2
2.2	As Missões CBERS 3&4.....	2
2.3	O OBDH no Contexto das Missões CBERS-3 e 4	4
3	ANÁLISE DA ARQUITETURA DO SUBSISTEMA OBDH.....	5
3.1	Introdução.....	5
3.2	Introdução à Tecnologia de Satélites.....	6
3.2.1	Arquitetura.....	6
3.2.2	Software de Bordo.....	9
3.2.3	Confiabilidade	10
3.2.4	Tecnologia.....	11
3.3	Engenharia de Requisitos.....	11
3.3.1	Introdução	11
3.3.2	Estrutura dos Requisitos	11
3.3.3	Organização dos Requisitos	12
3.3.4	Atributos dos Requisitos.....	14
3.3.5	Rastreabilidade dos Requisitos.....	15
3.4	Engenharia de Sistemas Espaciais.....	15
3.4.1	Introdução	15
3.4.2	Análise Funcional.....	16
3.4.3	Análise Física	20
3.5	Montagem, Integração e Testes de Veículos Espaciais	24
3.5.1	Introdução	24
3.5.2	Verificação	25

3.5.3	Fase B.....	26
3.5.4	Fase C.....	26
3.5.5	Fase D.....	30
3.5.6	Equipamentos de Suporte.....	31
3.5.7	Verificação do OBDH On Board Software.....	32
4	CONCLUSÕES	33
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
	BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA	36
	GLOSSÁRIO	37
	APÊNDICE A - PROJETO MONOGRAFIA	38
A.1	- Termo de Abertura do Projeto.....	38

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo atender ao que dispõe o Art. 20º do Regimento do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais, Área de Concentração em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais.

Conforme determina o parágrafo II do Art. 20º, para avaliar a amplitude e a profundidade dos conhecimentos e a capacidade crítica do aluno, foi definido pela Banca Examinadora o problema Análise da Arquitetura do Subsistema de Gestão de Bordo dos Satélites CBERS 3&4, cuja solução deve ter por base os conhecimentos adquiridos nas disciplinas:

- a) Engenharia de Sistemas Espaciais;
- b) Introdução à Tecnologia de Satélites;
- c) Montagem, Integração e Testes de Veículos Espaciais; e
- d) Engenharia de Requisitos.

A análise, no entanto, não se limita às mesmas. Conceitos, métodos e técnicas abordados nas disciplinas: a) Modelagem de Sistemas Espaciais; e b) Gerenciamento de Projetos Espaciais, são também utilizados.

1.2 Metodologia

O problema proposto é tratado como um projeto, cujo resultado é a monografia Análise da Arquitetura do Subsistema de Gestão de Bordo. O Apêndice A apresenta o seu Termo de Abertura.

O ciclo de vida do projeto monografia foi dividido em seis fases: definição do problema; levantamento bibliográfico; estruturação do trabalho; desenvolvimento do trabalho; preparação da apresentação; e apresentação para a Banca.

2 AS MISSÕES CBERS 3&4 E O SUBSISTEMA OBDH

2.1 Introdução

O programa CBERS é um projeto de cooperação binacional que tem como patrocinadores os governos do Brasil e China. O objetivo principal do programa é a produção de imagens da superfície dos dois países através de câmeras óticas a bordo de satélites de sensoriamento remoto desenvolvidos em conjunto. O programa que teve início em 1988 com a assinatura de Acordo de Cooperação previa o lançamento de dois satélites, CBERS-1, lançado em 1999 e CBERS-2, lançado em 2003, foi estendido, com a renovação do Acordo de Cooperação em 2002, para mais dois satélites, CBERS-3 e CBERS-4, com novas cargas úteis e lançamentos atualmente previstos, respectivamente, para 2011 e 2013. Em 2004, diante da possibilidade do final de vida útil do CBERS-2 ocorrer antes do lançamento do CBERS-3, Brasil e China decidiram construir o CBERS-2B, lançado em 2007. O CBERS-2B contou com uma câmera de alta resolução no lugar da câmera de média resolução dos satélites anteriores e teve a duração de seu ciclo de vida encurtado pela utilização de réplicas de equipamentos já qualificados e de partes e equipamentos reservas remanescentes das missões CBERS-1 e 2.

2.2 As Missões CBERS 3&4

A definição de uma missão espacial é o resultado de um processo iterativo que, ao seu final, produz os requisitos do sistema. O processo de engenharia de sistemas proposto pela norma IEEE-1220-1994 (Loureiro, 1999) começa pela identificação dos requisitos dos stakeholders, passa pela tradução desses requisitos em requisitos de sistema, a partir dos requisitos de sistema, é gerada a arquitetura funcional e, a partir da arquitetura funcional, chega a arquitetura física da missão.

No repositório de documentos do Programa CBERS (<ftp://150.163.62.130>) não foram encontrados documentos que tratem da identificação e definição dos requisitos dos stakeholders ou dos requisitos de sistema. Os documentos de

mais alto nível encontrados no repositório tratam do WBS do Programa e da especificação dos Segmentos Espacial (Satélite), Lançador, Aplicação e Coleta de Dados. A mesma situação é encontrada quando se recua às missões CBERS-1, 2 e 2B. Embora possa a princípio ser atribuído a deficiências no gerenciamento das comunicações do programa, o motivo para a ausência desses documentos parece ser de outra natureza. Segundo Costa Filho (2006), por ocasião da assinatura do acordo de cooperação com a China o projeto do satélite de sensoriamento remoto já se encontrava em desenvolvimento pela CAST e tinha passado pelas fases de concepção e especificação. Situação semelhante se repete em relação ao subsistema OBDH, tratado na Seção 3.1.

O documento CBERS 3&4 Program Work Breakdown Structure, Kono e Bueno (2004) define a estrutura analítica (WBS) do Programa CBERS para as missões CBERS 3&4. O documento encontrado no repositório do programa encontra-se bastante desatualizado, o Segmento Coleta de Dados, por exemplo, não é mencionado, apesar de haver documento especificando suas interfaces. A Figura 2.1 apresenta extrato do WBS do Programa onde é destacado, no segundo nível, a estrutura de gerenciamento com suas duas instâncias, o JPC (instância superior do programa) e o Gerenciamento do Programa, além da Engenharia de Sistemas e dos segmentos que as compõem. O Segmento Espacial é também detalhado, destacando, no terceiro nível, o subsistema OBDH, os pacotes Gerenciamento e Engenharia de Sistemas.

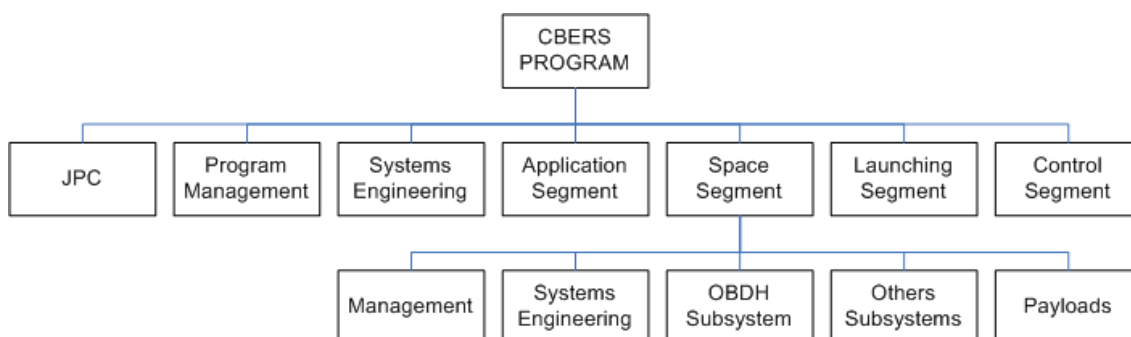


Figura 2.1 - Extrato do WBS das missões CBERS 3&4

2.3 O OBDH no Contexto das Missões CBERS-3 e 4

A Figura 2.2 apresenta os componentes principais da arquitetura das missões CBERS-3 e 4 destacando seus segmentos e o subsistema OBDH, conforme WBS do programa e documento Interface Between CBERS03 and Ground Image Receiving Station, INPE/CAST/CRESDA (2005). Na figura são também destacadas as organizações encarregadas da execução do programa, INPE e CAST.

As missões do programa CBERS constituem um sistema complexo (Loureiro, 1999) onde sobressai a quantidade de tipos de elementos, número de ligações entre os elementos, restrições organizacionais e culturais, dispersão organizacional dos times. O segmento controle, por exemplo, é constituído por dois sistemas, um localizado no Brasil e outro na China, os quais interagem entre si e com o segmento espacial.

Situação semelhante acontece com o Subsistema de Gestão de Bordo (On Board Data Handling - OBDH). O OBDH interage com o segmento Lançador durante o lançamento e injeção em órbita, com o segmento Controle e com todos os subsistemas e cargas úteis do satélite durante a vida útil do satélite. Embora o subsistema OBDH seja de responsabilidade da CAST, o INPE tem participação significativa no projeto e no fornecimento de seus equipamentos. De um total de cinco diferentes tipos de equipamentos o INPE tem participação no projeto de dois deles (CTU e RTU) e fornece oito (uma CTU e sete RTU) de um total de onze equipamentos por modelo do satélite. Nesse cenário destaca-se a intensa interação entre ambas organizações e destas com seus respectivos fornecedores.

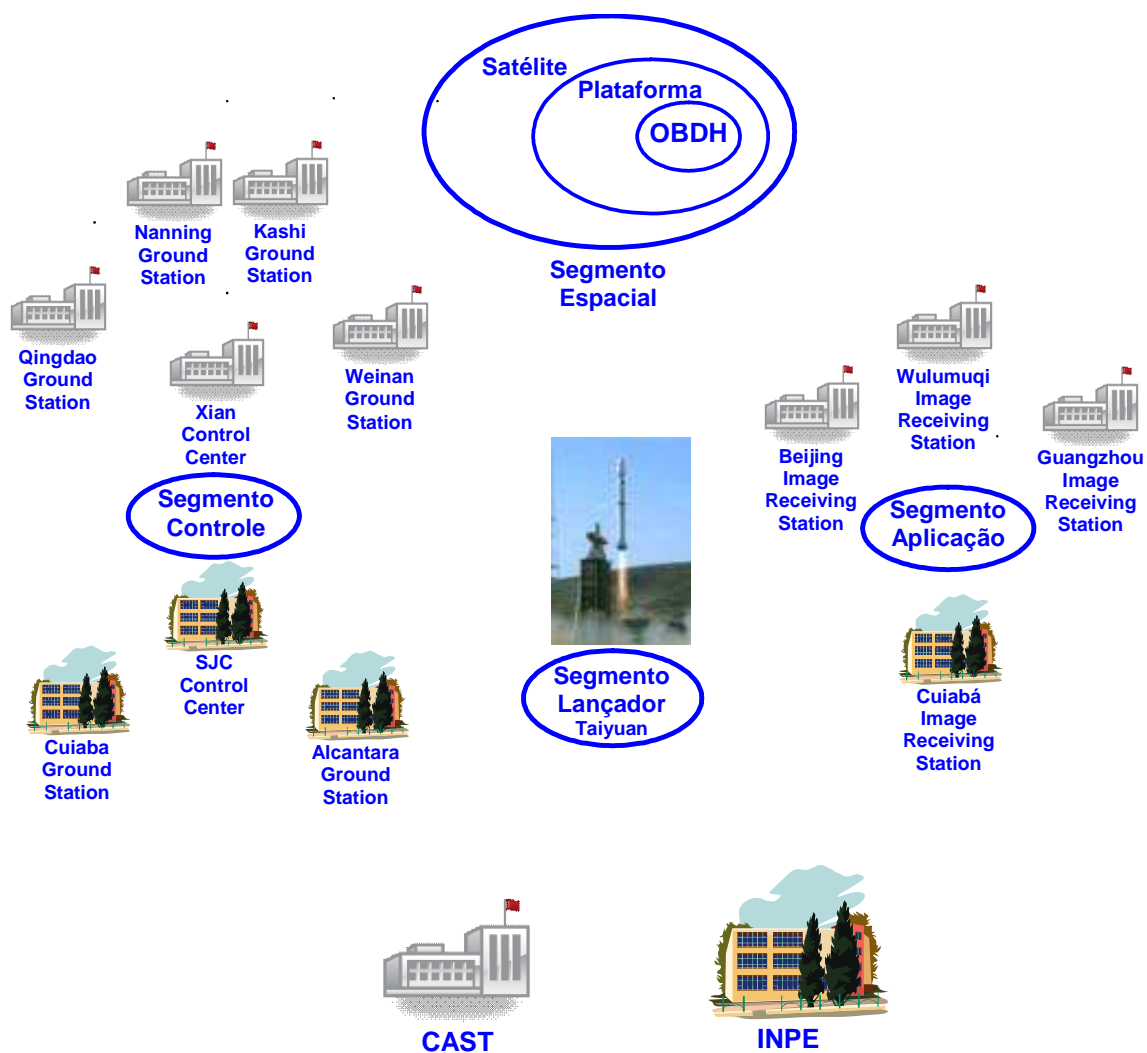


Figura 2.2 - Arquitetura das missões CBERS 3&4

3 ANÁLISE DA ARQUITETURA DO SUBSISTEMA OBDH

3.1 Introdução

Assim como no levantamento da documentação da missão, no levantamento da documentação para o subsistema OBDH, não foram encontrados no repositório de documentos do Programa documentos que contemplam as etapas iniciais do processo de engenharia de sistema, i.e., a identificação e definição dos requisitos de usuários e a definição dos requisitos técnicos.

Dessa forma, o documento CBERS 3&4 On Board Data Handling Subsystem Specification, Wang e Wang (2010) será utilizado como base para a análise da arquitetura do Subsistema de Gestão de Bordo. O documento trata da especificação do subsistema OBDH depois da síntese da arquitetura física, ou seja, numa etapa onde a alocação das funções aos elementos físicos já foi realizada.

3.2 Introdução à Tecnologia de Satélites

3.2.1 Arquitetura

Para realizar as funções mencionadas em Wang e Wang (2010), o documento especifica uma arquitetura física, cujo diagrama de blocos é mostrado na Figura 3.1.

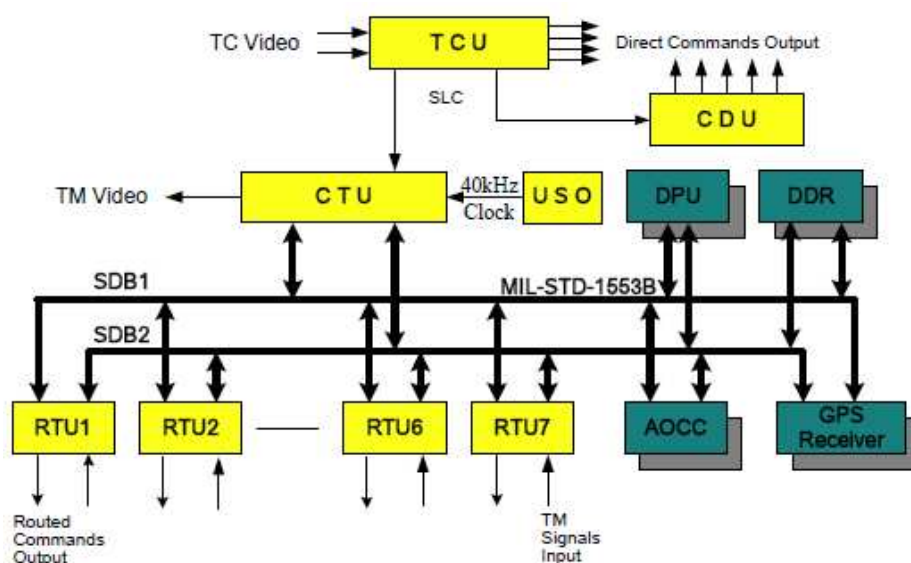


Figura 3.1 - Topologia do subsistema OBDH CBERS 3&4

Fonte: Adaptada de Wang e Wang (2010)

O subsistema consiste dos seguintes componentes: TCU - Telecommand Unit, CDU - Command Decode Unit, CTU - Central Terminal Unit, RTUs (7 unidades) - Remote Terminal Units, SDB - Serial Data Bus, USO - Ultra-Stable Oscillator e OBDH Software - composto pelo software da CTU, pelo software da RTU e pelo software da TCU. Além desses, outros componentes compartilham o SDB,

mas não fazem parte do subsistema OBDH: o AOCC – Atitude and Orbit Control Computer faz parte do subsistema AOCS – Atitude and Orbit Control Subsystem, o GPS faz parte do subsistema TTC, o DDR – Digital Data Recorder faz parte do DSS, e a DPU – Data Processing Unit faz parte do experimento SEM - Space Environment Monitor.

A arquitetura do subsistema OBDH tem origem nas normas Data Handling Standards da ESA, mais especificamente, no documento Spacecraft Data Handling Interface Standards – TTC-B-01, ESA (1979), o qual é referenciado em Wang e Wang (2010). Na Figura 3.2 é mostrado a estrutura básica da arquitetura do OBDH apresentada em ESA (1979).

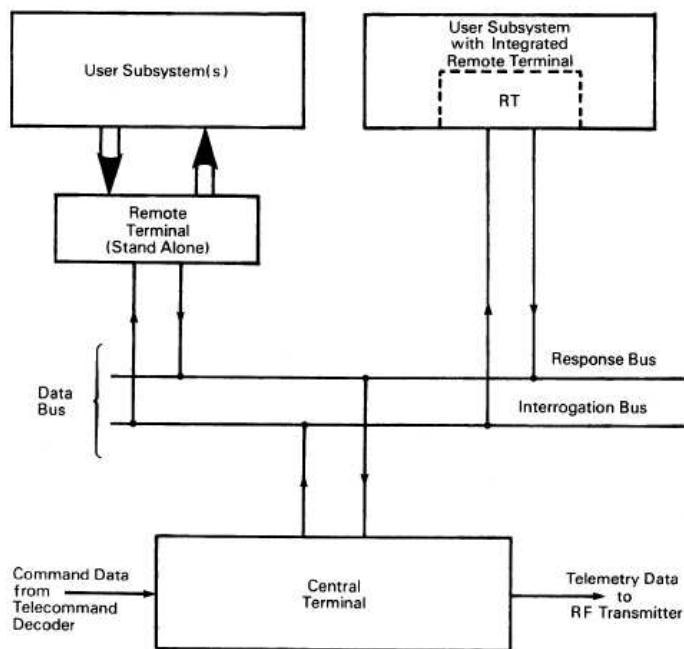


Figura 3.2 - ESA Data Bus Interface System

Fonte: Adaptada de ESA (1979)

A analogia com a arquitetura do OBDH CBERS é imediata. As diferenças encontram-se basicamente nas soluções adotadas na sua implementação. As funções realizadas pelo Telecommand Decoder na arquitetura ESA são realizadas pela TCU e CDU na arquitetura CBERS. Da mesma forma, as funções da Central Terminal são realizadas pela CTU e USO, as funções dos

Remote Terminals são realizadas pelas RTUs e as funções do ESA Data Bus são realizadas pelo SDB.

Assim, na topologia CBERS, TCU, CDU, CTU e USO são os responsáveis pela interação com o Segmento Controle enquanto CTU, USO e RTUs são responsáveis pela realização da interação com os subsistemas, as Cargas Úteis e o Segmento Lançador, ou seja, o conjunto CTU e USO representam o núcleo da arquitetura OBDH.

Com relação à implementação, deve-se ressaltar a substituição do ESA Data Bus pelo SDB, o qual segue a especificação MIL-STD-1553B, com a possibilidade de conexão de equipamentos diretamente no barramento, sem a necessidade de uma Remote Terminal, como requerido na arquitetura ESA. Embora na arquitetura ESA a Remote Terminal possa estar embutida em equipamento de outros subsistemas a interação com esse equipamento é realizada somente através das interfaces definidas em ESA (1978). A conexão de equipamentos externos ao subsistema diretamente no SDB permite simplificar a interface com esses equipamentos eliminando a necessidade de implementação do conjunto de interfaces definidas em ESA (1978). As funções do SDB são, no entanto, ampliadas passando o mesmo a ter função de um barramento do satélite.

As interfaces disponibilizadas pelas RTUs para os usuários, com a finalidade de aquisição de telemetrias e distribuição de comandos seguem, com alterações mínimas, as especificações contidas em ESA (1978). A Tabela 3.1 mostra os tipos de interfaces e as quantidades de canais disponibilizadas por cada RTU e a quantidade total de canais disponibilizada pelo conjunto de sete RTUs.

Tabela 3.1 – Interfaces disponibilizadas pelas RTUs

Interfaces	Quantidade de Canais por RTU	Quantidade Total de Canais Provido pelas RTUs
On/Off Command (O/O)	32	224
Memory Load Command (ML)	3	21
Serial Digital Channel (SD)	2	14
Analog and Bilevel Channel (AN/BL)	124	868
Thermistor Channel (TH)	37	259

3.2.2 Software de Bordo

Wang e Wang (2010) especifica o Software do OBDH como sendo composto pelo Software da CTU, Software da RTU e Software da TCU. Embora os equipamentos RTU e TCU contenham microprocessadores que executam programas, a classificação não é a mais adequada. O programa executado na TCU não interage com as outras unidades do subsistema e é gravado e executado em memórias PROM. Por sua vez, o programa executado na RTU, embora seja mais complexo que o da TCU e interaja com o programa executado na CTU, da mesma forma que o programa da TCU, é gravado e executado em memórias PROM. Em ambos os casos não é possível realizar qualquer alteração após a sua instalação nos equipamentos. Assim, torna-se mais adequado classificar os programas executados nessas unidades como “firmware” e o sistema formado pela CTU e RTUs como sistema computacional distribuído.

Diferente da RTU e TCU, o software da CTU é composto por um sistema operacional de tempo real proprietário e um conjunto de aplicativos através dos quais são atendidos os requisitos dos usuários. O software CTU é carregado da memória PROM, onde é gravado, para a memória RAM, onde é executado, possibilitando a modificação de seus componentes em órbita por meio de telecomandos. Todas as modificações realizadas no software devem, no

entanto, ser refeitas sempre que o equipamento for reiniciado, pois a memória RAM é zerada sempre que a unidade é reinicializada.

O documento OBDH Software User's Requirements, Wang e Wang (2008) "estabelece os requisitos para o projeto, desenvolvimento, implementação e teste" 'sic' do software de bordo do subsistema. Neste documento são especificadas as funções que utilizam o software para sua implementação.

3.2.3 Confiabilidade

No documento de especificação do OBDH, Wang e Wang (2010), a confiabilidade alocada ao subsistema é 0.97068 ao final de 3 anos. Para atingir esse valor, no documento são especificadas técnicas e mecanismos para o tratamento de falhas nos níveis subsistema, equipamento e módulo e incluindo tanto o hardware como o software. Como exemplos, podem ser relacionados: redundância de hardware, redundância de informação, verificação de consistência, mecanismos de detecção e correção de erros, mecanismos de guarda, proteção de áreas de memória contra escrita, auto teste.

Técnicas de intolerância a falhas são também empregadas como a prevenção de falhas realizada através da utilização de componentes de alta confiabilidade, revisões de projeto e a remoção de falhas realizada através de testes.

Com relação à redundância de hardware, a exceção das RTUs, todos os equipamentos são internamente redundantes. Nos equipamentos TCU, CDU e SDB é utilizado a técnica de redundância quente, no caso da CTU e do USO é empregada a técnica de redundância fria. Já no caso das RTUs, a tolerância a falhas é tratada no nível funcional com o emprego de duas RTUs diferentes para realizar a mesma função sempre que necessário. Na configuração atual do satélite todas as funções relacionadas às interfaces O/O, ML, SD são realizadas por duas RTUs.

3.2.4 Tecnologia

Em termos tecnológicos, o principal avanço obtido no desenvolvimento do subsistema OBDH dos satélites CBERS 3&4, quando comparado com satélites CBERS-1, 2, 2B, esta na compactação dos seus equipamentos. A redução do volume foi possível graças à utilização de componentes de montagem superficial. A redução não foi, no entanto, uniforme em todos os equipamentos. Nos equipamentos fornecidos pela CAST a redução de volume e massa foi maior que nos equipamentos fornecidos pelo INPE devido a utilização tanto de circuitos integrados como de componentes discretos de montagem superficial. Nos equipamentos produzidos no Brasil (CTU e RTUs) somente circuitos integrados disponíveis na versão montagem superficial foram utilizados. Além disso, no caso específico das RTUs o ganho obtido foi ainda menor devido ao incremento na quantidade de canais das interfaces de aquisição e atuação.

3.3 Engenharia de Requisitos

3.3.1 Introdução

Neste trabalho o documento OBDH Subsystem Specification, Wang e Wang (2010) será analisado levando em consideração tópicos abordados na disciplina Engenharia de Requisitos como Estrutura, Organização, Atributos e Rastreabilidade.

Cabe ressaltar, embora já tenha sido mencionado na Seção 3.1, que o documento não trata de requisitos de usuários ou de requisitos técnicos.

3.3.2 Estrutura dos Requisitos

Nesta análise foram consideradas as principais recomendações comuns aos documentos IEEE Std 1233, IEEE (1998) e Get It Right the First Time: Writing Better Requirements, IBM (2008) utilizados na disciplina assim como as constantes no documento ECSS-E-ST-10-06C, ECSS (2009).

No documento RBF-HDS-0006/02 podem ser encontrados diversos problemas na estrutura dos requisitos. Alguns podem ser atribuídos ao fato do documento

ter sido provavelmente escrito em chinês e posteriormente vertido para o inglês, como erros de concordância e uso de palavras inadequadas.

Entre os problemas identificados podem ser citados:

Múltiplos requisitos sob um mesmo identificador:

- 3) *To generate the on-board time reference and distribute timing signal to satellite subsystem related, and provide the capability of time correction according to the ground time reference and GPS time reference (under the ground station control).*
- 5) *To prevent the memory and components from SEU and SEL, and to provide the capability of memory write-protection.*

Requisitos sem identificador:

3.1.2.3 - CENTRAL TERMINAL UNIT – CTU(RBFA)

The CTU is the core of OBDH subsystem, which shall be cold redundancy in one box and shall perform the following functions:

Ausência de tolerância:

- 2) *Subcarrier Frequency: 8 kHz*
- 3) *Bit Rate: 2000bps*

Ambigüidade:

- 4) *To receive and to decode the command word from the CTU via the Serial Data Bus, and perform the function of SDB communication according to the predefined protocol.*

Indicação da solução de projeto:

- 5) *The EDAC shall be adopted to correct the single bit error and to detect the double bits error for the RAM, which shall be refreshed periodically in order to prevent the SEU.*

3.3.3 Organização dos Requisitos

De acordo com a norma IEEE Std 1233, IEEE (1998), os requisitos podem ser organizados de várias formas, sendo a mais comum a ordenação hierárquica, onde os requisitos mais gerais são decompostos sucessivamente em requisitos mais específicos. Na organização, o relacionamento entre os requisitos deve

ser levado em consideração e indicado. A norma ECSS-E-ST-10-06C, ECSS (2009), sugere a organização usando como critério de relacionamento as diferentes situações do ciclo de vida do produto ou o tipo do requisito, o qual a norma define como funcional, missão, interface, ambiental, operacional, fator humano, suporte logístico, físico, garantia do produto, configuração, projeto e verificação.

A Figura 3.3 apresenta um extrato até o nível 3 da estrutura de tópicos do documento RBF-HDS-0006/02. Um exame preliminar da estrutura mostra que, de forma geral, o documento não segue ou segue parcialmente as recomendações da norma.

- 3 - REQUIREMENTS
 - 3.1 – OBDH DEFINITION
 - 3.1.1 - OBDH S/S FUNCTIONAL REQUIREMENTS.
 - 3.1.2 - OBDH S/S DESCRIPTION
 - 3.1.3 - OBDH S/S INTERFACES
 - 3.1.4 - OBDH S/S OPERATING MODE
 - 3.2 - OBDH S/S PERFORMANCE REQUIREMENTS
 - 3.2.1 - TELECOMMAND PERFORMANCE
 - 3.2.2 - TELEMETRY PERFORMANCE
 - 3.2.3 - HOUSEKEEPING
 - 3.2.4 - INTER-TERMINAL COMMUNICATION
 - 3.2.5 - ON-BOARD TIME REFERENCE
 - 3.2.6 - SOFTWARE PERFORMANCE REQUIREMENTS
 - 3.3 – DESIGN AND CONSTRUCTION REQUIREMENTS
 - 3.3.1 - GENERAL REQUIREMENTS
 - 3.3.2 - LIFETIME
 - 3.3.3 - RELIABILITY
 - 3.3.4 - MECHANICAL REQUIREMENTS
 - 3.3.5 - THERMAL REQUIREMENTS
 - 3.3.6 - ELECTRICAL REQUIREMENTS
 - 3.3.7 - OBDH REQUIREMENTS
 - 3.4 - ENVIRONMENT REQUIREMENTS
 - 3.5 - ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY REQUIREMENTS
 - 3.6 – PRODUCT ASSURANCE REQUIREMENTS
- 4 - VERIFICATION.
 - 4.1 - DESIGN VERIFICATION MATRIX (DVM)
 - 4.2 - ENVIRONMENT TEST
 - 4.3 - EMC TEST

Figura 3.3 – Extrato da estrutura de tópicos do documento RBF-HDS-0006/02

A seção 3.1, cujo título sugere uma descrição geral do subsistema, inclui no item 3.1.1, a apresentação dos requisitos gerais do subsistema, no item 3.1.2,

a apresentação da arquitetura física e as funções alocadas a cada um de seus componentes, no item 3.1.3, a especificação das interfaces do subsistema, e finalmente no item 3.1.4, a apresentação dos modos de operação do subsistema. Em resumo, na seção 3.1, além da combinação de descrição com apresentação de requisitos, há também a combinação da apresentação dos requisitos funcionais com a apresentação de restrições, representadas pelas especificações das interfaces.

Na seção 3.2, ocorre um problema de hierarquia de requisitos. O item 3.2.1 inclui a especificação dos formatos e dos quadros de telecomando assim como dos blocos de telecomandos. De forma semelhante, a seção 3.2.2 inclui a especificação dos formatos de telemetria. Estes requisitos deveriam estar incluídos em documento de nível superior aplicável ao subsistema OBDH, pois incluem parte da especificação da interface solo/bordo, ou seja, da interface do segmento controle com o segmento espacial.

De acordo com ECSS (2009), itens 3.3.1, 3.3.2 da seção 3.3 (Design and Construction Requirement) poderiam ser melhores alocados na seção 3.6 (PA Assurance). O item e 3.3.7, o qual apresenta as necessidades de telecomandos e telemetrias do OBDH poderia ser mais bem posicionado na seção 3.2.

Também de acordo com ECSS (2009), as seções 3.4, 3.5 poderiam ser fundidas em uma única seção intitulada Environmental Requirement.

A seção 4 deveria de acordo com ECSS (2009), apresentar os requisitos relacionados aos métodos de verificação impostos a cada requisito. O documento requer a elaboração de uma DVM para demonstrar que os requisitos são atendidos.

3.3.4 Atributos dos Requisitos

Os atributos são associados aos requisitos com a finalidade de prover informações complementares para sua análise e avaliação. Em IEEE (1998) e IBM (2008) são propostos diferentes conjuntos de atributos. Em comum são

definidos como atributos a origem, a prioridade e o risco associado ao requisito. Outros atributos são, no entanto, propostos em cada um dos documentos tais como criticalidade, viabilidade, estado, responsável, identificação, tipo, método de verificação. Em ECSS (2009) não é utilizado o termo atributo.

A análise do documento RBF-HDS-0006/02 mostra que não são normalmente associados atributos aos requisitos. As exceções são: identificação - embora o documento contenha muitas falhas de identificação (Seção 3.3.2), os requisitos são normalmente identificados; tipo - conjuntos de requisitos são agrupados sob um mesmo tipo;

3.3.5 Rastreabilidade dos Requisitos

Como mencionado na seção 3.3.4, a origem dos requisitos não é indicada, dificultando ou impossibilitando o seu rastreamento. Em algumas situações é indicado o documento aplicável ou a seção do documento aplicável que deu origem ao requisito. Nestas situações o documento aplicável referenciado apresenta requisitos não funcionais:

- CBERS 3&4 Design and Construction Specification (12 citações);
- CBERS 3&4 Environment Specification (3 citações);
- CBERS 3&4 EMI & EMC Specification (2 citações); e
- CBERS 3&4 Product Assurance Requirements (1 citação).

O único documento aplicável que apresenta requisitos funcionais, CBERS 3&4 Satellite Specification, INPE's/CAST's SE Team (2005b), não é citado nenhuma vez.

3.4 Engenharia de Sistemas Espaciais

3.4.1 Introdução

Nesta seção serão abordados o processo de análise funcional e o processo de análise física (síntese) do conjunto de processos que compõem o processo de engenharia de sistemas definido na norma IEEE Std 1220 (IEEE 2005). Estas

análises serão aplicadas com base nos procedimentos definidos em Loureiro (1999).

Em Wang e Wang (2010) é especificado um conjunto de funções para o subsistema OBDH, a partir das quais podem ser inferidos os seguintes requisitos para o subsistema:

- O subsistema deve receber, decodificar e validar os telecomandos recebidos de solo e distribuí-los para os subsistemas e cargas úteis;
- O subsistema deve distribuir os telecomandos recebidos de solo para os subsistemas e cargas úteis;
- O subsistema deve adquirir, codificar e formatar as telemetrias dos subsistemas e cargas úteis;
- O subsistema deve enviar as telemetrias formatadas para solo;
- O subsistema deve processar dados dos subsistemas e das cargas úteis;
- O subsistema deve gerar comandos a bordo do satélite;
- O subsistema deve distribuir os comandos internos para os subsistemas e cargas úteis;
- O subsistema deve gerar e distribuir o tempo referência de bordo para os subsistemas e cargas úteis;

3.4.2 Análise Funcional

3.4.2.1 Contexto

A Figura 3.4 mostra o diagrama de contexto do subsistema OBDH. O diagrama foi elaborado levando em consideração as informações apresentadas no WBS das missões CBERS 3&4, Kono e Bueno (2004). No diagrama são mostrados individualmente todos os subsistemas que compõem o módulo Plataforma, i.e. TTCS representa o subsistema Telemetry, Tracking and Command, EPSS - Electrical Power Supply Subsystem, AOCS - Attitude and Orbit Control Subsystem, TCSS - Thermal Control Subsystem e SYSC - System Circuitry Subsystem. As cargas úteis, as quais incluem os subsistemas Panchromatica

Multispectral Camera (PAN), Infrared Scanner Camera Subsystem (IRS), MUX & WFI Transmitter Subsystem (MWT), Multispectral Camera Subsystem (MUX), Wide Field Imaging Camera SS (WFI), Data Collection Subsystem (DCS), Space Environment Monitor Subsystem (SEM), Digital Data Recorder Subsystem (DDR), PAN & IRS Transmitter Subsystem (PIT) são representadas pelo bloco Cargas Úteis.

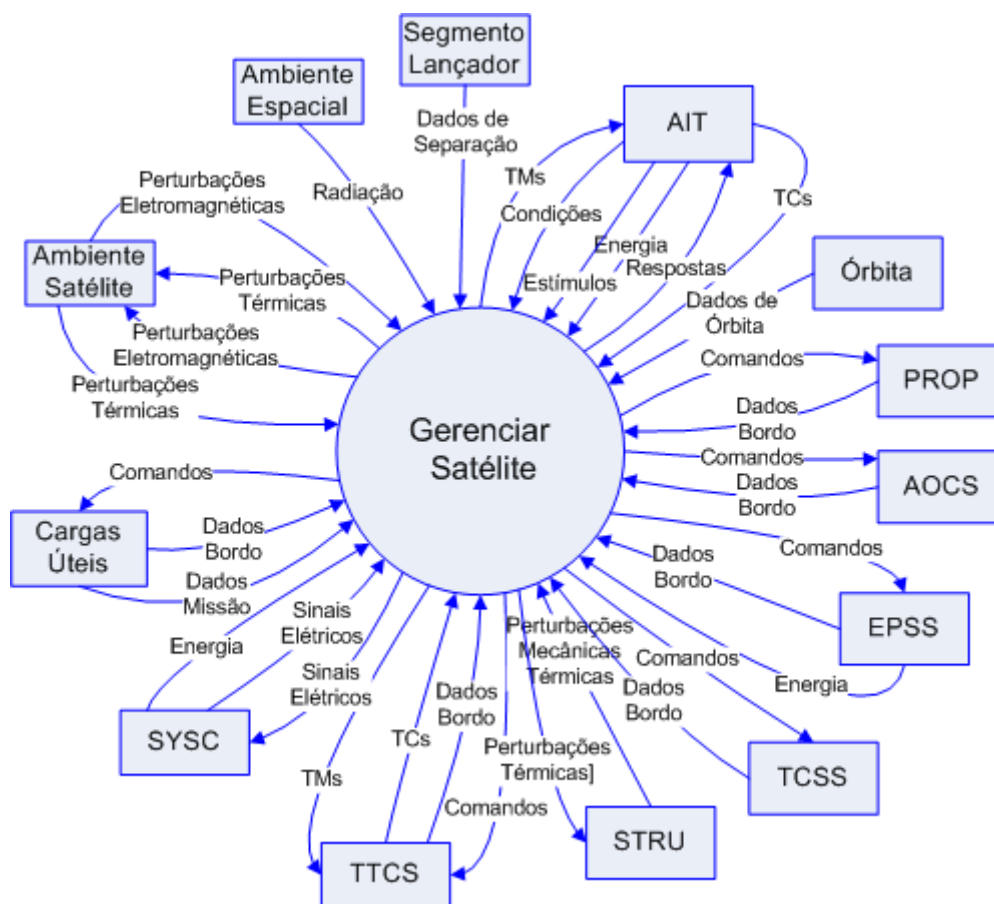


Figura 3.4 – Diagrama de contexto do subsistema

3.4.2.2 Modos de Operação

O documento CBERs 3&4 On Board Data Handling Subsystem Software User Requirements, Wang e Wang (2008) especifica quatro modos de operação para o subsistema OBDH: Normal, Lançamento, Mudança de Órbita, Aquisição Global de Atitude e Emergência conforme mostra a Figura 3.5.

Também de acordo com o documento, para cada modo de operação, o subsistema altera a composição dos quadros de telemetrias enviados para solo de forma a transmitir os dados necessários para a operação do satélite naquele modo. O subsistema OBDH deve também alterar a configuração do satélite, ligando ou desligando as cargas úteis.

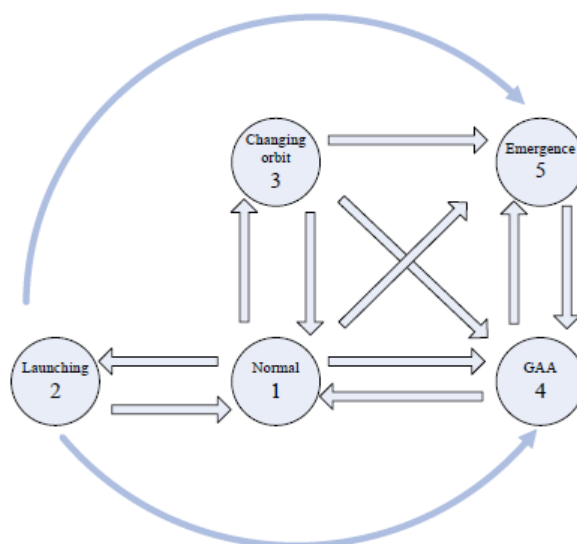


Figura 3.5 - Modos de operação do subsistema OBDH

Fonte: Adaptado de Wang e Wang (2008)

Da análise do contexto, do ambiente, estrutura e comportamento do subsistema conclui-se, no entanto, que esses modos de operação são de fato modos de operação do satélite e não do subsistema. O subsistema permanece sempre em um mesmo estado e tem um único modo de operação. As transições de estado do satélite são determinadas por eventos (telecomandos de solo, dados do subsistema AOCS) que representam entradas para o subsistema as quais determinam a alteração das saídas (quadros de telemetrias) do subsistema.

3.4.2.3 Definição de Funções

A partir do diagrama de contexto mostrado na Figura 3.4, dos modos de operação mostrados na Figura 3.5 e dos requisitos gerais listados na Seção 3.4.1 podem ser definidas as seguintes funções:

- Prover capacidade de receber telecomandos;
- Prover capacidade de decodificar e validar telecomandos;
- Prover capacidade de gerar comandos internos;
- Prover capacidade de distribuir comandos;
- Prover capacidade de adquirir dados de bordo e de missão;
- Prover capacidade de codificar e formatar telemetrias;
- Prover capacidade de enviar telemetrias;
- Prover capacidade processar dados;
- Prover capacidade de gerar tempo de bordo;

3.4.2.4 Análise FMEA e Hazard

A Tabela 3.2 apresenta o resultado da FMEA aplicado nas funções definidas na Seção 3.4.2.3. A severidade é classificada de acordo com a norma MIL-STD-1629A em catastrófica, crítica, marginal e menor.

Deste resultado pode ser concluído que é necessário incluir uma nova função:

- Prover capacidade de tolerar falhas

Da mesma forma, a aplicação da análise de Hazard na função Prover capacidade de processar dados mostra que o risco associado à identificação de necessidade de novas funcionalidades ou de alteração das funcionalidades existentes pós-lançamento é alto. Assim, mais uma função deve ser acrescentada:

- Capacidade de manutenção do software de bordo (OBS)

Tabela 3.2 – Efeito e severidade da falha das funções

Função	Efeito	Severidade
Prover capacidade de receber telecomandos	Perda capacidade de operar satélite	Crítica
Prover capacidade de decodificar e validar telecomandos	Perda capacidade de operar satélite	Crítica
Prover capacidade de gerar comandos internos	Perda capacidade de operar satélite	Crítica
Prover capacidade de distribuir comandos	Perda capacidade de operar satélite	Crítica
Prover capacidade de adquirir dados de bordo e de missão	Perda das telemetrias	Crítica
Prover capacidade de codificar e formatar telemetrias	Perda das telemetrias	Crítica
Prover capacidade de enviar telemetrias	Perda das telemetrias	Crítica
Prover capacidade processar dados	Afeta capacidade de operar satélite	Crítica
Prover capacidade de gerar tempo de bordo	Perda da referência de tempo	Crítica

3.4.2.5 Definição das Interfaces Funcionais

Da análise das interfaces conclui-se que a função Prover capacidade de gerar o tempo de bordo necessita receber dados para realizar a sincronização do tempo gerado internamente com o tempo de solo. Conclui-se também que essa função necessita receber uma informação de referência (relógio) com alta estabilidade para o cálculo do tempo.

3.4.2.6 Arquitetura Funcional

A partir dos resultados das Seções 3.4.2.3, 3.4.2.4, 3.4.2.5 pode ser elaborado o diagrama de decomposição funcional do subsistema mostrado na Figura 3.6.

3.4.3 Análise Física

A primeira etapa no processo de análise física é a identificação dos componentes do subsistema. Os componentes possíveis de serem usados no subsistema OBDH são descritos na Seção 3.2.1: TCU, CDU, CTU, RTU, USO e SDB.

Para alocar as funções identificadas na Figura 3.6 aos componentes físicos do subsistema foi construído o diagrama de fluxo da arquitetura mostrado na Figura 3.7, o qual mostra como o fluxo de dados, energia e material é associado a cada componente físico. Comparando as entradas e saídas de cada componente na Figura 3.7 com as funções identificadas na Figura 3.6 pode-se estabelecer a relação entre as funções e os componentes físicos. A Tabela 3.3 mostra a alocação das funções aos componentes do subsistema.



Figura 3.6 – Diagrama de decomposição funcional do subsistema

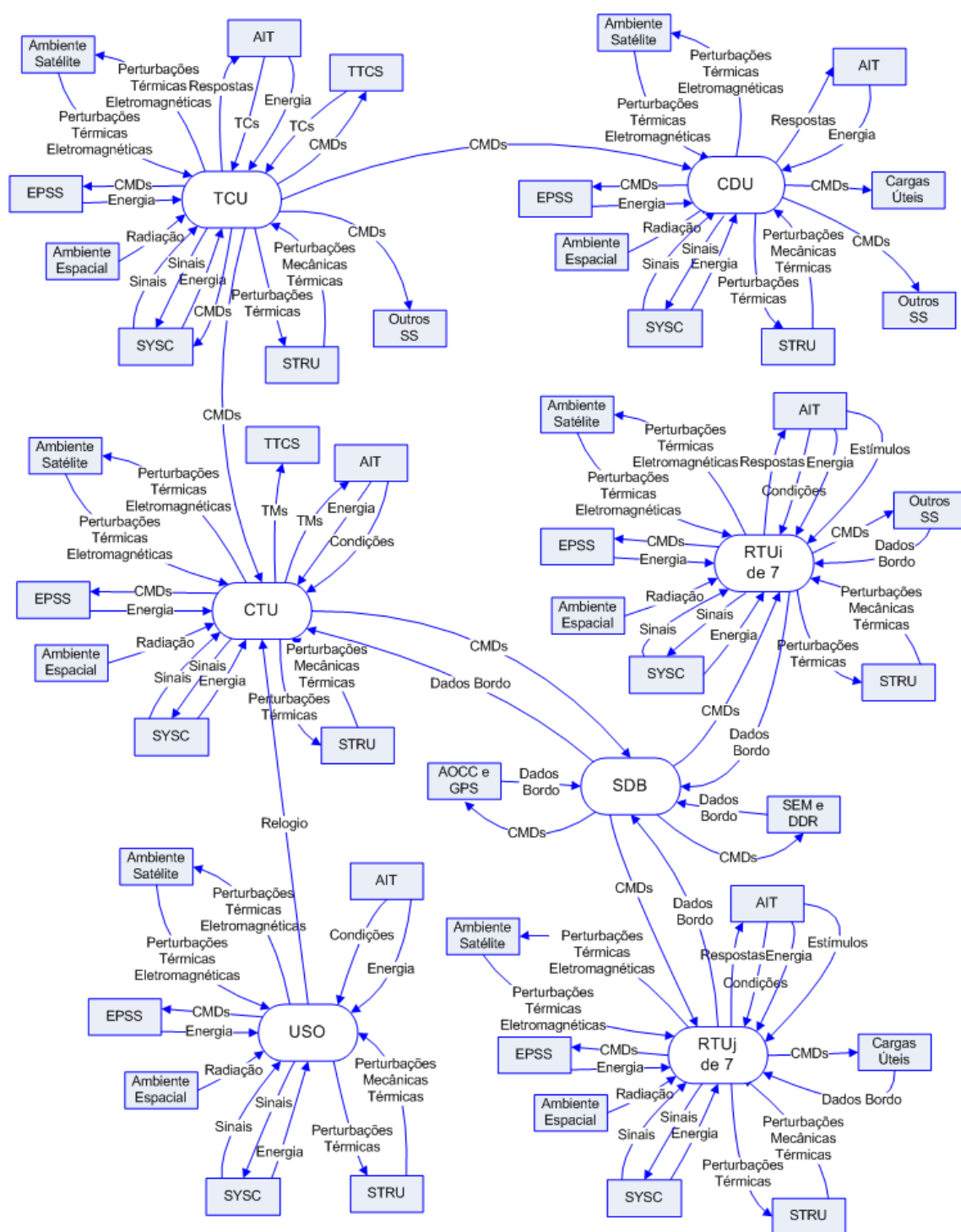


Figura 3.7 – Diagrama de fluxo da arquitetura do subsistema

A Figura 3.8 apresenta o diagrama da arquitetura física do subsistema onde são mostrados todos os seus componentes e as interfaces físicas entre os

componentes do subsistema e as interfaces físicas destes com os elementos do ambiente.

Tabela 3.3 - Alocação funcional

		Componentes						
		TCU	CDU	CTU	RTU	USO	SDB	
Funções	Prover capacidade receber, TCs	1						
	Prover capacidade decodificar, validar TCs	1						
	Prover capacidade adquirir, dados de bordo e de missão			1	1			
	Prover capacidade codificar e formatar TMs			1				
	Prover capacidade de enviar TMs			1				
	Prover capacidade de gerar tempo de bordo			1				
	Prover referência para gerar o tempo de bordo					1		
	Prover capacidade de gerar comandos internos			1				
	Prover capacidade de distribuir comandos	1	1		1			
	Prover capacidade de processar dados			1				
	Prover capacidade de tolerar falhas	1	1	1	1	1	1	
	Prover capacidade de manutenção do OBS			1				
	Prover interfaces com elementos do ambiente e do subsistema	1	1	1	1	1	1	
	Prover capacidade de receber energia	1	1	1	1	1		
	Prover capacidade de suportar perturbações mecânicas e térmicas	1	1	1	1	1		
Prover capacidade para ser testado	1	1	1	1				

A identificação das interfaces físicas foi realizada diretamente no diagrama de interconexão a partir das informações apresentadas nos documentos CBERS 3&4 Design and Construction Specification, INPE's/CAST's SE Team (2007) e Wang e Wang (2010).

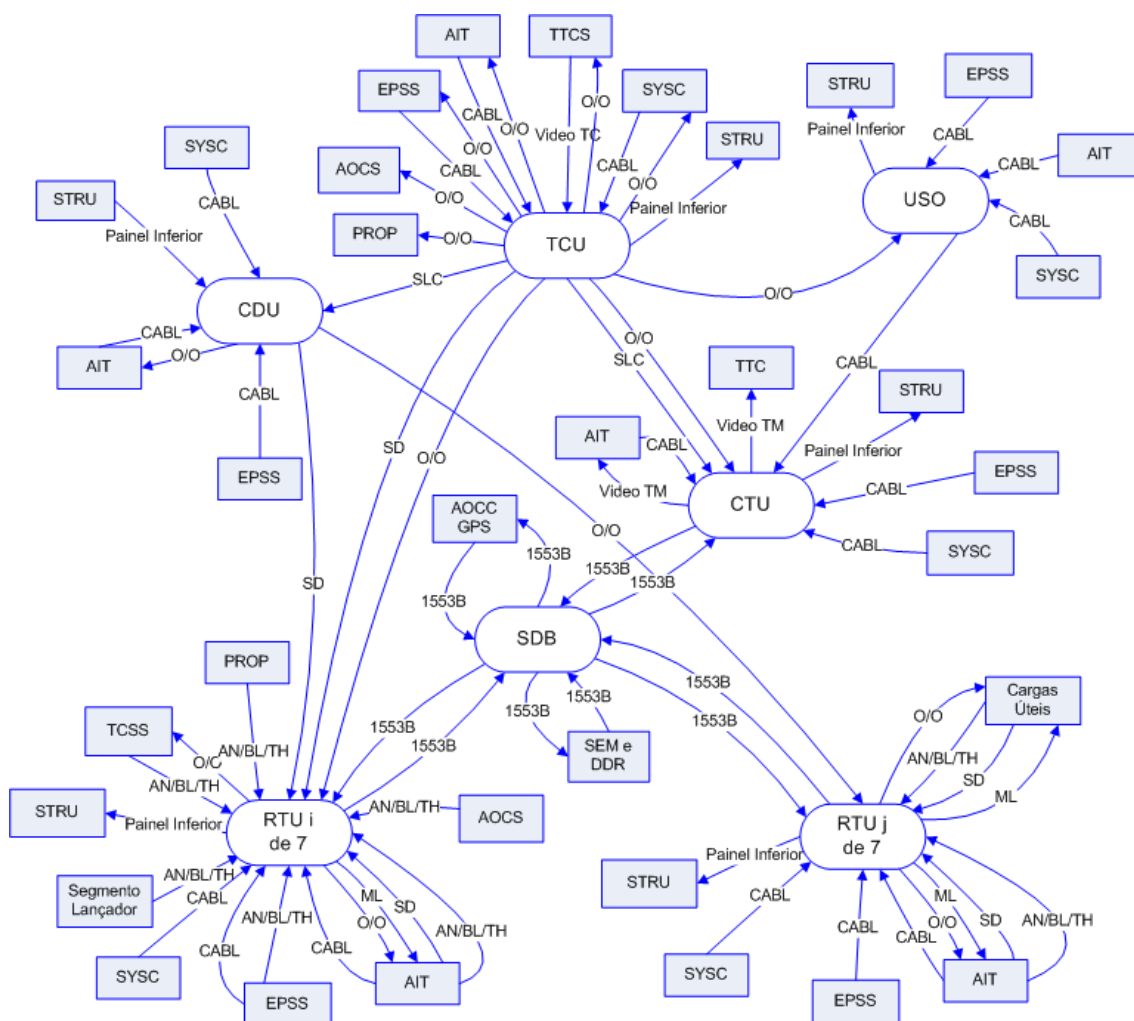


Figura 3.8 – Diagrama de interconexão da arquitetura do subsistema

3.5 Montagem, Integração e Testes de Veículos Espaciais

3.5.1 Introdução

O documento CBERS 3&4 Satellite Development and Test Plan - RB-MNG-0002 Rev 03 (INPE's/CAST's SE Team, 2004) define o plano de desenvolvimento e teste dos satélites dos programas CBERS 3&4. O ciclo de vida das missões é estabelecido em cinco fases: Fase A - Viabilidade, Fase B - Definição Preliminar, Fase C - Projeto Detalhado, Fase D - Produção e Fase E - Utilização. Cada fase tem início após o encerramento da fase anterior e é encerrada com uma revisão, a qual pode estabelecer ações corretivas ou com finalidade de introduzir melhorias no projeto antes do início da fase seguinte, o

que caracteriza a utilização do modelo Cascata (Walterfall) de desenvolvimento.

O documento prevê a construção de modelos de engenharia, de qualificação e de vôo para os equipamentos do satélite. Os modelos que devem ser construídos dependem do status da qualificação do equipamento. No caso específico do subsistema OBDH, devem ser construídos modelos de engenharia e de qualificação dos componentes TCU, CDU, CTU, RTU e SDB. O equipamento USO, produzido em série para aplicações espaciais, não terá modelos de engenharia e qualificação.

O subsistema OBDH terá um modelo de engenharia o qual deve ser montado, integrado e testado no modelo elétrico do satélite e dois modelos de vôo os quais serão usados nos satélites CBERS 3 e CBERS 4.

Um modelo de vôo adicional de cada equipamento do subsistema deve ser construído para ser utilizado como unidade reserva dos equipamentos do subsistema.

3.5.2 Verificação

O processo de verificação tem início na fase A e esta presente em todas as fases do ciclo de vida do satélite. A verificação é realizada por meio de revisões, análises, testes e inspeções. Neste trabalho, no entanto, o processo de verificação será abordado nas fases B, C e D e nos níveis equipamento e subsistema. Os níveis superiores, sistema e missão, assim como os inferiores, partes e componentes não serão tratados.

Não estão disponíveis no repositório de documentos do programa, os planos de verificação e documentos de níveis inferiores relativos ao subsistema OBDH e aos equipamentos TCU, CDU e USO assim como os relativos ao software do subsistema (OBDH OBS) os quais são fornecidos pela CAST. Assim, a exceção dos equipamentos CTU e RTU, as informações apresentadas não são baseadas em documentos formais.

3.5.3 Fase B

O processo de verificação do subsistema tem início na fase B. No final da fase B ocorre a revisão do projeto preliminar - PDR no nível equipamento e no nível subsistema. Na PDR toda documentação de projeto, de fabricação e de teste é revisada. A revisão inclui os projetos elétrico, mecânico, térmico, as análises elétrica, mecânica, térmica e de radiação. Compreende também as análises FMEA, Confiabilidade e "derating". A PDR aprova o projeto preliminar e autoriza a fabricação dos modelos de engenharia.

3.5.4 Fase C

Durante a fase C o modelo de engenharia (EM) dos equipamentos e do subsistema e os modelos de qualificação (QM) de cada equipamento que compõe o subsistema são construídos e verificados. Na fase C ocorrem duas revisões: a revisão crítica do projeto - CDR e a revisão de qualificação - QR. Na CDR os resultados de teste funcionais aplicado no Modelo de Engenharia e a documentação atualizada de projeto, fabricação e testes são revistos. A CDR aprova o projeto detalhado e autoriza a fabricação do modelo de qualificação. Na QR os resultados dos testes funcionais e ambientais aplicados no modelo de qualificação e a documentação atualizada de projeto, fabricação e testes são revistos. A QR autoriza a fabricação dos modelos de vôo.

3.5.4.1 Modelo de Engenharia

O EM dos equipamentos e do subsistema são submetidos a testes funcionais e de desempenho com o objetivo de verificar sua conformidade com os respectivos documentos de especificação. A Tabela 3.4 e a Tabela 3.5 apresentam a matriz de teste da CTU onde são relacionados os testes funcionais que devem ser aplicados ao equipamento.

Tabela 3.4 - Matriz de teste do equipamento CTU (continua na Tabela 3.5)

REQUIREMENTS TESTS	MAXIMUM		VIBRATION									THERMAL VACUUM			FUNCTIONAL TESTS			
	MINIMUM		TB	TD	TA	TB	TD	TA	TB	TD	TA	TB	TD	TA				
	Functional/Electrical Reference Test	Maximum Voltage Tests	Minimum Voltage Tests	Functional Tests	Physical Properties	Acceleration	Functional Tests	Random Vibration	Sinusoidal Vibration	Mechanical Shock	Functional Tests	Thermal Vacuum Cycling						
ISOLATION	X																	
BOX RESISTENCE	X																	
IN - RUSH CURRENT	X	X	X															
OUTPUT IMPEDANCE	X																	
OVER VOLTAGE	X																	
SHORT CIRCUIT	X																	
LOAD CURRENT	X																	
POWER CONSUMPTION	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
RS 232 SERIAL COMMUNICATION	X			X		X							X					X
OBC SELF-TEST	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
MEMORY ERROR DETECTION AND CORRECTION	X			X		X							X					X
MEMORY AREA PROTECTION INTERRUPTION	X			X		X							X					X
TIME BASE AND ONE SECOND INTERRUPTIONS	X			X		X							X					X
MIL-STD-1553B SERIAL DATA BUS	X	X	X	X		X	X	S	X	X	S	X		X	X	X	X	X
SERIAL LOAD COMMAND RECEPTION	X	X	X	X		X	X	S	X	X	S	X		X	X	X	X	X
VIDEO TELEMETRY TRANSMISSION	X	X	X	X		X	X	S	X	X	S	X		S	X	X	X	X
MEMORY BANK SWITCHING	X			X		X								X				X
WATCH-DOG	X			X		X								X				X
INTERNAL REDUNDANT UNIT SWITCHING	X	X	X	X		X	X	S	X	S	X			X	X	X	X	X
ANALOG AND BI-LEVEL TELEMETRIES	X			X		X								X				X

3.5.4.2 Modelo de Qualificação

Os QM de cada um dos equipamentos que compõem o subsistema são submetidos a testes funcionais e ambientais com o objetivo de verificar sua conformidade com as condições de operação enfrentadas durante sua vida. A Tabela 3.6 apresenta os testes que devem ser aplicados ao QM dos equipamentos.

Tabela 3.5 - Matriz de teste do equipamento CTU (continuação da Tabela 3.4)

REQUIREMENTS TESTS	EM/EMC																					Funcional/Electrical Reference Test
	TB	TD	TA	TB	TD	TA	TB	TD	TA	TB	TD	TA	TB	TD	TA	TB	TD	TA	TB	TD	TA	
	CE102-Power Leads, 10kHz to 10MHz			CS101-Power Leads, 30Hz to 150kHz			CS114-Bulk Cable Injection, 10kHz to 200MHz			CS115-Bulk Cable Injection, Impulse Excitation			CS116-Damped Sinusoidal Transient, Cable and Power Leads, 10kHz to 100MHz			RE102-Electric Field, 10kHz to 18GHz			RS103-Electric Field, 2MHz to 40GHz			
ISOLATION																						x
BOX RESISTENCE																						x
IN - RUSH CURRENT																						x
OUTPUT IMPEDANCE																						x
OVER VOLTAGE																						x
SHORT CIRCUIT																						x
LOAD CURRENT																						x
POWER CONSUMPTION	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
RS 232 SERIAL COMMUNICATION																						x
OBC SELF-TEST	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
MEMORY ERROR DETECTION AND CORRECTION																						x
MEMORY AREA PROTECTION INTERRUPTION																						x
TIME BASE AND ONE SECOND INTERRUPTIONS																						x
MIL-STD-1553B SERIAL DATA BUS	S		x	S	x	x	S	x	x	S	x	x	S	x	S	x	S	x	S	x	S	x
SERIAL LOAD COMMAND RECEPTION	S		x	S	x	x	S	x	x	S	x	x	S	x	S	x	S	x	S	x	S	x
VIDEO TELEMETRY TRANSMISSION	S		x	S	x	x	S	x	x	S	x	x	S	x	S	x	S	x	S	x	S	x
MEMORY BANK SWITCHING																						x
WATCH-DOG																						x
INTERNAL REDUNDANT UNIT SWITCHING	S		x	S	x	x	S	x	x	S	x	x	S	x	S	x	S	x	S	x	S	x
ANALOG AND BI-LEVEL TELEMETRIES																						x

Tabela 3.6 - Teste que devem ser aplicados ao QM dos equipamentos

Testes	Justificativa / Comentários
<i>Propriedades físicas</i>	<i>Demonstrar que as características físicas do equipamento fabricado estão conforme as suas especificações.</i>
<i>Funcional e desempenho</i>	<i>Demonstrar que as características funcionais e de desempenho do equipamento em todas as suas condições de operação estão conforme com as suas especificações.</i>
<i>Aceleração</i>	<i>O equipamento deve ser submetido a aceleração durante o lançamento.</i>
<i>Vibração senoidal</i>	<i>O equipamento deve ser submetido a excitações senoidais durante o lançamento.</i> <i>Um conjunto reduzido de testes funcionais deve ser aplicado durante este ensaio, pois o equipamento é mantido ligado durante toda a missão inclusive durante o lançamento. O conjunto de testes deve ser definido levando em consideração a cobertura dos testes e o tempo necessário para sua aplicação.</i>
<i>Vibração randômica</i>	<i>O equipamento deve ser submetido a excitações randômicas durante o lançamento.</i> <i>Um conjunto reduzido de testes funcionais deve ser aplicado durante este ensaio, pois o equipamento é mantido ligado durante toda a missão inclusive durante o lançamento. O conjunto de testes deve ser definido levando em consideração a cobertura dos testes e o tempo necessário para sua aplicação.</i>
<i>Choque</i>	<i>O equipamento deve ser submetido a choques durante o lançamento e operação do satélite em órbita.</i> <i>Um conjunto reduzido de testes funcionais deve ser aplicado durante este ensaio, pois o equipamento é mantido ligado durante toda a missão inclusive durante o lançamento. O conjunto de testes deve ser definido levando em consideração a cobertura dos testes e o tempo necessário para sua aplicação.</i>
<i>Corona e arco</i>	<i>O equipamento deve estar ligado durante o lançamento.</i>
<i>Vácuo-térmico</i>	<i>O equipamento deve operar no vácuo em diferentes condições de temperatura.</i> <i>Um conjunto reduzido de testes funcionais deve ser aplicado durante este ensaio. O conjunto de testes deve ser definido levando em consideração a cobertura dos testes, a quantidade de sinais que podem ser passados pelos conectores da câmara e o tempo necessário para sua aplicação.</i>
<i>EMC/ESD CE102, CS101, CS114, CS115, CS116, RE102, RS103</i>	<i>O equipamento deverá ser submetido a ambiente que pode apresentar interferências e conter outros equipamentos susceptíveis a interferências.</i> <i>Um conjunto reduzido de testes funcionais deve ser aplicado durante o ensaio de susceptibilidade. O conjunto de testes deve ser definido levando em consideração a cobertura dos testes e o tempo necessário para sua aplicação.</i> <i>Durante o ensaio de interferência, o equipamento deve passar por todos os seus modos de operação.</i>

3.5.5 Fase D

Durante a fase D o modelo de vôo (FM) dos equipamentos e do subsistema são construídos e verificados. Os FMs dos equipamentos são submetidos a testes funcionais e ambientais com o objetivo de assegurar sua conformidade com o projeto qualificado e a inexistência de defeitos de fabricação (workmanship). A Tabela 3.7 apresenta os testes que devem ser aplicados ao FM dos equipamentos. O término dos testes do FM é marcado pela revisão de aceitação - AR.

Tabela 3.7 - Teste que devem ser aplicados aos FMs dos equipamentos

Testes	Justificativa / Comentários
<i>Propriedades físicas</i>	<i>Demonstrar que as características físicas do equipamento fabricado estão conforme as suas especificações.</i>
<i>Funcional e desempenho</i>	<i>Demonstrar que as características funcionais e de desempenho do equipamento em todas as suas condições de operação estão conforme com as suas especificações e detectar qualquer condição anômala.</i>
<i>Vibração randômica</i>	<i>Detectar defeitos de fabricação e mão de obra. O equipamento deve ser submetido a excitações randômicas durante o lançamento.</i> <i>Um conjunto reduzido de testes funcionais deve ser aplicado durante este ensaio, pois o equipamento é mantido ligado durante toda a missão inclusive durante o lançamento. O conjunto de testes deve ser definido levando em consideração a cobertura dos testes e o tempo necessário para sua aplicação.</i>
<i>Choque mecânico</i>	<i>Detectar falhas intermitentes ou persistentes devido a presença de partículas condutivas no interior do equipamento. O equipamento deve ser submetido a choques durante o lançamento e operação do satélite em órbita.</i> <i>Um conjunto reduzido de testes funcionais deve ser aplicado durante este ensaio, pois o equipamento é mantido ligado durante toda a missão inclusive durante o lançamento. O conjunto de testes deve ser definido levando em consideração a cobertura dos testes e o tempo necessário para sua aplicação.</i>
<i>Vácuo-térmico</i>	<i>Detectar defeitos de materiais ou mão de obra através da submissão do equipamento ao ambiente de Termo-Vácuo. O equipamento deve operar no vácuo em diferentes condições de temperatura.</i> <i>Um conjunto reduzido de testes funcionais deve ser aplicado durante este ensaio. O conjunto de testes deve ser definido levando em consideração a cobertura dos testes, a quantidade de sinais que podem ser passados pelos conectores da câmara e o tempo necessário para sua aplicação.</i>

Nesta fase o subsistema também é submetido a testes funcionais e de desempenho com o objetivo de verificar sua conformidade com os respectivos documentos de especificação.

3.5.6 Equipamentos de Suporte

Para testar os equipamentos do subsistema fornecidos pelo INPE (CTU e RTU) foram projetados, construídos e testados equipamentos elétricos de suporte (ESE). Os ESEs são projetados especificamente para cada equipamento do subsistema e devem fornecer energia, estímulos e colher as respostas ou fornecer suporte para que as mesmas sejam registradas durante a integração, testes funcionais e ambientais do equipamento. Os ESEs provêm suporte para testes manuais, semiautomáticos e automáticos do equipamento. A Figura 3.9 mostra o ESE da CTU.



Figura 3.9 - ESE da CTU

Para os testes do subsistema a CAST desenvolveu o ambiente mostrado na Figura 3.10 o qual permite a aplicação de testes funcionais com o objetivo de verificar sua conformidade com os documentos de especificação no nível hardware e software.

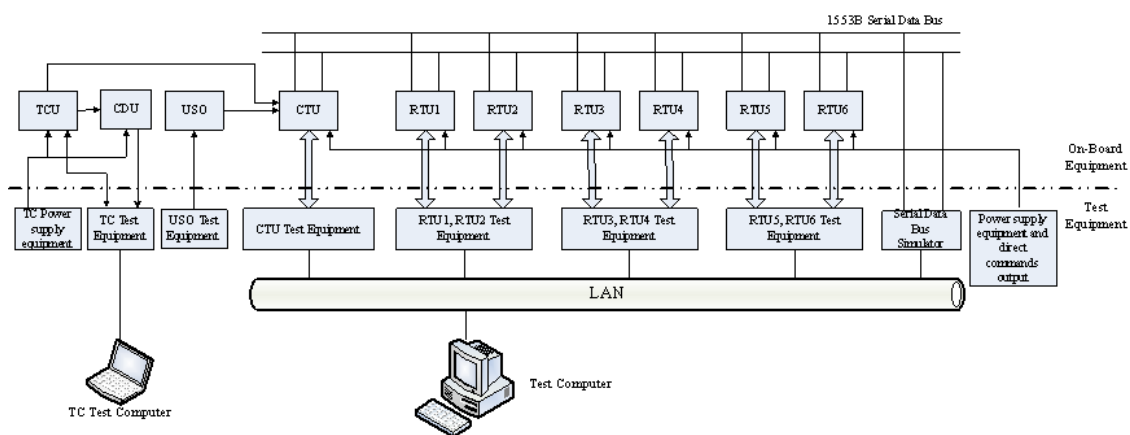


Figura 3.10 - Ambiente para teste do subsistema OBDH

Fonte: Adaptado de CAST (2009)

3.5.7 Verificação do OBDH On Board Software

O desenvolvimento do software do OBDH (OBDH On Board Software - OBDH OBS) é de responsabilidade da CAST. O processo de desenvolvimento inclui a verificação do software por meio de testes e inspeções de código conduzida pela própria CAST. No final do processo de desenvolvimento o INPE realiza de forma independente uma verificação do software desenvolvido pela CAST antes de sua instalação nos equipamentos CTU e RTU. Para isso, foi desenvolvido um ambiente testes e produzida a documentação necessária para a verificação do software: plano, procedimento, e relatórios de teste. O ambiente, mostrado a Figura 3.11, utiliza os ESEs desenvolvidos para o teste dos equipamentos.

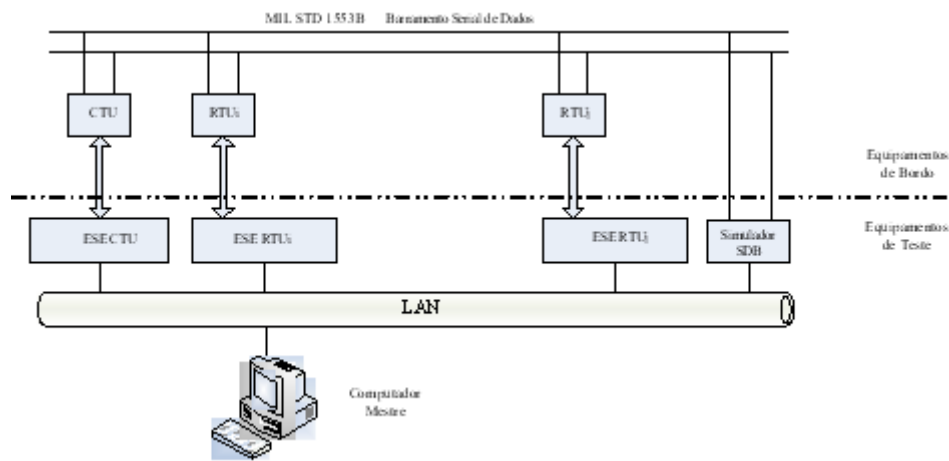


Figura 3.11 - Ambiente desenvolvido pelo INPE para verificação do OBDH OBS
 Fonte: Adaptado de Pessotta e Alonso (2009)

4 CONCLUSÕES

O Subsistema de Gestão de Bordo dos satélites CBERS 3&4 é analisado na perspectiva das disciplinas Engenharia de Sistemas Espaciais, Introdução à Tecnologia de Satélites, Montagem, Integração e Testes de Veículos Espaciais e Engenharia de Requisitos. O trabalho demonstra os conhecimentos adquiridos pelo autor nas disciplinas cursadas procurando proporcionar uma visão o mais abrangente possível do subsistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- WANG, T; WANG, Y. **CBERS 3&4 on board data handling subsystem Specification - RBF-HDS-0006 Rev 02**. Beijing: CAST, 2010. 36p.
- WANG, T; WANG, Y. **On board data handling subsystem software user requirements - RB-SRS-2002(F3/F4)/00(E)**. Beijing: CAST, 2008. 59 p.
- KONO, J; BUENO, L. **CBERS 3&4 program work breakdown structure - R-MNG-0004-00**. Beijing/São José dos Campos: CAST/INPE, 2004. 6p.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS/AGÊNCIA CHINESA DE TECNOLOGIA ESPACIAL (INPE/CAST). **CBERS 3&4 satellite development and test plan - RB-MNG-0002 Rev 03**. São José dos Campos/Beijing, 2005a. 21p.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS/AGÊNCIA CHINESA DE TECNOLOGIA ESPACIAL (INPE/CAST). **CBERS 3&4 satellite specification - RB-HDS-0023 Rev 01**. São José dos Campos/Beijing, 2005b. 28p.
- COSTA FILHO, E.J. **A dinâmica da cooperação espacial sul-sul: o caso do programa CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite)**. Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnológica) – Campinas: IG/UNICAMP, 2006. 326p.
- LOUREIRO, G. **A systems engineering and concurrent engineering framework for the integrated development of complex products**. Doctoral (Thesis in Philosophy)- Loughborough University, Department of Manufacturing Engineering. 1999.
- EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). **Spacecraft data handling interface standards – TTC-B-01**. Issue No. 1. Noordwijk, The Netherlands: ESA. 1979. 134p.
- INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES (IBM). **Get it right the first time: writing better requirements**. IBM Corporation. 2008. 68p.
- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, INC.(IEEE). **IEEE guide for developing system requirements specifications – IEEE Std 1233**. New York, 1998. 36p.
- EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **Space engineering technical requirements specification – ECSS-E-ST-10-06C**. Third issue. Noordwijk, The Netherlands: ESA Requirements and Standards Division. 2009. 31p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS/AGÊNCIA CHINESA DE TECNOLOGIA ESPACIAL/CHINA CENTER FOR RESOURCES SATELLITE DATA AND APPLICATIONS (INPE/CAST/CRESDA). **Interface between CBERS03 and ground image receiving station – Preliminary design review documentation - R-IFS-0005 Rev 00**. São José dos Campos/Beijing, 2005. 56p.

AGÊNCIA CHINESA DE TECNOLOGIA ESPACIAL (CAST). **CBERS 03 OBDH subsystem test procedure - RBFA-TRP-2016(F3)(F4)(E)**. Beijing, 2009. 51p.

PESSOTTA, F. A.; ALONSO, J. D. D. **Requisitos para o ambiente de teste para validação do software de bordo do subsistema OBDH dos satélites CBERS 3 e 4 - RBF-HDS-1087/00**. São José dos Campos: INPE, 2009. 8p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS/AGÊNCIA CHINESA DE TECNOLOGIA ESPACIAL (INPE/CAST). **CBERS 3&4 design and construction specification - RB-DCS-0001 / 03**. São José dos Campos: Beijing, 2007.83p.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, INC.(IEEE). **IEEE standard for application and management of the systems engineering process – IEEE Std 1220**. New York, 2005. 101p.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

LOUREIRO, G. **Material fornecido na disciplina CSE 201-4 Introdução à Engenharia de Sistemas Espaciais.** 1º Período, 2008.

LOUREIRO, G. **Material fornecido na disciplina CSE 302-4 Montagem, Integração e Testes de Veículos Espaciais.** 3º Período, 2008.

SOUZA, P. N. **Material fornecido na disciplina CSE 200-4 Introdução à Tecnologia de Satélites.** 1º Período, 2008.

SOUZA, M. L. O. **Material fornecido na disciplina CSE 201-4 Introdução à Engenharia de Sistemas Espaciais.** 1º Período, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS/AGÊNCIA CHINESA DE TECNOLOGIA ESPACIAL (INPE/CAST). **CBERS 3&4 spacecraft to launcher interface specification - R-IFS-0001/01.** INPE/CAST, 2004. 27p.

Gonçalves, C.; Cividanes, L. **CBERS 3&4 satellite to data collection interface specification - R-IFS-0004/01.** INPE, 2005.16p.

Silva, A. C.; Hübscher, G.; Wen, H. Z. **CBERS 3&4 AIT general requirements - RB-AIT-0001/00.** INPE/CAST, 2009. 79p.

Silva, A. C.; Bin, Z. G. **CBERS FM 3&4 AIT plan - RB-AIT-0002/00.** INPE/CAST, 2009. 197p.

Silva, A. C.; Hübscher, G.; Lu, C. Z. **CBERS FM 3&4 electrical test plan - RB-AIT-0011 / 00.** INPE/CAST,2009. 170p.

GLOSSÁRIO

segmento	Componentes da arquitetura de uma missão
stakeholders	Todo aquele com algum interesse em um sistema, projeto ou missão
módulo carga útil	Módulo do satélite onde estão instaladas as cargas úteis
módulo plataforma	Módulo do satélite onde estão instalados os subsistemas de suporte
dados de bordo	Informação usada para auxiliar a missão – atitude e órbita do satélite, temperatura e estado da carga das baterias, estado e condição das partes do satélite.
dados de missão	Dados gerados, transmitidos ou recebidos pelas cargas úteis

APÊNDICE A - PROJETO MONOGRAFIA

A.1 - Termo de Abertura do Projeto

Termo de Abertura do Projeto		
Título do Projeto: Análise da Arquitetura do Subsistema de Gestão de Bordo dos Satélites CBERS 3&4		
Cliente: Banca Examinadora Exame de Qualificação	Gerente: Fernando Pessotta	Patrocinador: Orientador
Diretrizes para o Projeto (Objetivos e Visão Geral): Demonstrar os conhecimentos adquiridos nas disciplinas cursadas e a capacidade crítica do aluno.		
Resultados Esperados : a) Monografia Análise da Arquitetura do Subsistema de Gestão de Bordo dos Satélites CBERS 3&4; b) Aprovação no Exame de Qualificação;		
Definições Básicas: Escopo: Analisar a Arquitetura do Subsistema de Gestão de Bordo dos Satélites CBERS 3&4 com base os conhecimentos adquiridos nas disciplinas: a) Engenharia de Sistemas Espaciais; b) Introdução à Tecnologia de Satélites; c) Montagem, Integração e Testes de Veículos Espaciais; e d) Engenharia de Requisitos Prazos: 5 meses Recursos: Recursos humanos: 1; Infra-estrutura: Recursos computacionais do INPE, recursos computacionais do gerente do projeto.		
Organização (Organogramas, Papéis): Banca Examinadora; Conselho da Área de Concentração; Conselho do Curso; Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais		
Estratégias (Desafios, Riscos, Plano de Contingência): Desafios e Riscos: a) Escassez de tempo; b) Atrasos no cronograma; Plano de Contingência: a) Dedicção dos fins de semana ao desenvolvimento do projeto; b) Dedicção das férias ao desenvolvimento do projeto;		

Métricas (Indicadores, Qualidade, Marcos de Realização): a) Atraso no cumprimento dos prazos estabelecidos no cronograma;	
Plano de Comunicação: Principais stakeholders a) Gerente do projeto; b) Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais c) Serviço de Pós Graduação; d) Banca Examinadora; e) Orientador.	
Aprovação:	Data:15/12/2009