

# Introdução aos Nanossatélites e Cubesats

Walter Abrahão  
Lázaro Camargo  
DIPST - INPE SJC

# COMM

# Comunicações

Design de comunicação

Requisitos e  
Objetivos da Missão

Geometria, Orbita,  
Controle, Serviço e  
Payload

- Descrever os principais componentes
- Identificar interfaces elétricas
- Estimativa preliminar de custos

- Tecnologias dos: transponders, transceivers e das antenas
- Tecnologia de amplificação
- Tecnologia da rede
- Balanço de performance x custo x massa

- Inicia a alocação de frequência que atende aos elementos de comunicação.

1. Definição dos  
requisitos e restrições

2. Analise preliminar do  
link para dimensionar o  
subsistema

3. Desenvolver o  
diagrama de blocos

4. Balanço e seleção dos  
equipamentos que  
atendem

5. Balanço, definição e  
refinamento das opções

6. Iniciar o processo de  
alocação de frequência

7. Documentar

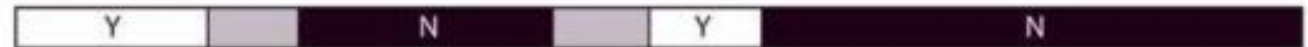
- Redundância
- Compatibilidade com Seg. Solo
- Distancia da estação
- Volume e frequência dos dados
- Faixa de frequência.
- Cobertura da Antena
- Padronização
- Restrições de potência e massa
- Interfaces elétricas e de comunicação
- Ambiente Espacial.

- Determinar características da antena e potencia necessária.
- Determinar características médias nos modos de operação.

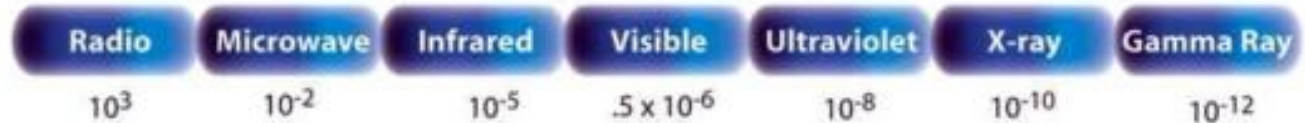
# Espectro

## THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

Penetrates  
Earth  
Atmosphere?



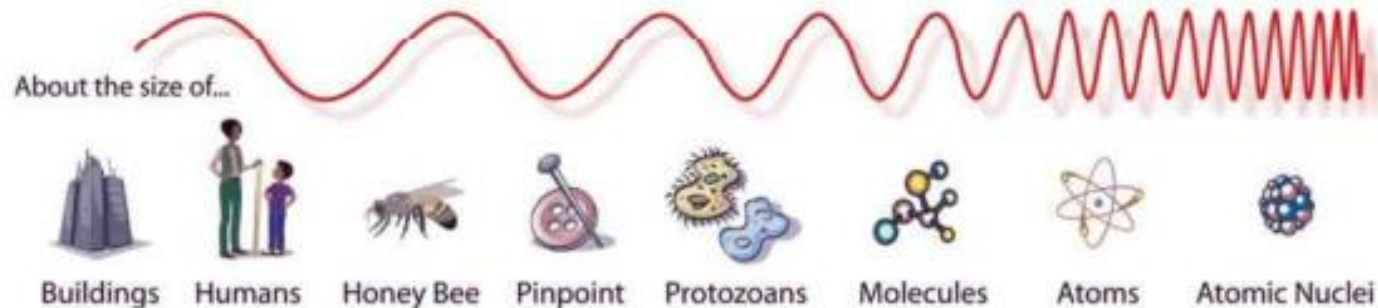
Wavelength  
(meters)



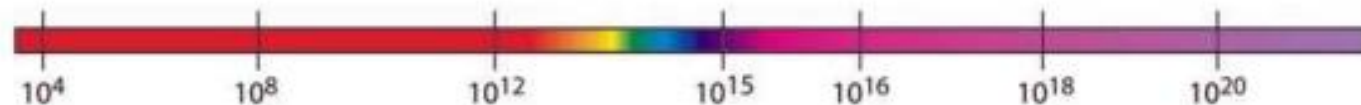
$$\lambda = \frac{c}{f} = c.T$$

c – veloc. luz  
 f - frequência  
 $\lambda$  – compr. onda

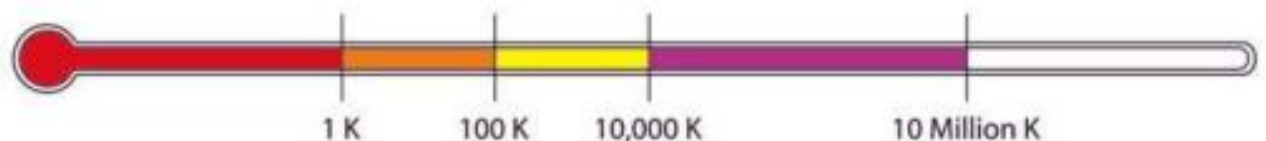
About the size of...



Frequency  
(Hz)



Temperature  
of bodies emitting  
the wavelength  
(K)



# Subsistema de TT&C

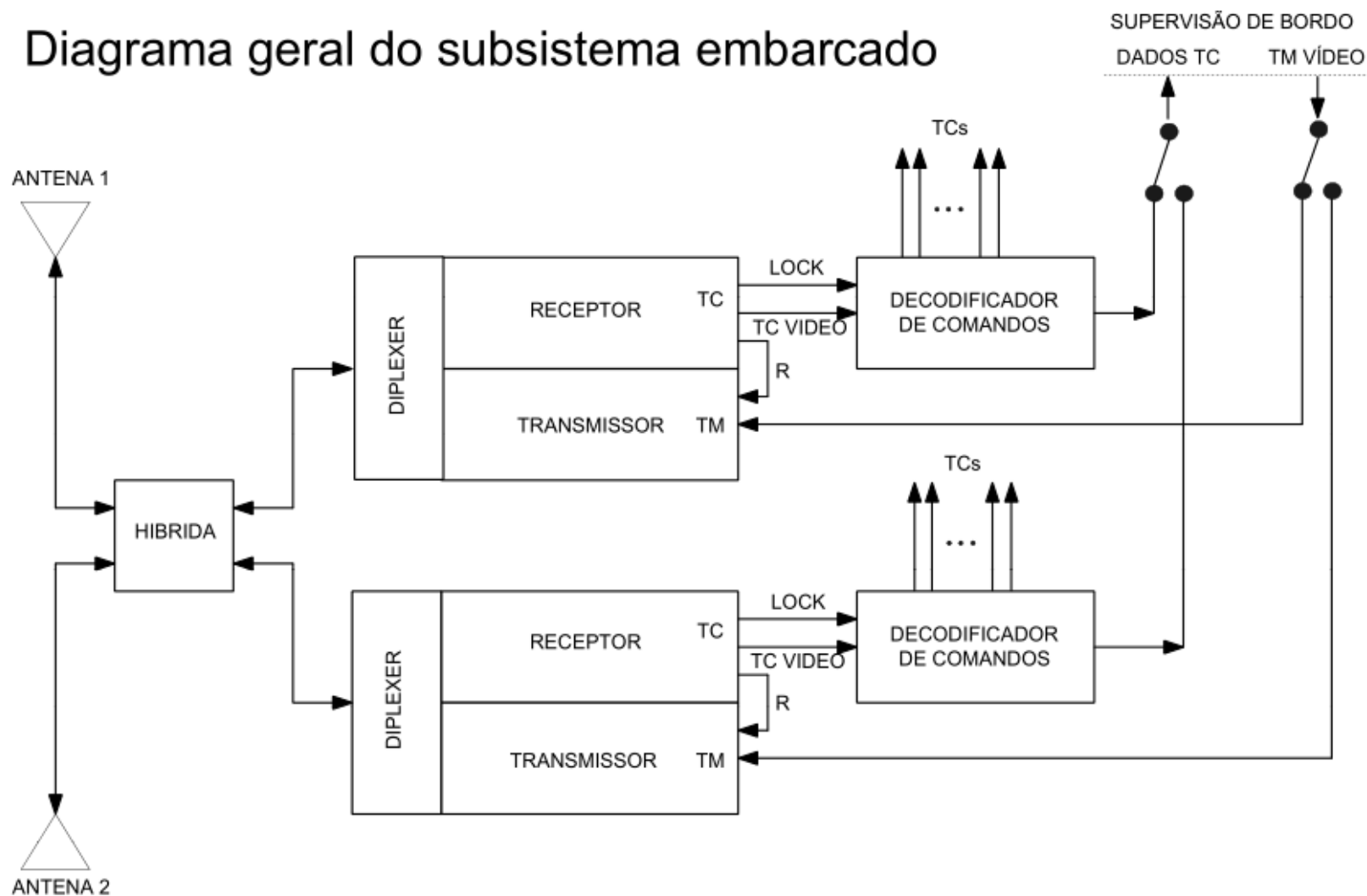
- O subsistema de Telecomunicação de Serviço também é conhecido como:
  - Telemetria, Rastreo, e Comando (“Telemetry, Tracking and Command” – TT&C)
  - Telemetria (TM), Rastreo (R), Telecomando (TC).
- Ele é projetado para permitir que as seguintes funções sejam cumpridas:
  - **Rastreamento:** determina a posição do satélite e segue seu movimento utilizando informações das posições angulares e respectivas velocidades.
  - **Telemetria:** Coleta, codifica e transmite medidas de sensores e dados digitais que caracterizam o estado e a configuração do satélite.
  - **Comando:** Recebe, verifica e executa comandos para o controle remoto das funções do satélite, bem como de sua configuração e movimento.
- O Subsistema de Telecomunicação de Serviço deve assegurar as telecomunicações de serviço entre o Segmento Solo e o Segmento Espacial. A ligação ascendente contém os telecomandos e os tons de localização e a ligação descendente contém as telemetrias e os tons de localização.

# Subsistema de TT&C

- Conceitos básicos em rastreo e controle de satélites:
  - Determinação do Estado (situação) do Satélite por meio de Telemetria (medida à distância) transmitida pelo satélite via rádio frequência.
  - Atuação no satélite através de Telecomando (comando à distância) transmitido pelo Segmento Solo via rádio frequência.
  - Faixa de rádio frequência alocada para Operação Espacial em Banda S (Telecomando em 2025-2120 MHz e Telemetria em 2200-2300 MHz) (ANATEL/UIT União Internacional de Telecomunicações).
- Determinação de órbita através de:
  - Medidas de Distância (“ranging”) entre o satélite e a estação.
  - Medida de Velocidade (“range-rate”) radial do satélite em relação à estação.
  - Medidas Angulares da Antena (azimute, elevação).
- Determinação da atitude do satélite (orientação do satélite no espaço obtido através de dados de sensores a bordo, pertencentes ao Subsistema de Controle de Atitude).

# Diagrama de Blocos

## Diagrama geral do subsistema embarcado

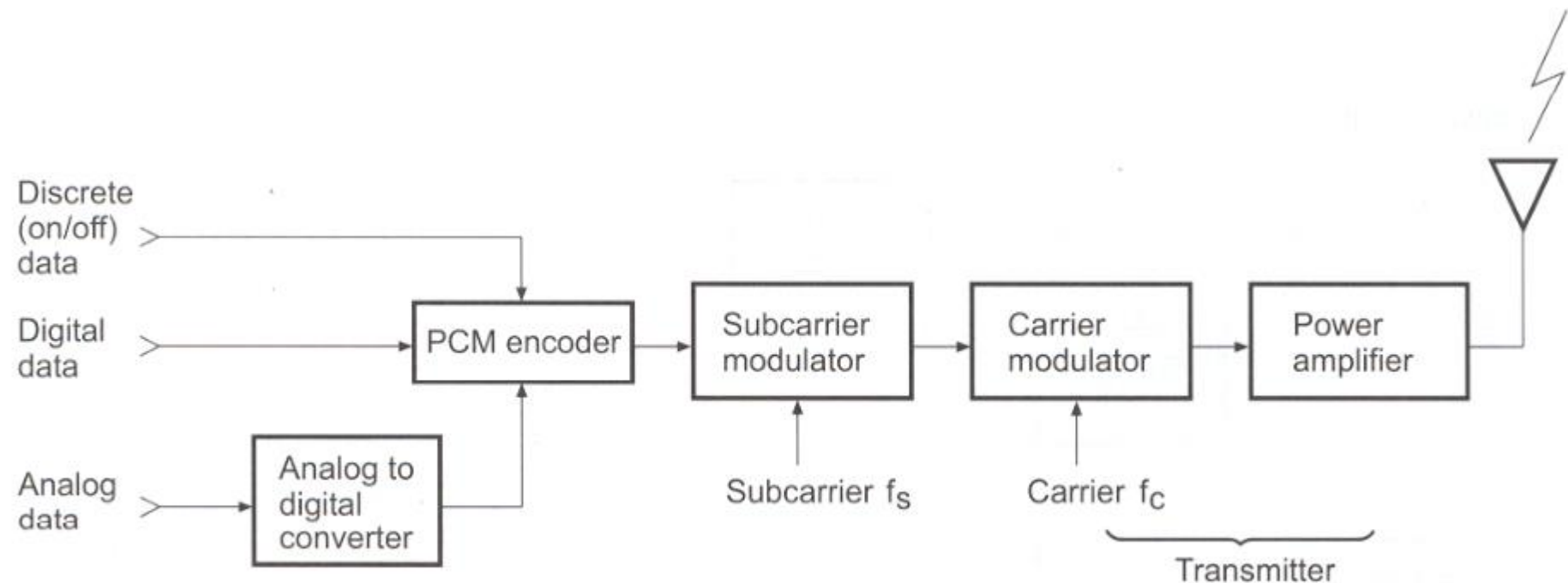


# Telemetria

- A **Telemetria** de um satélite consiste em **medidas de sensores** e dados digitais multiplexados em uma única sequência de dados.
- Os sensores normalmente presentes em satélites medem temperatura, pressão, potência elétrica, corrente, voltagem, frequências, etc.
- As **leituras analógicas** são amostradas periodicamente e convertidas em leituras digitais por meio de conversores A/D (Analógico/Digitais).
- **Dados digitais** são tipicamente posições de chaves, dados da memória e ecos de comandos.
- As taxas de transmissão variam na faixa de 10 bps a 200 kbps (bps = bits por segundo).
- Os dados de telemetria podem ser codificados e encriptados antes da transmissão. Neste caso eles serão decodificados e deencriptados na estação de recepção no solo.
- O processamento nas estações de solo inclui:
  - Demultiplexação dos parâmetros da sequência de dados.
  - Organização dos dados de acordo com o subsistema a que se referem.
  - Conversão para unidades de engenharia.
  - Formatação no display console do centro de controle para acompanhamento em tempo real.
  - Arquivamento.
- Sistemas de solo mais sofisticados calculam tendências estatísticas e fazem a verificação automática de anomalias, podendo disparar alarmes para os operadores.



# Telemetria – Fluxo de Dados

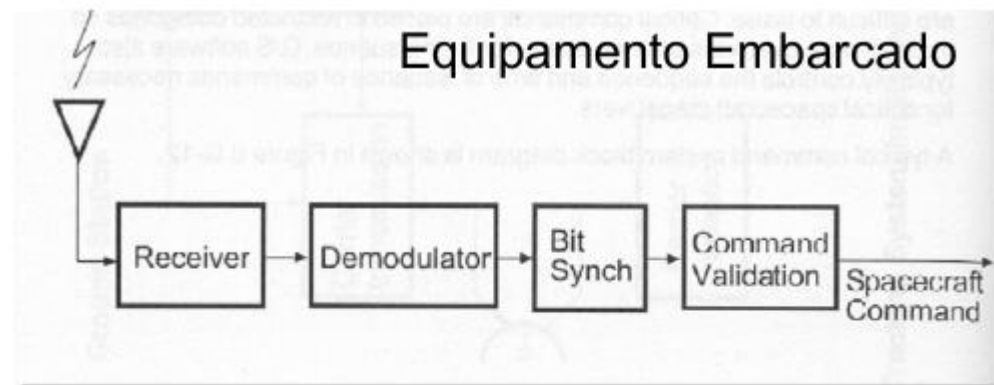


- Other approaches are possible. Selected approach should consider available spacecraft power, equipment complexity, ground station impact, and performance

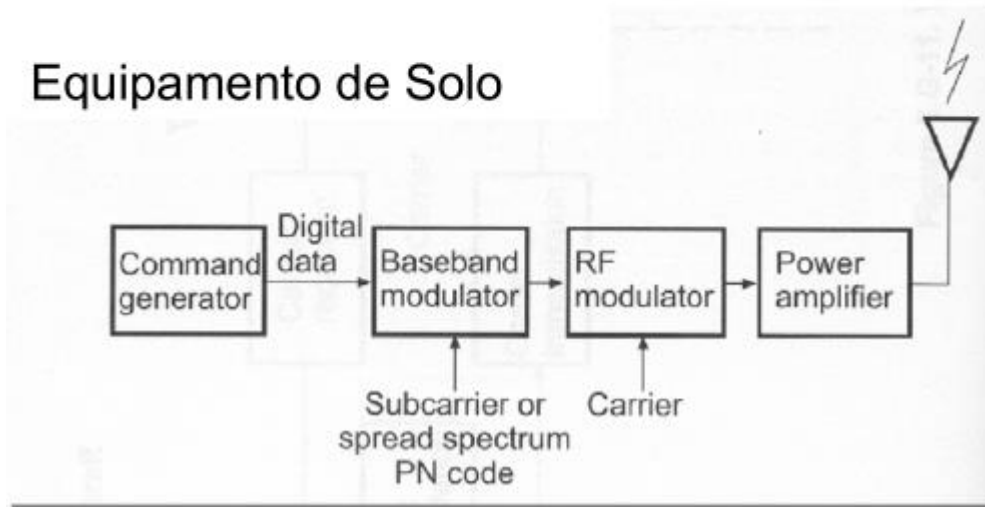
# Telecomando

- As tarefas de **Comando** normalmente demandam baixa taxa de transmissão de dados (10 bps a 20 kbps), mas com alta confiabilidade.
- Os **comandos gerados pelo solo** são codificados e encriptados antes de seu envio. Ao serem recebidos são decodificados, deencriptados e validados para determinar sua autenticidade. Isto previne que padrões aleatórios ou errados venham a ser executados como comandos. Uma vez validados eles são executados e seus efeitos são observados via dados de telemetria. Os comandos recebidos podem ser também reenviados para o solo via telemetria para prover um critério adicional de verificação.
- A **cadeia dos equipamentos de processamento de comandos deve ser cuidadosamente** projetada para evitar “travamentos” acidentais. Redundâncias devem ser configuradas de modo a evitar que pontos únicos de falha impeçam sua recepção.
- O **software de solo é geralmente projetado de forma a dificultar o envio inadvertido de comandos**. Comandos críticos são colocados em categorias restritas que exigem duplicidade de autorizações antes de seu envio. O **software de solo também gerencia a sequência e época de envio de comandos necessários para a execução de manobras críticas**.

# Telecomando – Fluxo de Dados



## Equipamento de Solo



# Rastreo

- Os dados de rastreo são constituídos por informações de **direção** (“direction”), **distância** (“range”) e **taxa de variação da distância** (“range rate”).
- A **direção** é obtida por meio da medida dos ângulos de elevação e azimute das antenas de rastreo. As antenas normalmente possuem sistemas para a determinação da direção que proporciona o sinal mais forte vindo do satélite, que é associado a malhas de controle do tipo “autotrack”, concebidas para seguir automaticamente o movimento do satélite.
- A **distância** é obtida pela medida do tempo (“delay”) que leva para um sinal emitido ir até o satélite e voltar. As antenas enviam sinais de forma contínua. O satélite recebe, extrai o sinal da portadora, remodula e reenvia para o solo, que por sua vez recebe o novo sinal e o correlaciona com o enviado, determinando assim o atraso.
- A **taxa de variação da distância** é determinada por meio de técnicas “doppler”. A aproximação ou o afastamento do satélite em relação à antena no solo faz com que ele observe uma onda com flutuações de frequência para mais (se estiver se aproximando) e para menos (se estiver se afastando). Estas flutuações são detectadas pelo satélite e informadas para o solo, que assim determina a taxa de afastamento ou aproximação na linha de visada entre a antena no solo e o satélite.