

**A Concepção do Sistema, a Arquitetura dos Satélites e seus  
Subsistemas**

---

Petrônio Noronha de Souza

**Coordenação Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial – ETE  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
São José dos Campos, SP  
Novembro de 2002**

## 2.1 – A concepção do sistema espacial (\*)

---

- Definições mais importantes tomadas durante a concepção de um sistema espacial:
  - Definição da(s) órbita(s) a ser(em) utilizada(s): geoestacionária, sol-síncrona, equatorial, etc. e da estratégia para a sua manutenção, bem como dos parâmetros com impacto no desenvolvimento da(s) carga(s) útil(eis).
  - Definição das características do(s) satélite(s) (cargas úteis e plataformas), bem como do número de satélites em órbita (no caso do lançamento de uma constelação): **Segmento Espacial**
  - Definição dos sistemas de Comando, Controle e Comunicação, bem como da forma de operação do(s) satélite(s): **Segmento Solo**
  - Lançador(es) a ser(em) utilizado(s): **Segmento Lançador**
- Perguntas a serem respondidas:
  - Como o sistema vai realizar sua missão?
  - Como os dados serão adquiridos (tipo(s) de sensor(es))?
  - Como os dados serão entregues aos usuários finais?
  - Como o sistema será operado?
  - Como os diversos componentes do sistema falam uns com os outros?
  - Qual é o cronograma da missão?
  - Qual o custo estimado?
  - Como o programa vai ser gerenciado (projeto, fabricação, montagem e testes)?

## 2.1 – Arquitetura de Satélites

---

- As atividades de concepção envolvem contribuições de várias disciplinas do conhecimento que devem ser corretamente concatenadas na busca de uma solução que atenda aos requisitos da Missão. Dentre as múltiplas tarefas a serem cumpridas, há três que se destacam no desenvolvimento do Segmento Espacial: Análise de Missão; Arquitetura Mecânica e Arquitetura Elétrica e de Software.
- Arquiteturas de satélites
  - Estabelecidas as características básicas do Segmento Espacial (satélite), passa-se à fase de estabelecimento da **arquitetura** do satélite.
  - O processo de estabelecimento da **arquitetura** de um satélite é uma das fases mais importantes do projeto. É ela que estabelece a ponte entre a concepção geral do segmento espacial e sua efetiva materialização.
  - No início do projeto o “arquiteto” do satélite deve ser capaz de **alocar** requisitos para cada parte que o constitui. Esses requisitos devem ser coerentes com o resto do satélite, de forma que aquela parte cumpra corretamente a sua função. Em fases posteriores do projeto, cabe ao “arquiteto” administrar a distribuição de requisitos e suas eventuais violações.
  - A tarefa de estabelecimento da arquitetura de um satélite é normalmente dividida em pelo menos duas sub-tarefas: **Arquitetura Mecânica e Arquitetura Elétrica e de Software**

## 2.1 – Arquitetura de Satélites (cont.)

---

- Objetivos e metodologia de **Alocação** dos requisitos aos subsistemas:
  - Alocar requisitos a subsistemas e equipamentos é necessário para que se possa desenvolver ou adquirir esses componentes.
  - A alocação de requisitos é feita de modo a que os requisitos em nível de sistema sejam alcançados quando o sistema estiver integrado, prevendo margens para dispersões e incertezas. Por exemplo, assume-se uma incerteza de 20% para parâmetros estimados e 5% para parâmetros já conhecidos.
  - A metodologia para somar as incertezas é a RSS (“root sum square”) ou linear, dependendo do tipo de parâmetro.
- Os resultados do processo de elaboração da arquitetura e alocação dos requisitos de uma satélite são:
  - Diagrama de blocos funcional do satélite.
  - Estimativas para a massa, volume e potência.
  - Configuração mecânica.
  - Balanço de massa e balanceamento dinâmico.
  - Balanço de potência (geração, consumo, profundidades de descarga das baterias).
  - Balanço de “links” de comunicação.
  - Balanço de apontamento.
  - Balanço de massa de propelente.
  - Balanço de capacidade de memória e de processamento.

## 2.1 – Satélites artificiais: Subsistemas

---

A **Plataforma** dos satélites artificiais é dividida em subsistemas. Isto é feito para sistematizar o trabalho de engenharia requerido no projeto, montagem e teste, dividindo-o em áreas de competência. Os subsistemas usualmente encontrados são os seguintes:

### 1. Controle de Atitude (Attitude Determination and Control ou Attitude Control System – ACS)

- **Objetivo:** Controlar o apontamento do satélite no espaço.
- **Partes:** Rodas de reação ou volantes de inércia, bobinas magnéticas, sensores de Sol, de Terra, de estrelas, magnetômetros e giroscópios.

### 2. Suprimento de Energia (Electrical Power and Distribution)

- **Objetivo:** Fornecer a energia necessária aos diversos subsistemas.
- **Partes:** Painéis solares e seus diversos acessórios, conversores e baterias.

### 3. Telecomunicação de Serviço (Telemetry, Tracking and Command)

- **Objetivo:** Enviar e receber os dados que permitem o acompanhamento do funcionamento e o comando do satélite.
- **Partes:** Transmissores, receptores e antenas.

### 4. Gestão de Bordo (Command and Data Handling)

- **Objetivo:** Processar as informações recebidas da ou a serem enviadas para a Terra e as informações internas ao satélite.
- **Partes:** Computador(es) de bordo e seu software.

## 2.1 – Satélites artificiais: Subsistemas (cont.)

### 5. Estrutura e Mecanismos (Structures and Mechanisms)

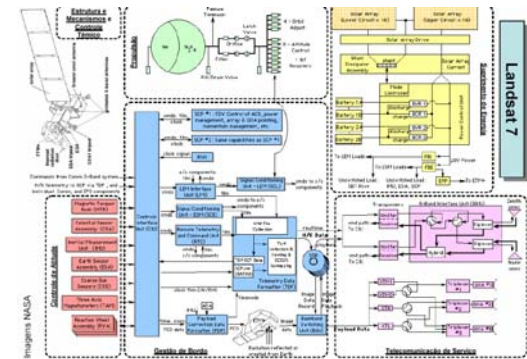
- **Objetivo:** Fornecer o suporte mecânico e de movimento para as partes do satélite. Também oferecer proteção contra as vibrações de lançamento e contra a radiação em órbita.
- **Partes:** Estrutura primária e estruturas secundárias, mecanismos de abertura de painéis solares e de separação do lançador, mecanismos de abertura de antenas, dispositivos pirotécnicos, mecanismos de extensão, alinhamento e suspensões com amortecedores.

### 6. Controle Térmico (Thermal Control)

- **Objetivo:** Manter os equipamentos dentro de suas faixas nominais de temperatura.
- **Partes:** Aquecedores, “heat-pipes”, isoladores, pinturas e radiadores.

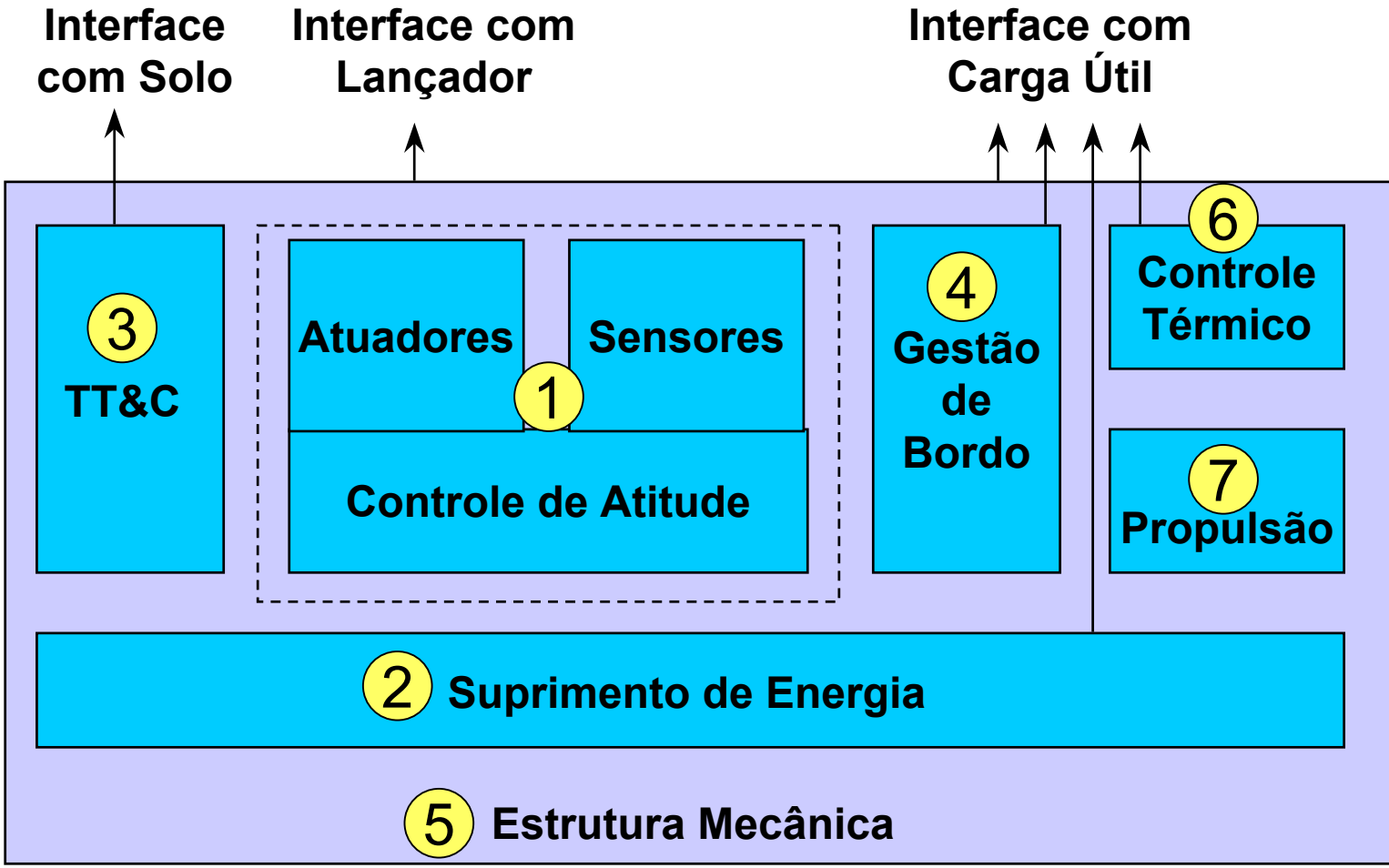
### 7. Propulsão (Propulsion)

- **Objetivo:** Fornece o empuxo necessário para o controle da atitude e da órbita.
- **Partes:** Bocais ou tubeiras, válvulas, reservatórios e tubulações.



Exemplo de diagrama de blocos dos subsistemas de um satélite.

# 2.1 – Subsistemas do corpo principal de um satélite (Segmento Espacial), [8]



## 2.1 – Fatores que influenciam a especificação de satélites artificiais

---

- Dimensão (**Size**) e Massa (**Weight**)
  - Usualmente cresce com as demandas associadas às cargas úteis e/ou à vida (necessidades de combustível e potência elétrica). É limitada pela capacidade do lançador escolhido.
- Potência requerida (**Power**)
  - Cresce com as demandas das cargas úteis e é limitado por fatores como peso e dimensão.
- Taxa de transferência de dados (**Data Rate**)
  - Está associada à missão e é limitada pela capacidade de processamento e armazenamento de dados a bordo, bem como à capacidade do sistema de transmissão para o solo.
- Sistema de comunicação (**Communications**)
  - Associado à carga útil e à missão. É limitado pela disponibilidade de estações de solo.
- Apontamento (**Pointing** ou **Attitude**)
  - Associado à carga útil e à missão. É limitado por fatores como custo e massa.
- Número de satélites
  - Associado à missão e é limitado pelo custo.



## 2.1 – Fatores que influenciam a especificação de satélites artificiais (cont.)

---

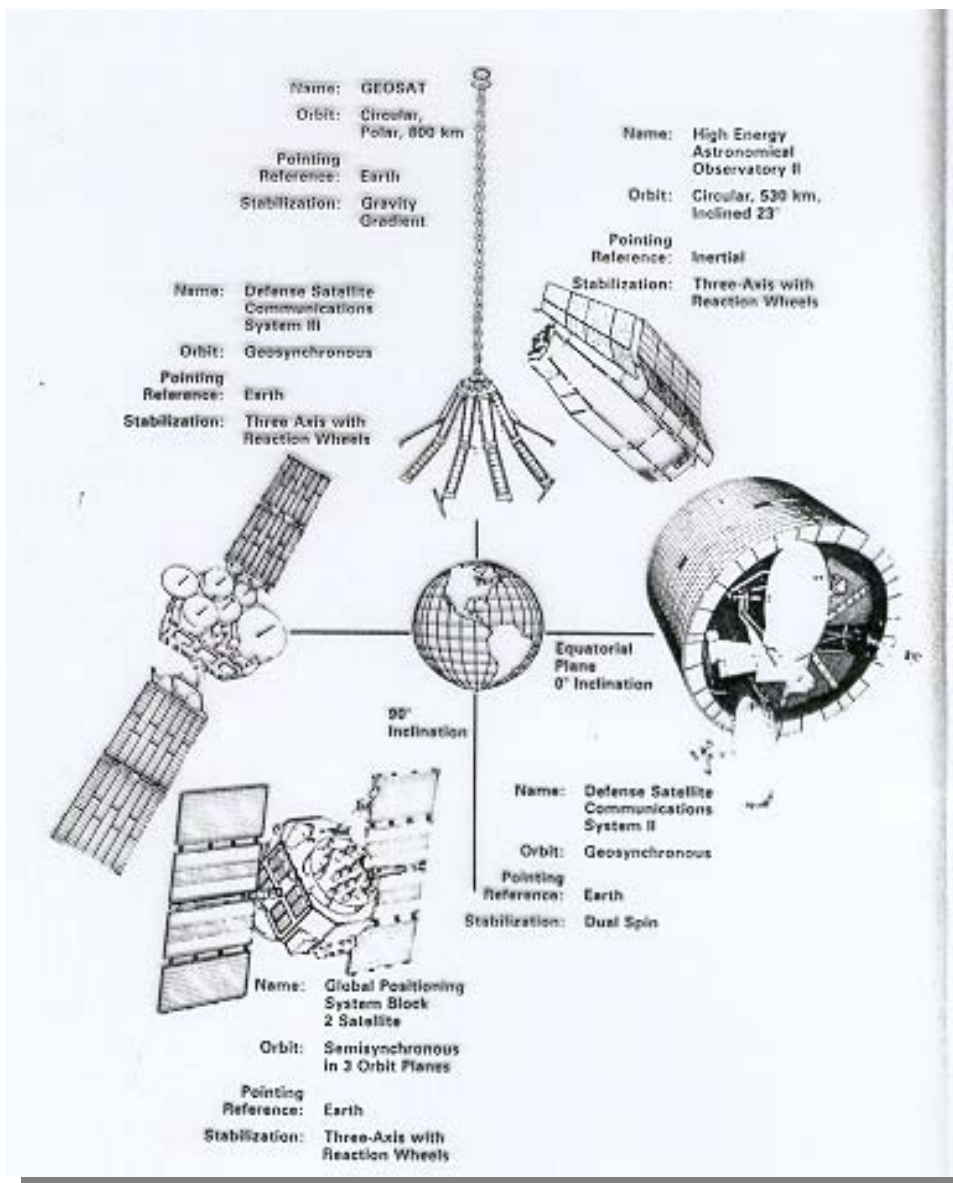
- **Altitude (Altitude)**
  - Associada à carga útil e à missão e limitado pelo lançador e massa do satélite.
- **Cobertura (Coverage)**
  - Associada à missão e limitado pela órbita e campo de visada da carga útil.
- **Programação das passagens (Scheduling)**
  - Associada à missão.
- **Operações (Operations)**
  - Associadas ao nível de autonomia do satélite (dependência maior ou menor do solo). São limitadas pela disponibilidade de comunicação, pessoal e custo.

## 2.1 – Arquitetura Mecânica (\*)

---

- Como **Arquitetura Mecânica** é designada genericamente a atividade de engenharia de sistemas relacionada com a integração mecânica entre os subsistemas do satélite.
- Atividades e resultados da tarefa de Arquitetura Mecânica:
  - Estabelecer a concepção mecânica do satélite.
  - Definir e gerenciar o “layout mecânico”.
  - Preparar e acompanhar a distribuição (ou “budget”) de propriedades de massa.
  - Gerenciar os subsistemas de **Estruturas e Mecanismos** e de **Controle Térmico**.
  - Elaborar documentação de especificação.
  - Gerenciar a interface com os responsáveis pelas atividades de integração e testes.
  - Gerenciar a interface com a Agência Lançadora.
  - Gerenciar as atividades de testes dos modelos estrutural e térmico e de montagem da maquete do satélite (quando existentes).
  - Realizar as análises preliminares de viabilidade.
  - Estabelecer as margens para a acomodação de modificações.
  - Prever as necessidades das atividades de manuseio (montagem integração e testes – AIT).
  - Avaliar as tecnologias disponíveis versus custo.
  - Negociar as limitações de massa e envelope dinâmico do lançador.
  - Negociar os requisitos da(s) Carga(s) Útil(eis) e da plataforma.
  - Determinar os requisitos para a sobrevivência aos ambientes presentes em todas as fases do programa.

## 2.1 – Arquitetura mecânica: Exemplos, [4]



A figura apresenta cinco satélites diferentes.

As diferenças manifestam-se nas órbitas adotadas, no tipo de estabilização e na direção do apontamento.

As diferentes configurações são o resultado de processos de engenharia que visam obter um projeto que cumpra os requisitos de desempenho e confiabilidade a um custo mínimo (para o próprio satélite e para seu lançamento e operação).

## 2.1 – Arquitetura Elétrica e de Software (\*)

---

- Como **Arquitetura Elétrica e de Software** é designada genericamente a atividade de engenharia de sistemas relacionada com as interligações elétricas e por meio de software entre os subsistemas do satélite.
- Atividades e resultados da tarefa de Arquitetura Elétrica e de Software:
  - Elaborar diagramas de blocos do funcionamento do satélite.
  - Dimensionar o subsistema de **Suprimento de Energia**.
  - Planejar e gerenciar a integração elétrica (cablagem, aterramento).
  - Planejar e gerenciar a integração de software.
  - Avaliar o impacto dos requisitos de Compatibilidade Eletromagnética.
  - Estabelecer e gerenciar as interfaces elétricas e de software internas ao satélite (entre os subsistemas).
  - Estabelecer e gerenciar as interfaces elétricas e de software externas ao satélite (com o ambiente de testes, de solo e com o lançador).

## 2.1 – Arquitetura Elétrica e de Software: Exemplo de diagrama de blocos, [2]

Subsistemas

2

5

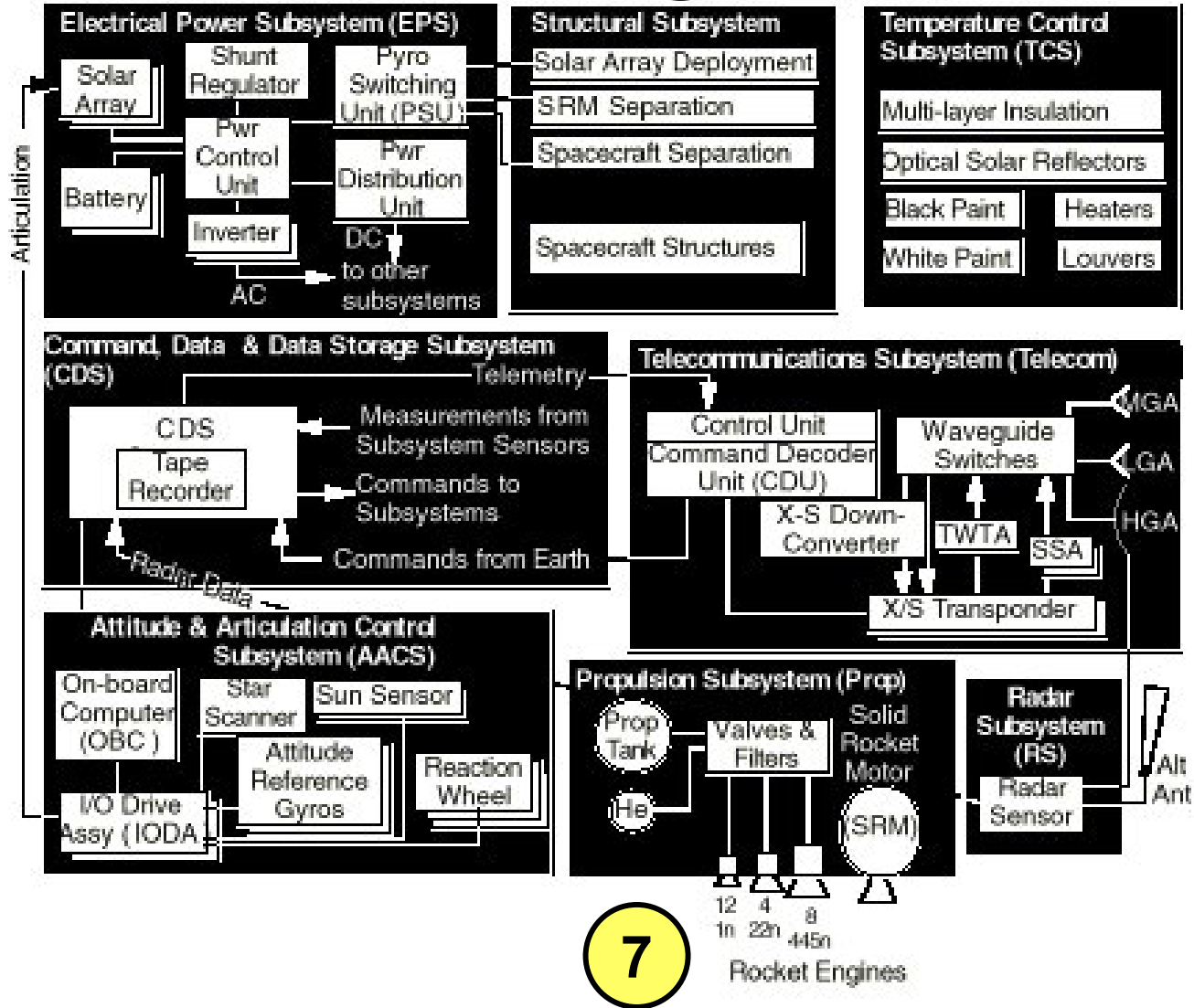
1

Block Diagram of Magellan Space Flight System

6

3

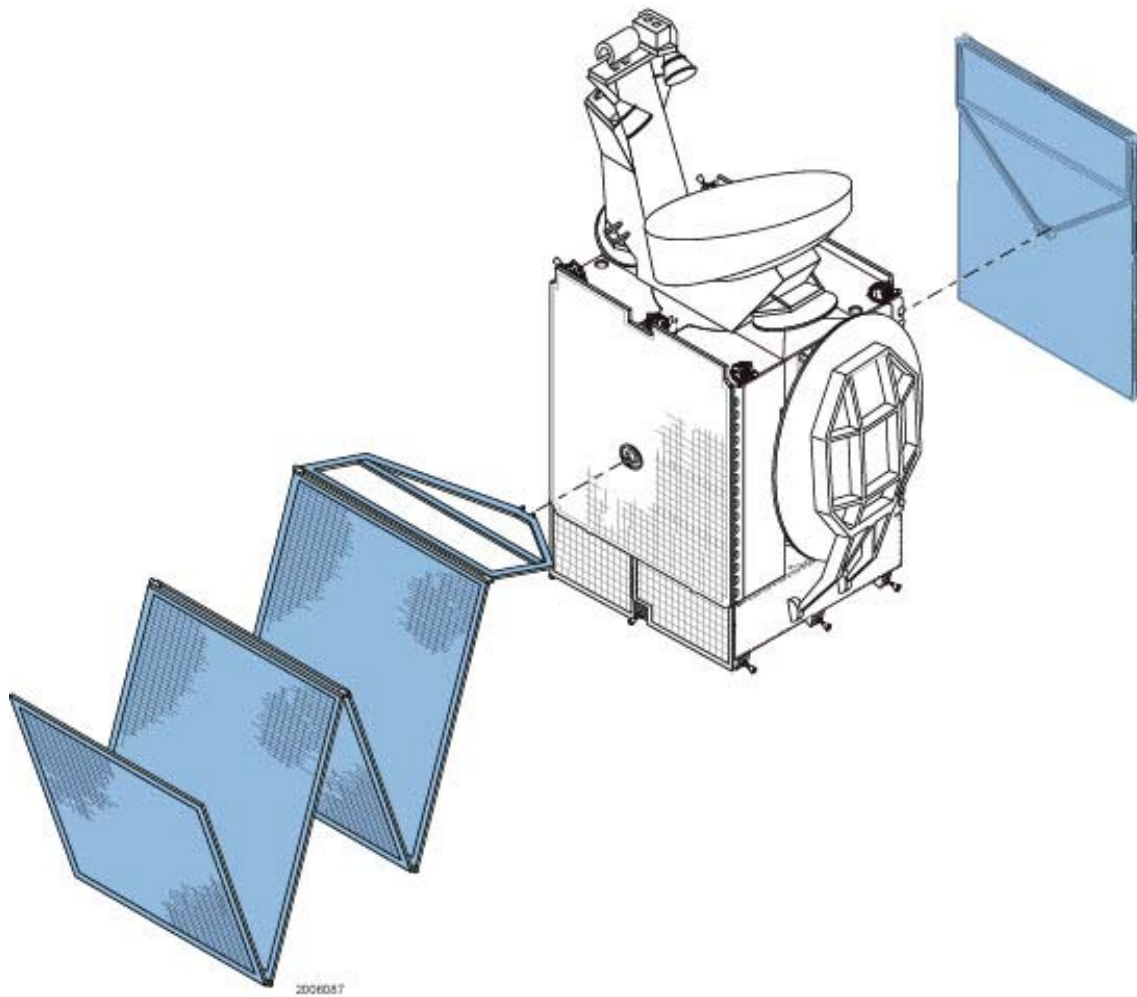
4



7

## 2.1 – Exemplo da arquitetura e integração de um satélite de comunicações (\*) (cont.)

### SOLAR ARRAY INTEGRATION

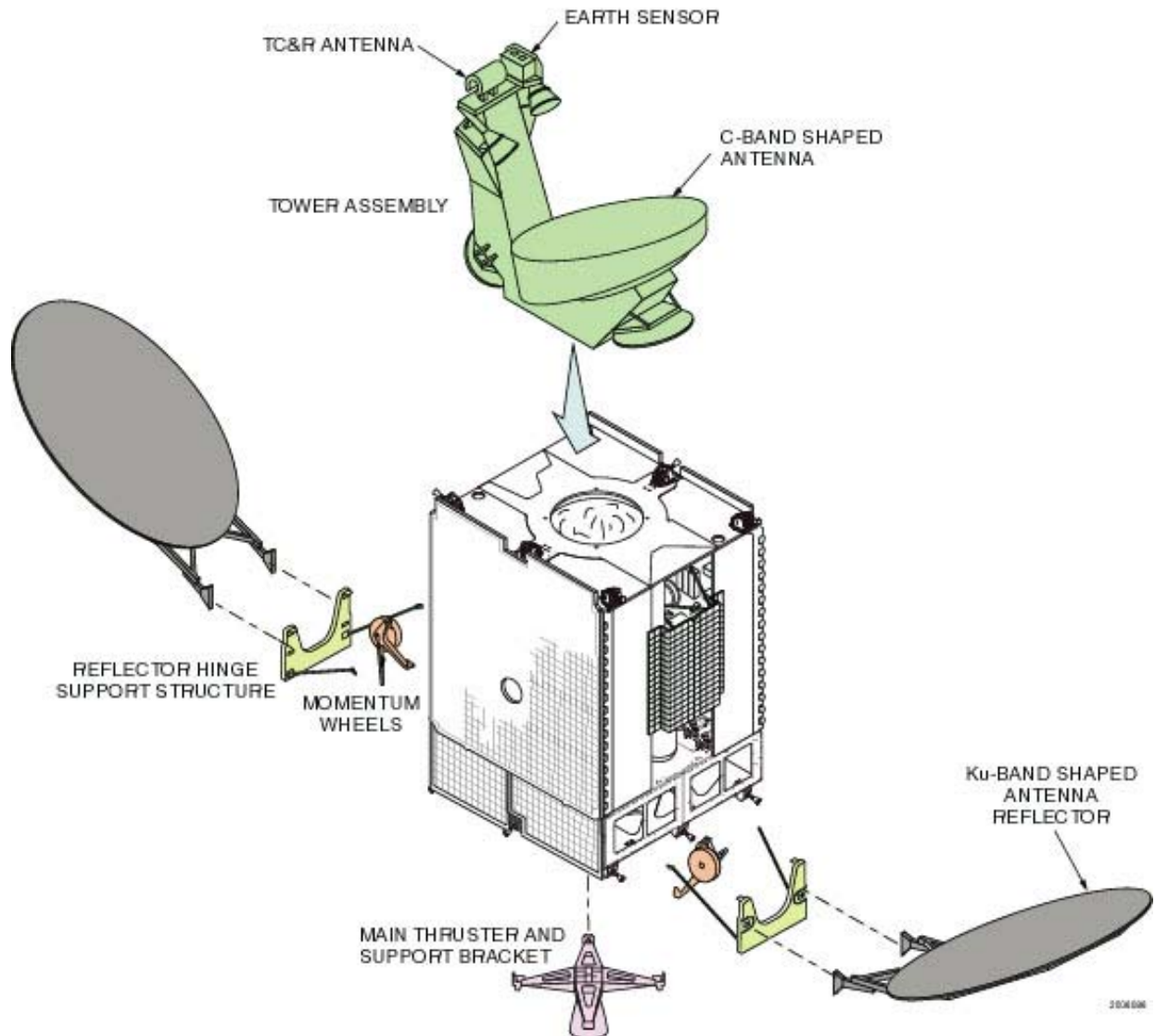


Satélite completo

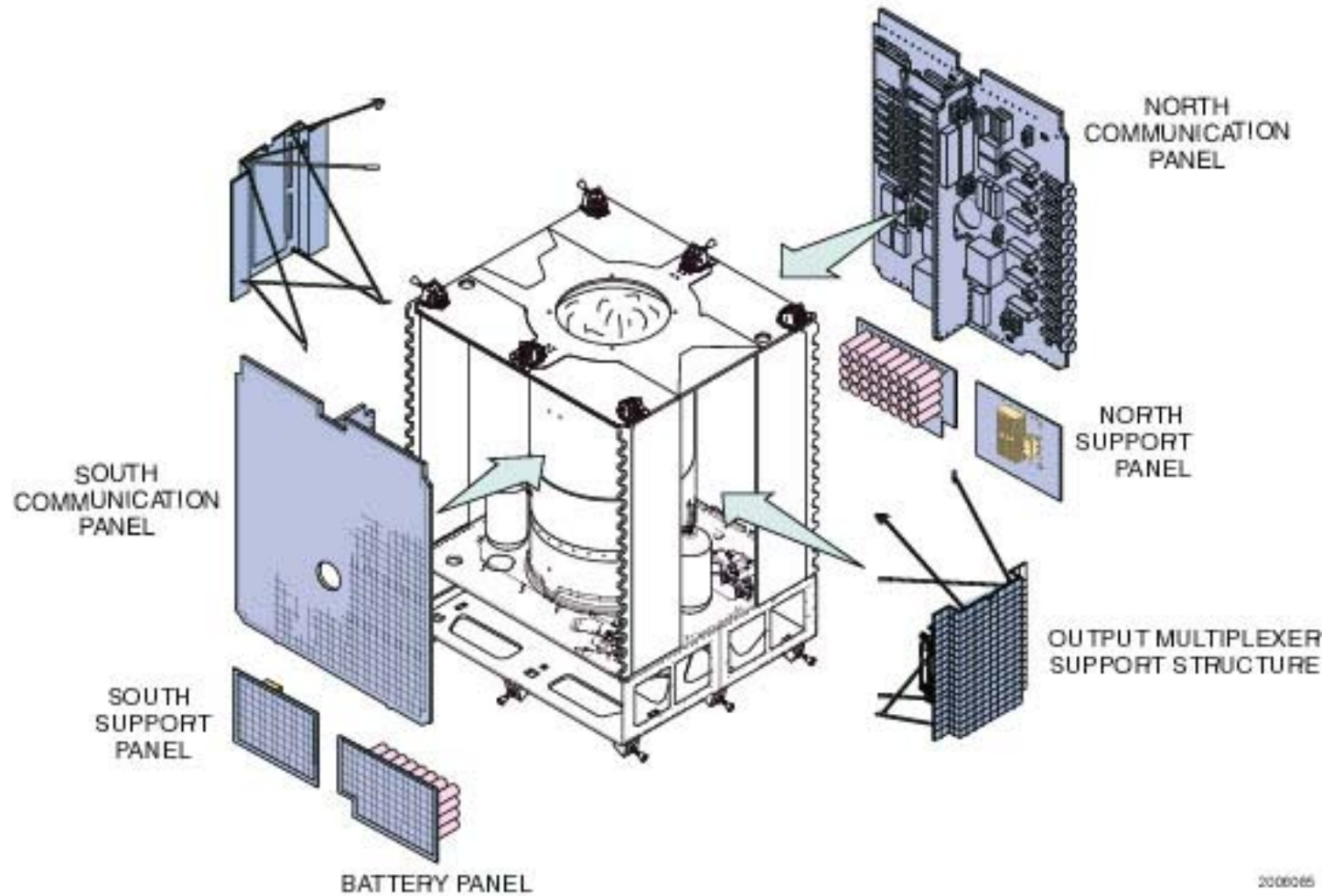


# 2.1 – Exemplo da arquitetura e integração de um satélite de comunicações (cont.)

## TOWER/ANTENNA INTEGRATION



### MAINBODY INTEGRATION

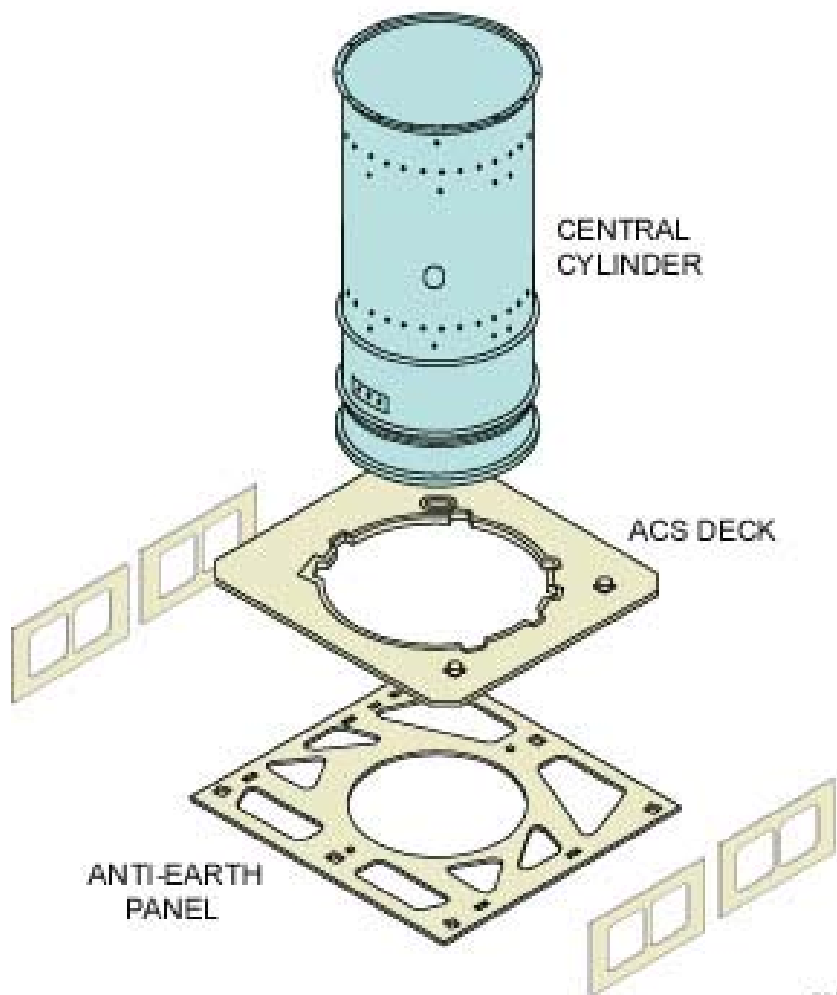


2008065

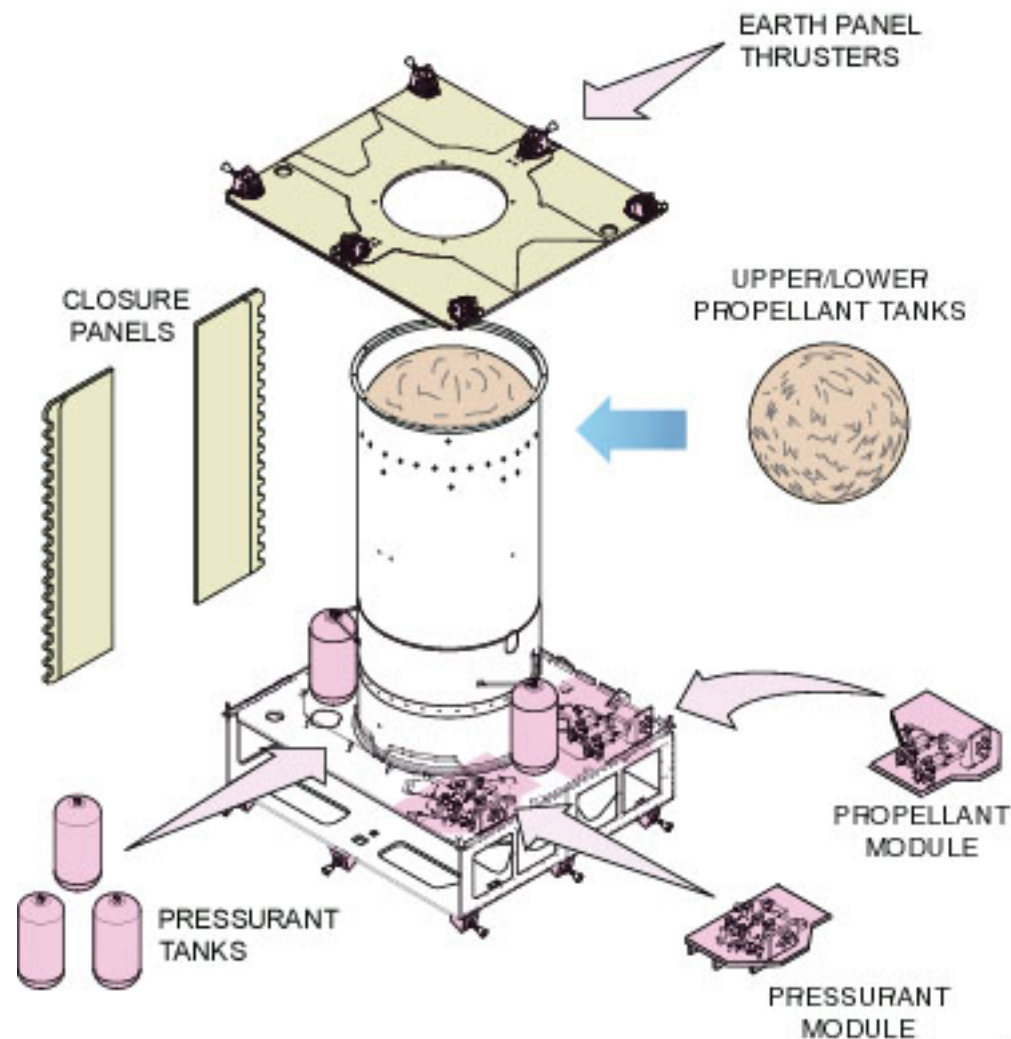


## 2.1 – Exemplo da arquitetura e integração de um satélite de comunicações (cont.)

### STRUCTURE INTEGRATION



### PROPULSION INTEGRATION



# 2.1 – Exemplo da arquitetura e integração de um satélite de comunicações

