

# Introdução aos Nanossatélites e Cubesats

Walter Abrahão  
Lázaro Camargo  
DIPST - INPE SJC

# ADCS

## Determinação e Controle de Orbita e Atitude

Design da Controle de Atitude

Requisitos e Objetivos da Missão

Geometria e Orbita

- Geometria e massa da S/C, acurácia, geometria da orbita, tempo de missão, ambiente espacial, taxas de amostragem, detecção de falhas e redundância.
- Sensores, atuadores, e controle

1.a. Definir modos de Controle  
1.b. Derivar requisitos

- Lista de modos de controle durante a missão
- Requisitos e Restrições

2. Quantificar as perturbações do ambiente

- Geometria, orbita, modelos magnéticos, missão.
- Valores de torques externos e internos.

3. Selecionar o tipo de controle para cada modo

- Necessidades da Carga-útil, térmica, e energia
- Apontamento, perturbações, e precisão
- Métodos de estabilização

4. Selecionar e dimensionar os equipamentos

5. Definir os algoritmos de determinação e controle

- Considerações de performance, determinações de atitude, controles, balanço em relação às limitações.
- Algoritmos e parâmetros para cada modo de determinação e controle.
- Lógica para transição entre os modos.

6. Iterar e documentar

Design da Controle de Navegação

Requisitos e Objetivos da Missão

Geometria e Orbita

## 1. Definir Funções e Requisitos de Trajetória e Navegação

- Os objetivos da missão dependem de navegação?

- Quais são os balaços de apontamento e mapeamento?

## 2. Estimar a precisão do apontamento

- É necessário apenas no segmento solo, ou em múltiplos usuários? É necessário ter controle embarcado?

## 3. Determinar onde a navegação é necessária

## 4. Conduzir balanços de autonomia vs solo

## 5. Selecionar método de navegação

## 6. Determinar se o controle de trajetória é necessário

- Quais são os requisitos que dependem de controle de trajetória?
- Manutenção de orbita?

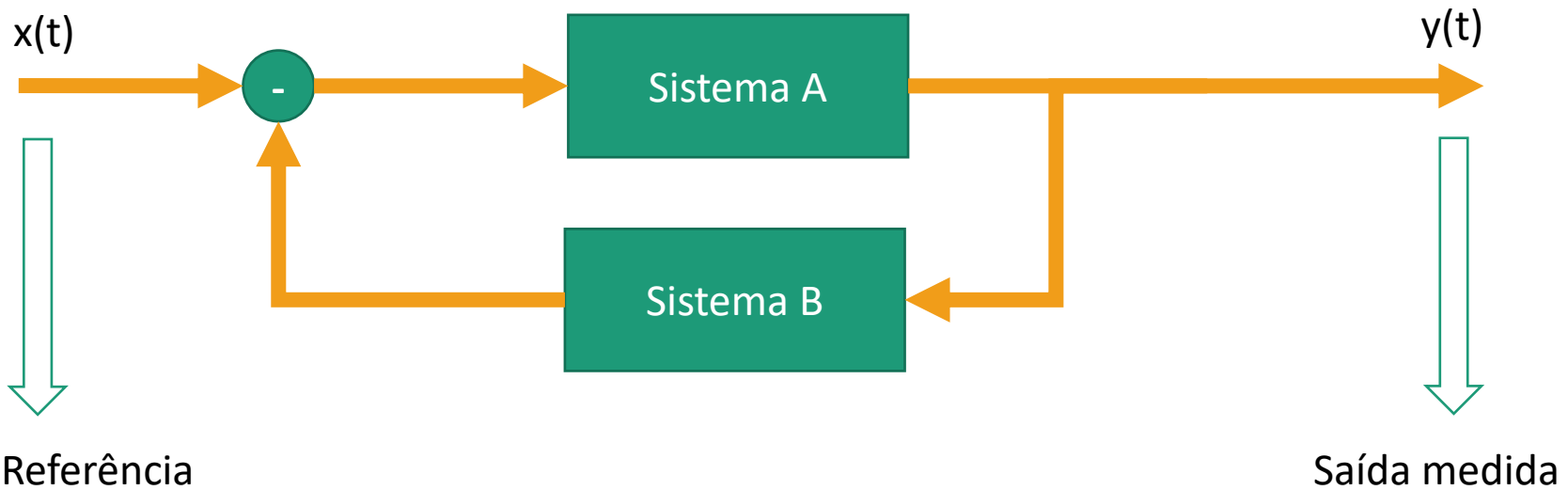
## 7. Se sim, conduzir balanço de autonomia

## 8. Definir requisitos para o Controle de Navegação

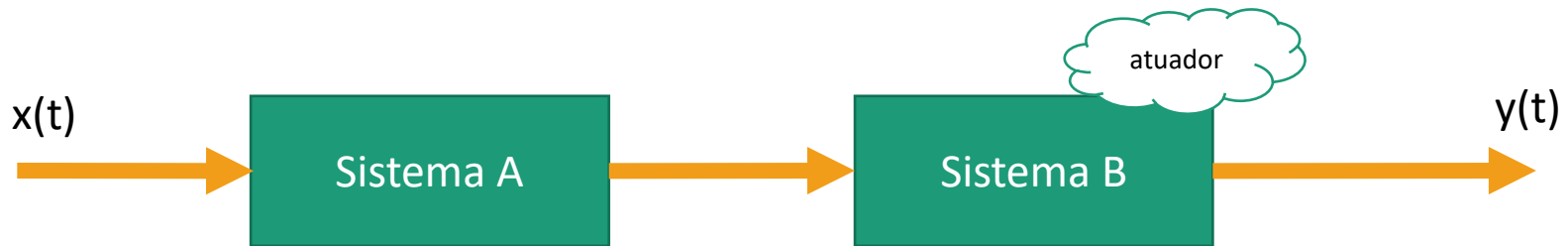
- Requisitos em termos do que é necessário, e não de como deve ser feito.

- Quais são os benefícios operacionais que justifiquem o risco de ser autônomo?

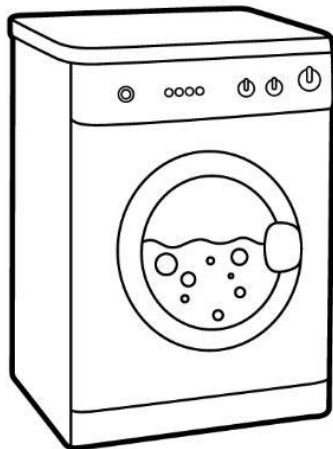
# Controle



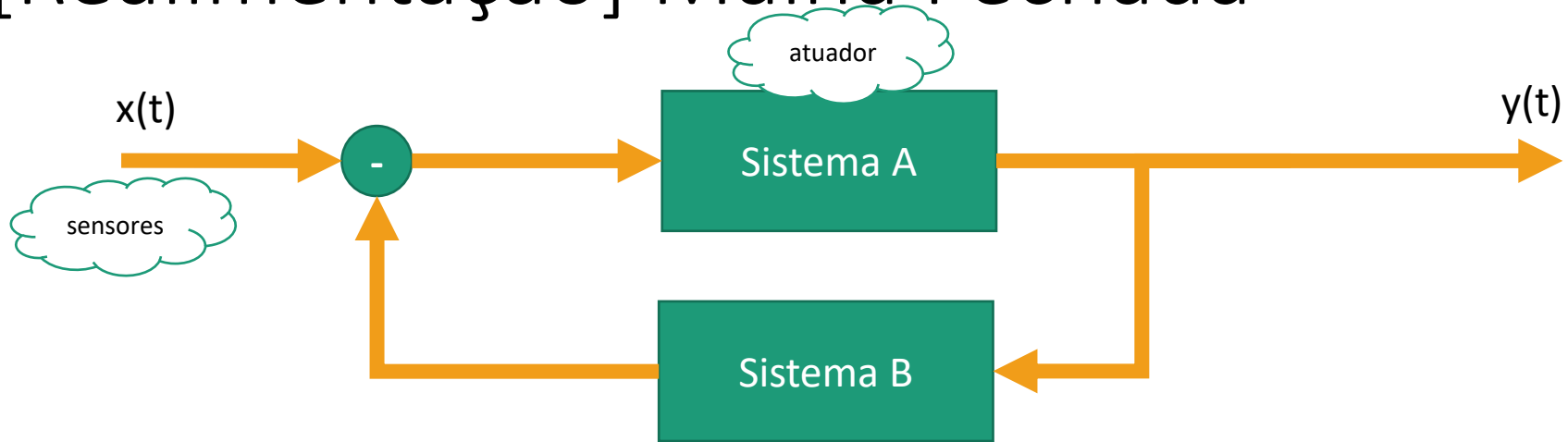
# [Realimentação] Malha Aberta



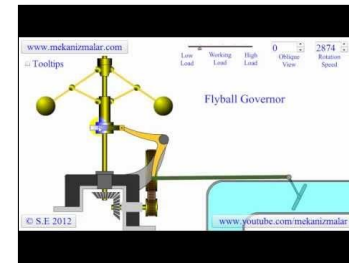
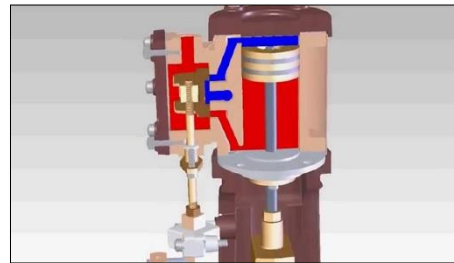
- Sistemas que não tem sensores, ou pontos de realimentação.
- Ex.:
  - máquina de lavar ( quem confere se a roupa está limpa ou não? São presets estipulados pelos construtores das máquinas ---- dentro podem ter sistemas realimentados de malha fechada)
  - Sistema de irrigação.
- Usado em sistemas BEM definidos. (temporização, triggers)



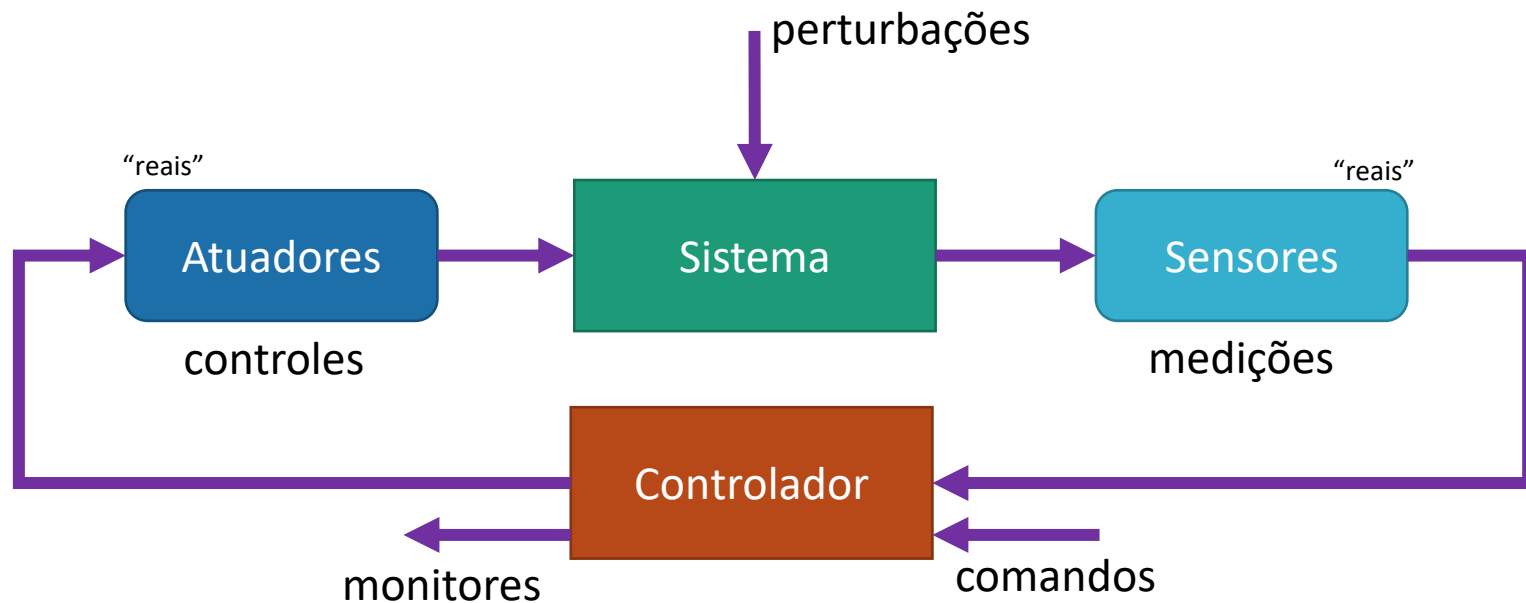
# [Realimentação] Malha Fechada



- Sistemas com sensores, pontos de observação, e sinais que retroalimentam com dados para ajuste do funcionamento.
- Ex.: controles de torque, movimento, níveis químicos, biológicos, etc..
- Usado em sistemas que precisam de ajustes. (sensores, “inteligência”, atuadores)
- Exemplo clássico: Controle (mecânico) de velocidade de uma caldeira a vapor.



# Sistema Geral de Controle

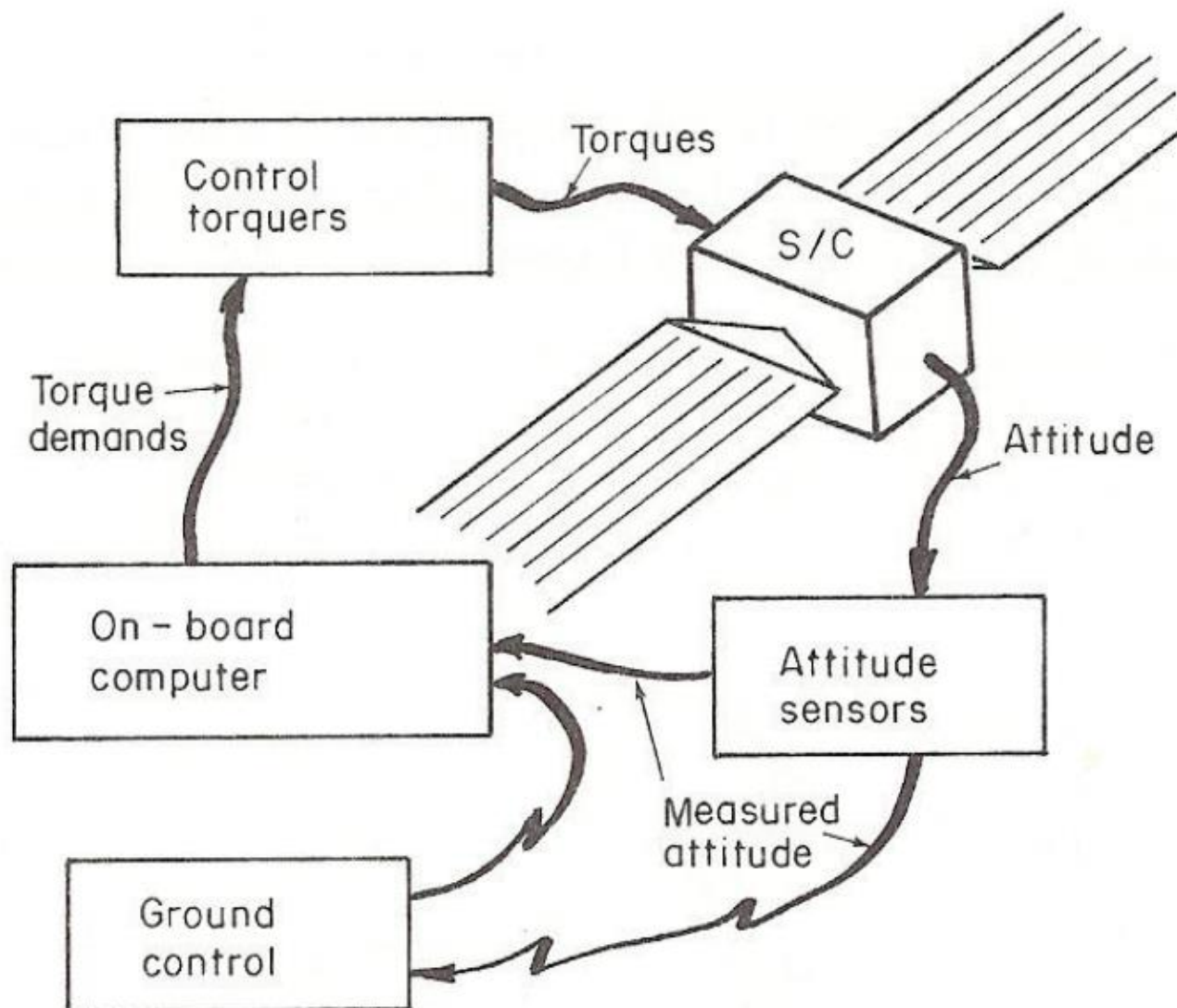


- Dado um **modelo do sistema (planta)** a ser controlado, deve-se encontrar um **controlador** adequado.

Elementos abstratos → Elementos sistêmicos

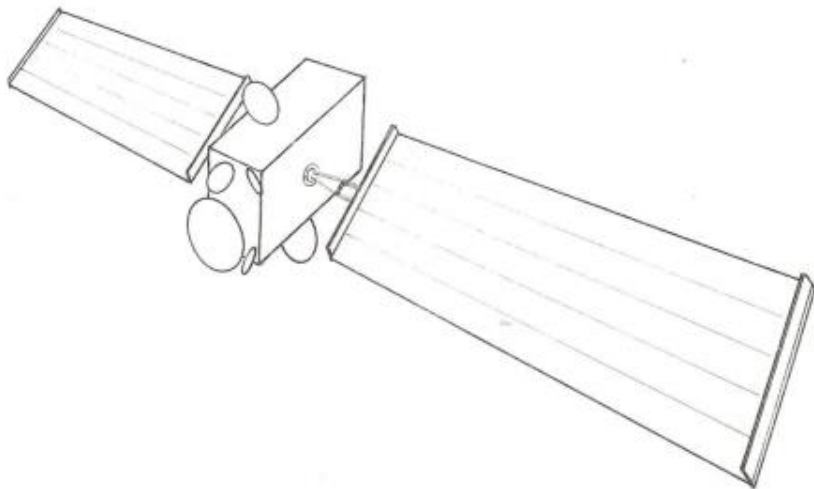


# E em um satélite

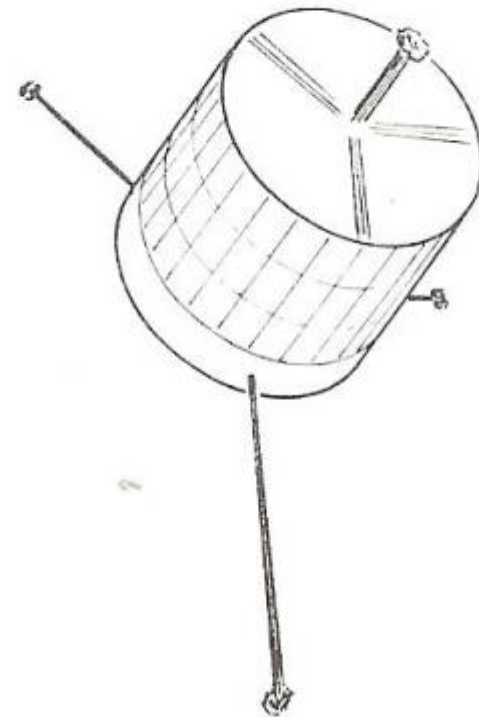


# Tipos de Estabilização

## 3 Eixos

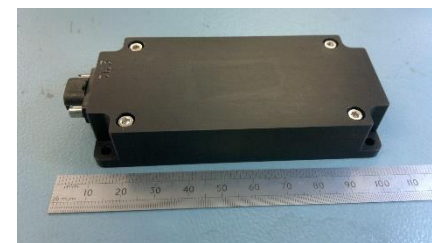
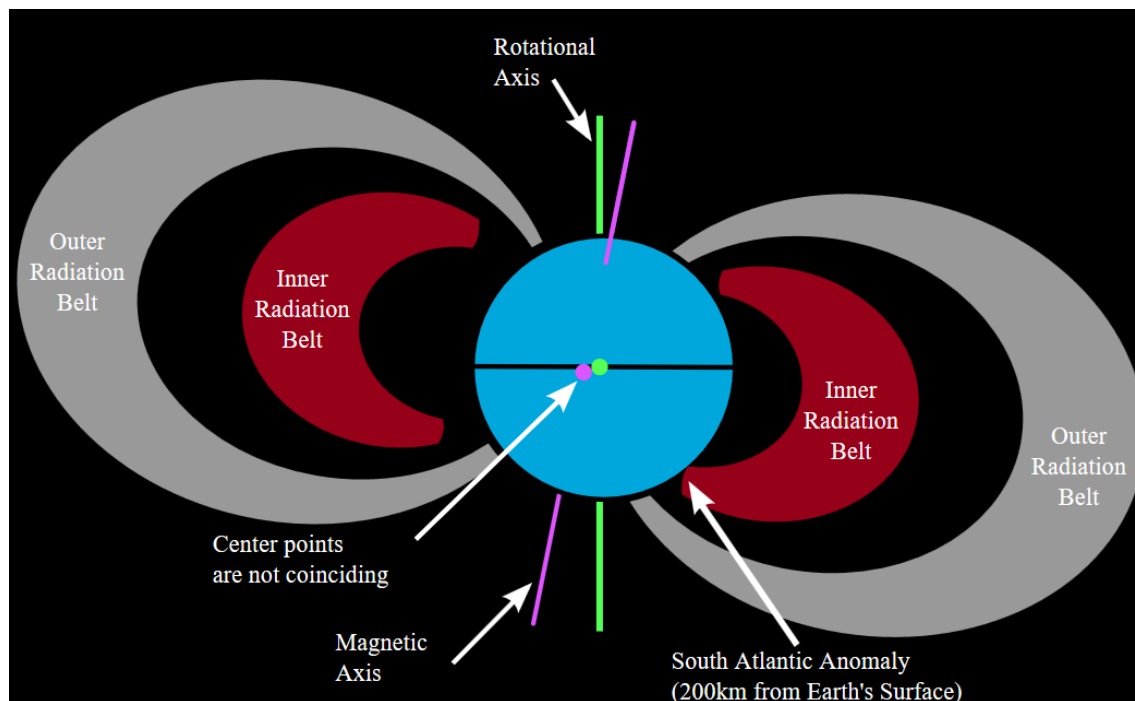
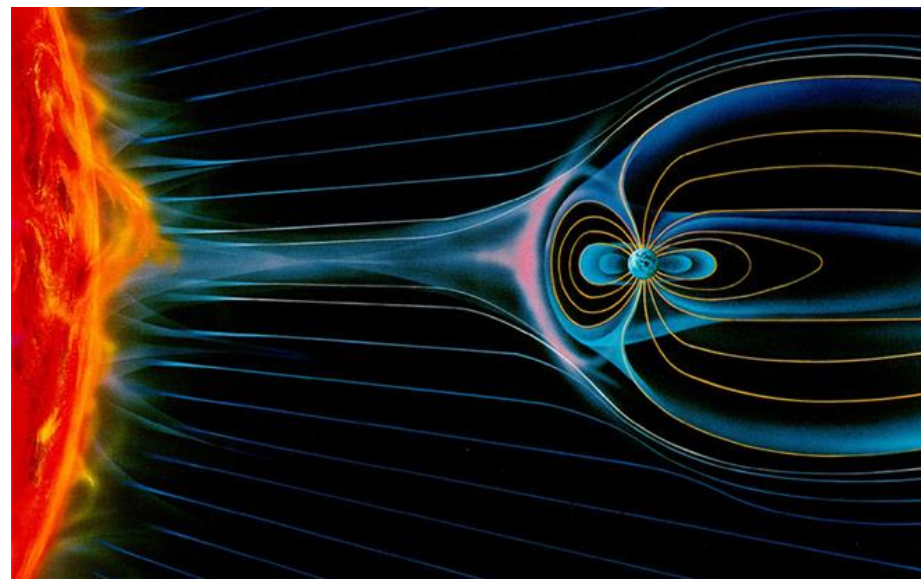


## Spin



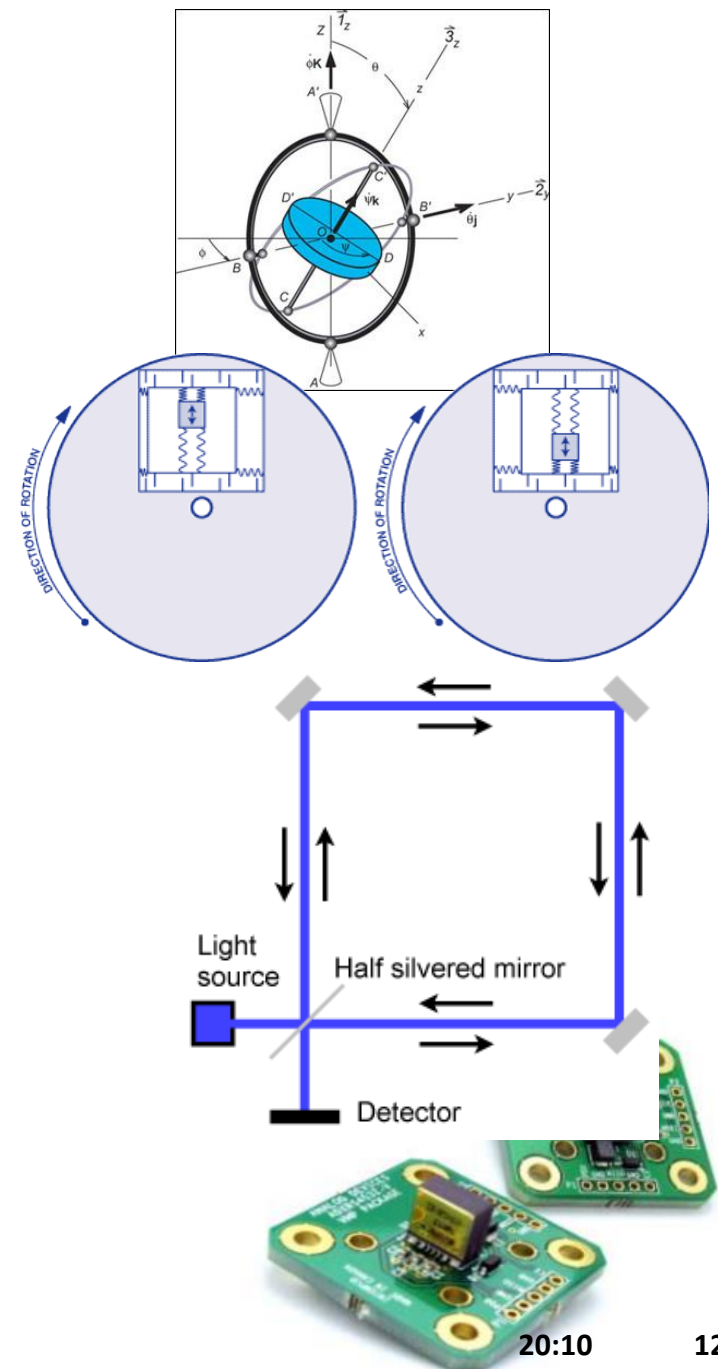
# Magnetômetro

- A magnetometer can also be used by satellites like [GOES](#) to measure both the [magnitude](#) and [direction](#) of the magnetic field of a planet or moon.

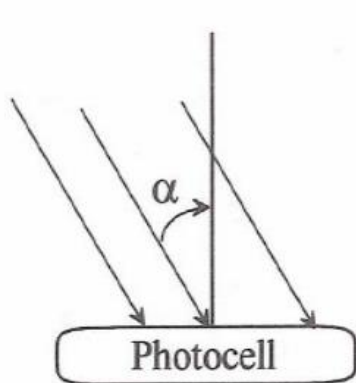


# Inerciais

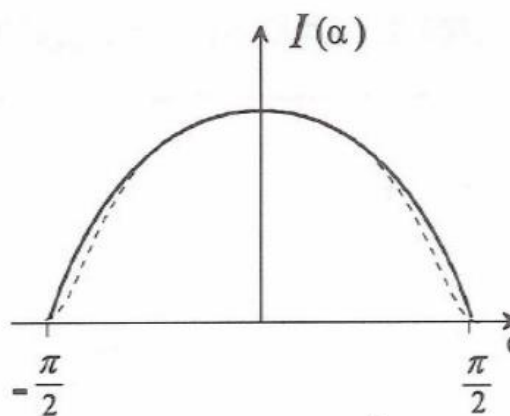
- Giroscópios ou Girômetros: Os giroscópios são aparelhos dotados de um rotor que gira em velocidades elevadas, e com isso seus mancais sentem deslocamentos angulares da base. Dois tipos principais de giros se destacam: giros de velocidade (“rate gyros”) e giros de velocidade integrada (“rate integrated gyros”).



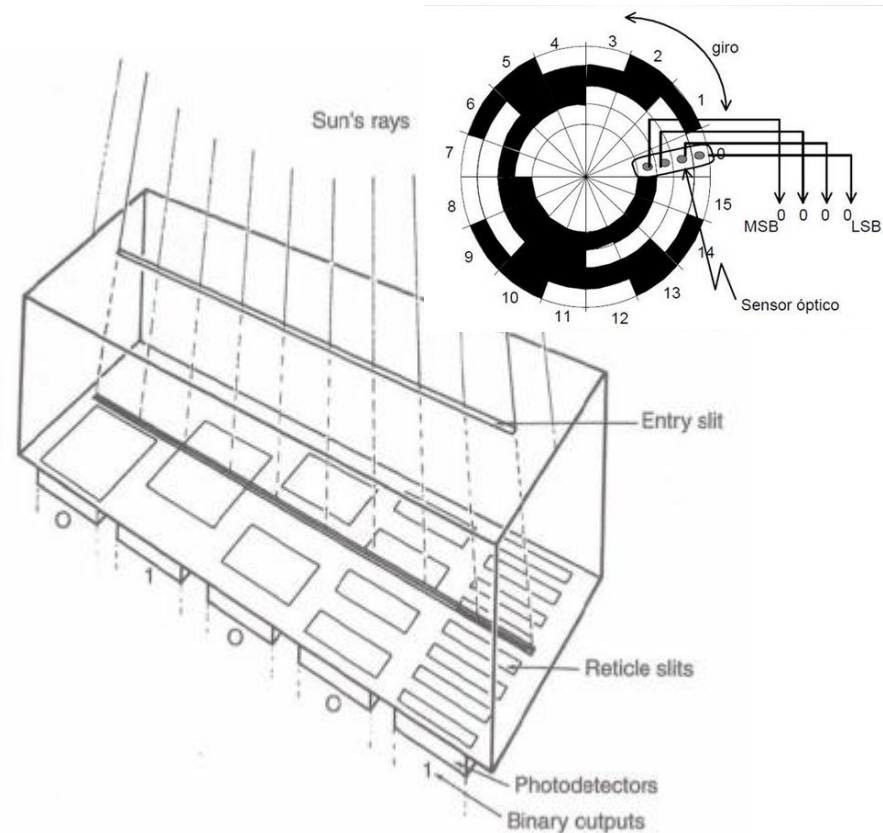
# Sensor de Sol



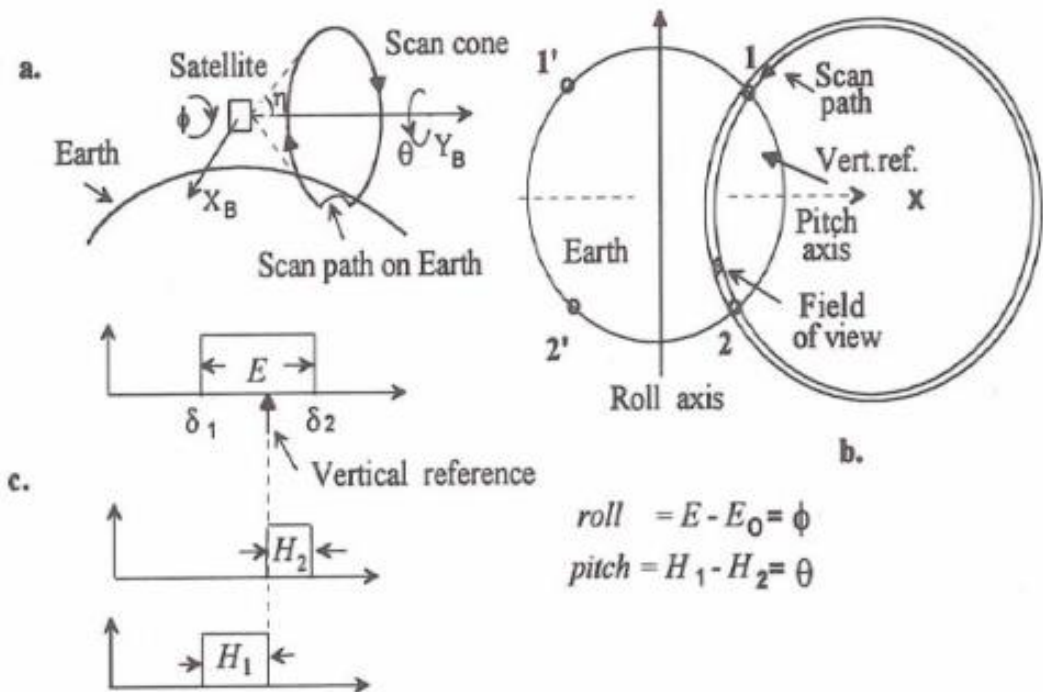
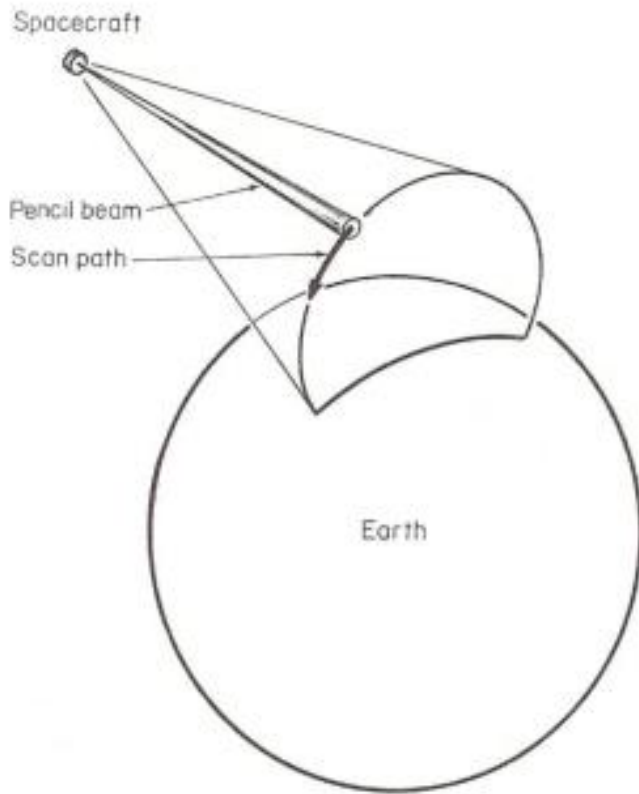
a.



b.

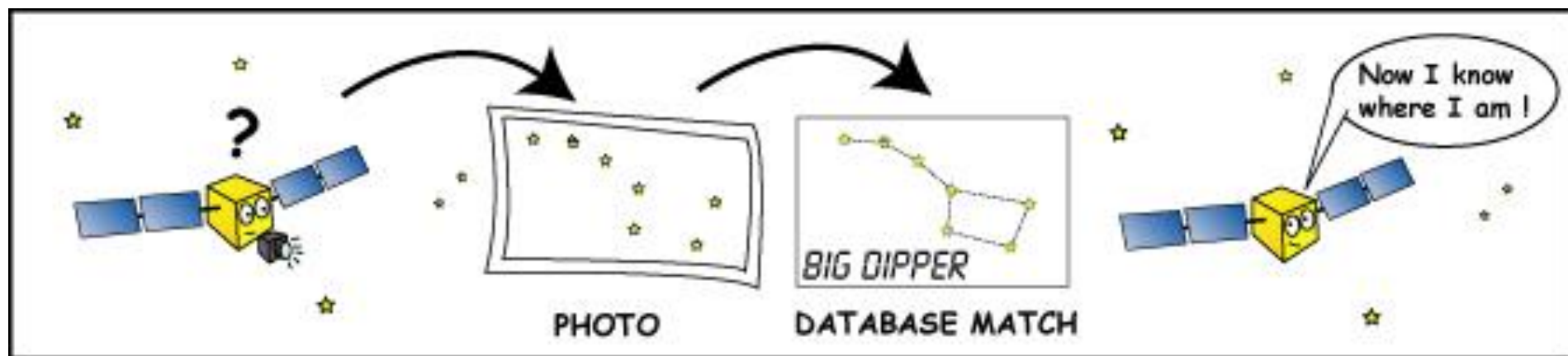


# Sensor de Horizonte (Terra)

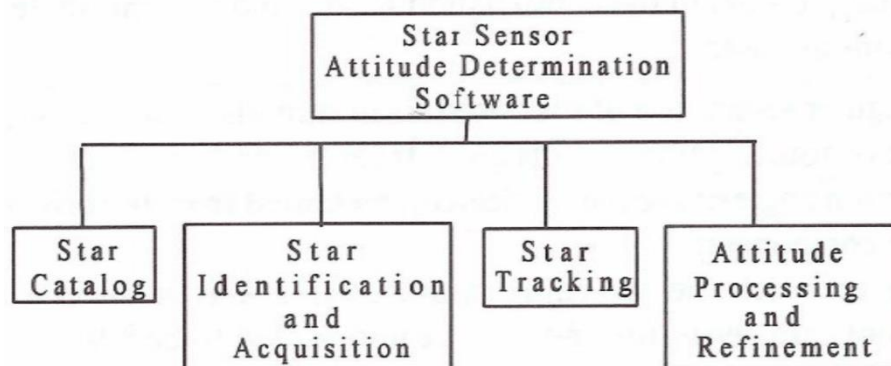




# Sensor de Estrelas

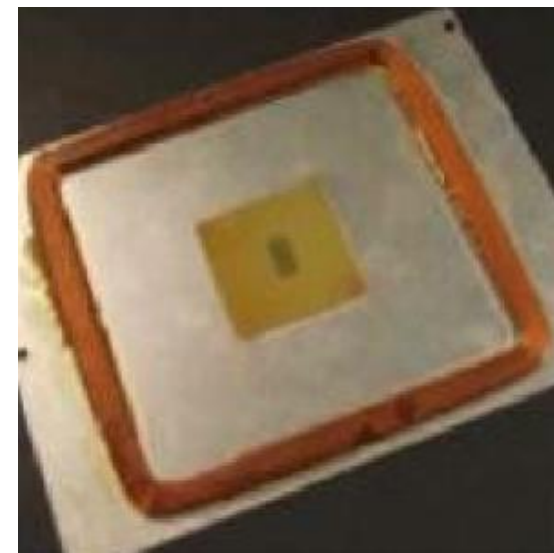
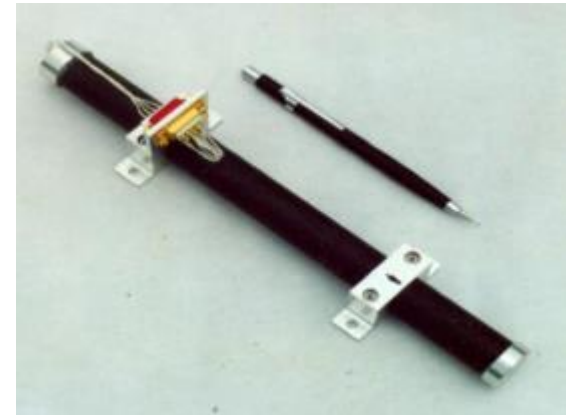


ST-200



# Bobina de Torque Magnético

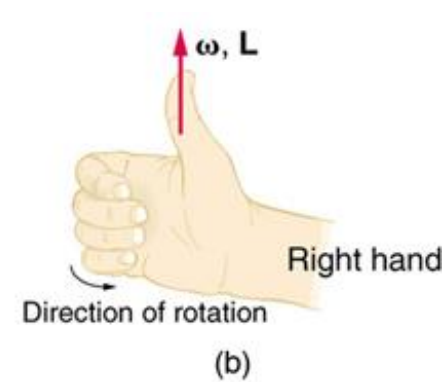
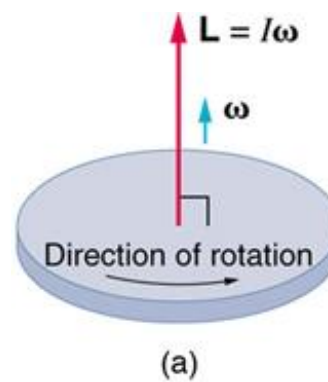
- Por serem leves, de custo reduzido e por consumirem energia renovável (energia elétrica provinda dos painéis solares), são largamente utilizadas em satélites artificiais. As bobinas, devido à interação do campo magnético gerado por elas com o campo magnético da Terra, geram um torque.



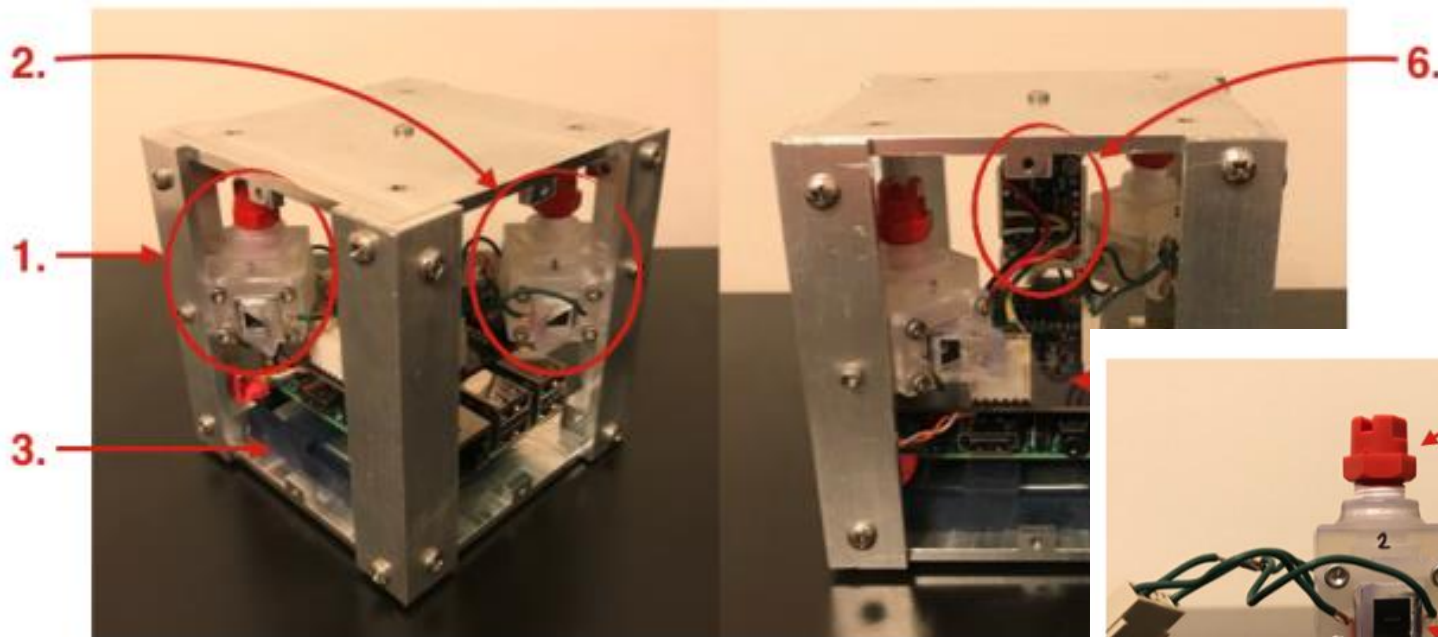


# Roda de Reação

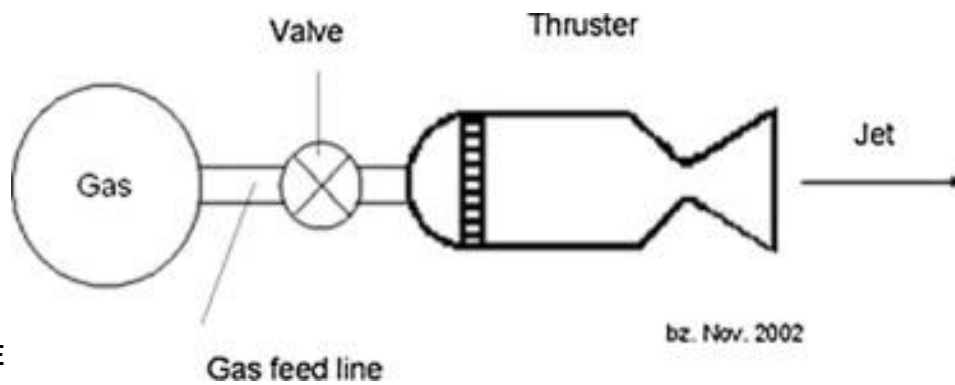
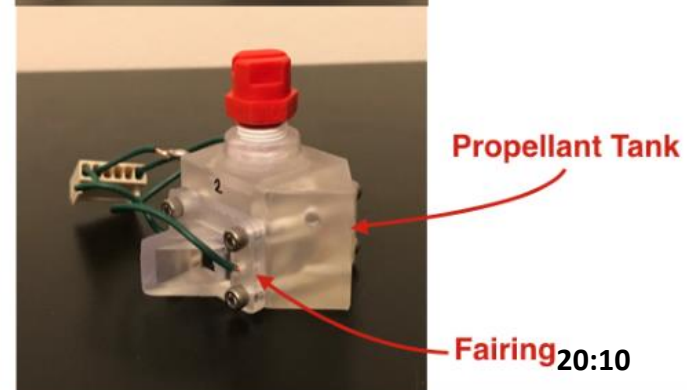
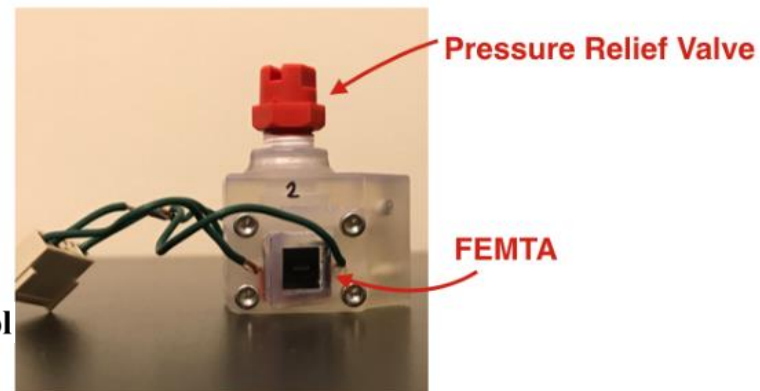
- Astrofine
- The RW 1 is the world's smallest commercial reaction wheel. The RW 1 was developed by Astro-und Feinwerktechnik Adlershof GmbH and Magson GmbH under scientific leadership of the Berlin Institute of Technology (TU Berlin). It was successfully launched and has been operated on the pico satellite "BEESAT" of TU Berlin. BEESAT was launched on 23rd September 2009 on an Indian PSLV.



# Propulsor a gás frio

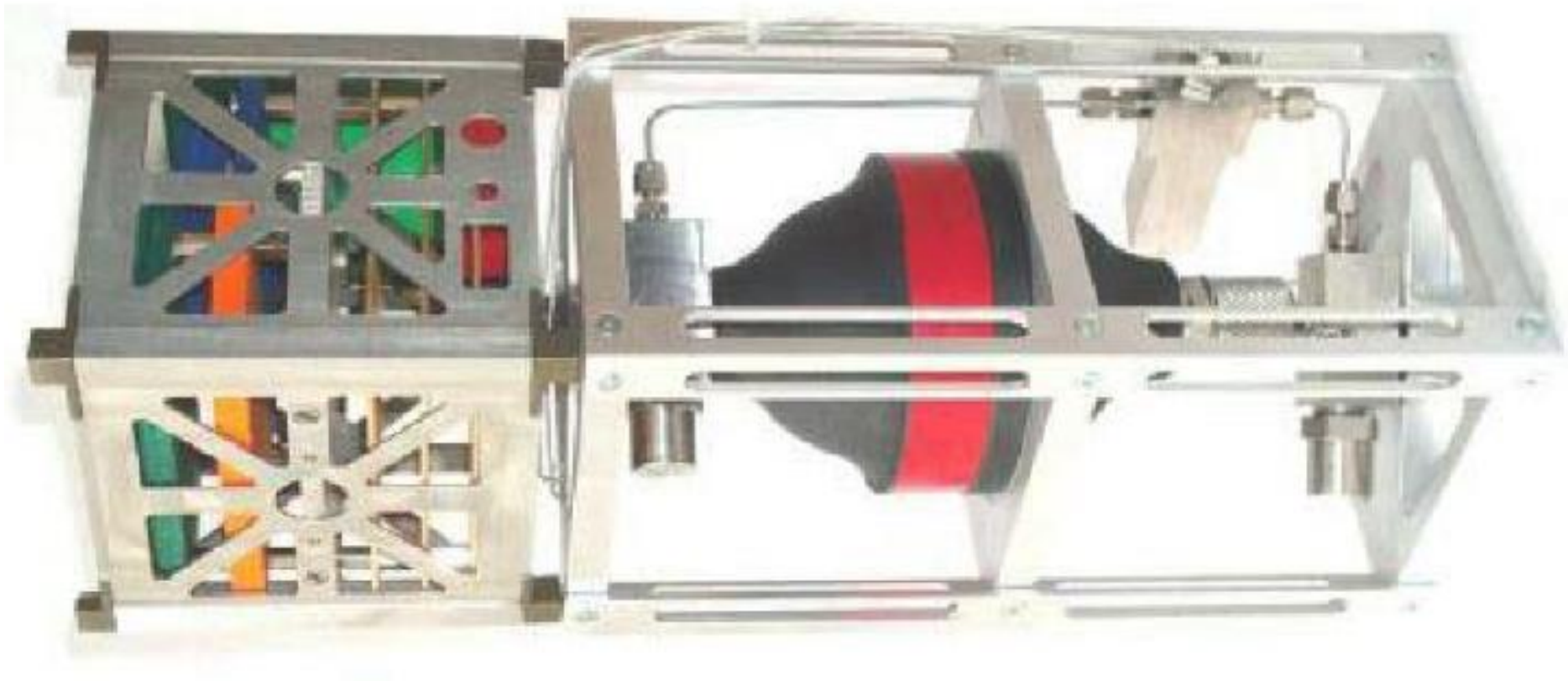


Quad-Thruster FEMTA Micropropulsion System for CubeSat 1-Axis Control

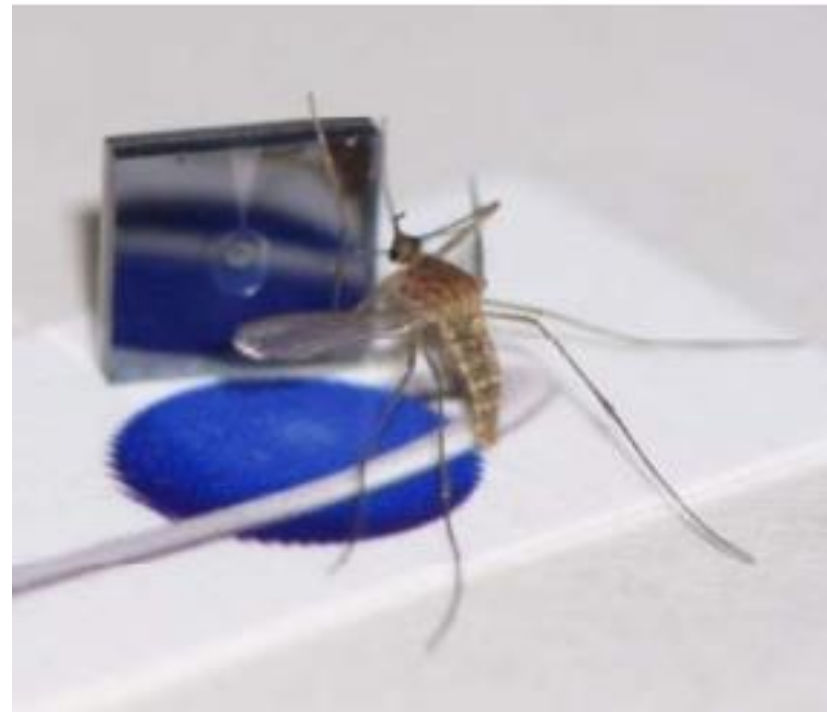
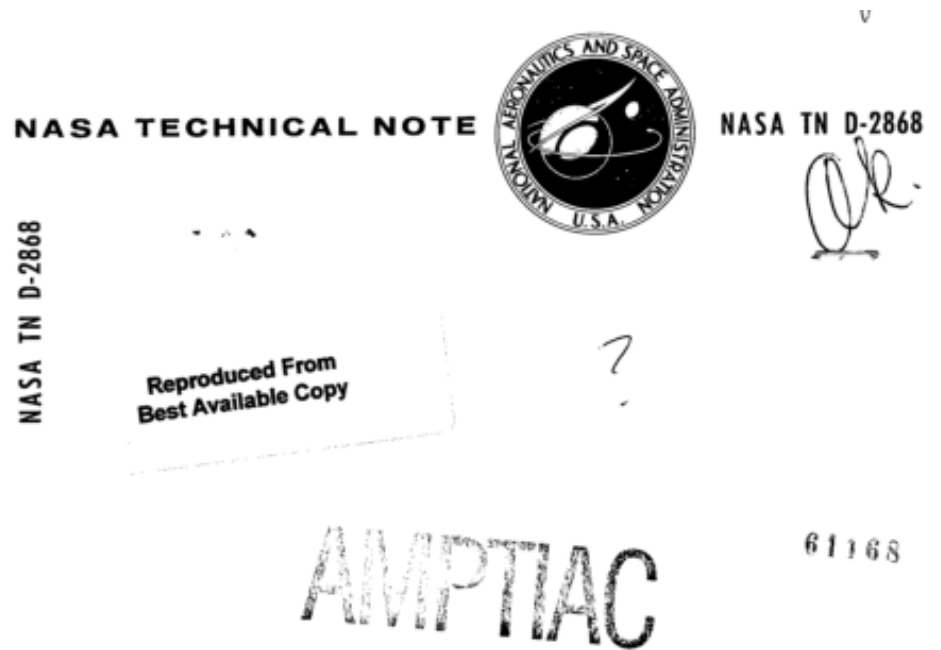


# Propulsor a água

- AquaJet



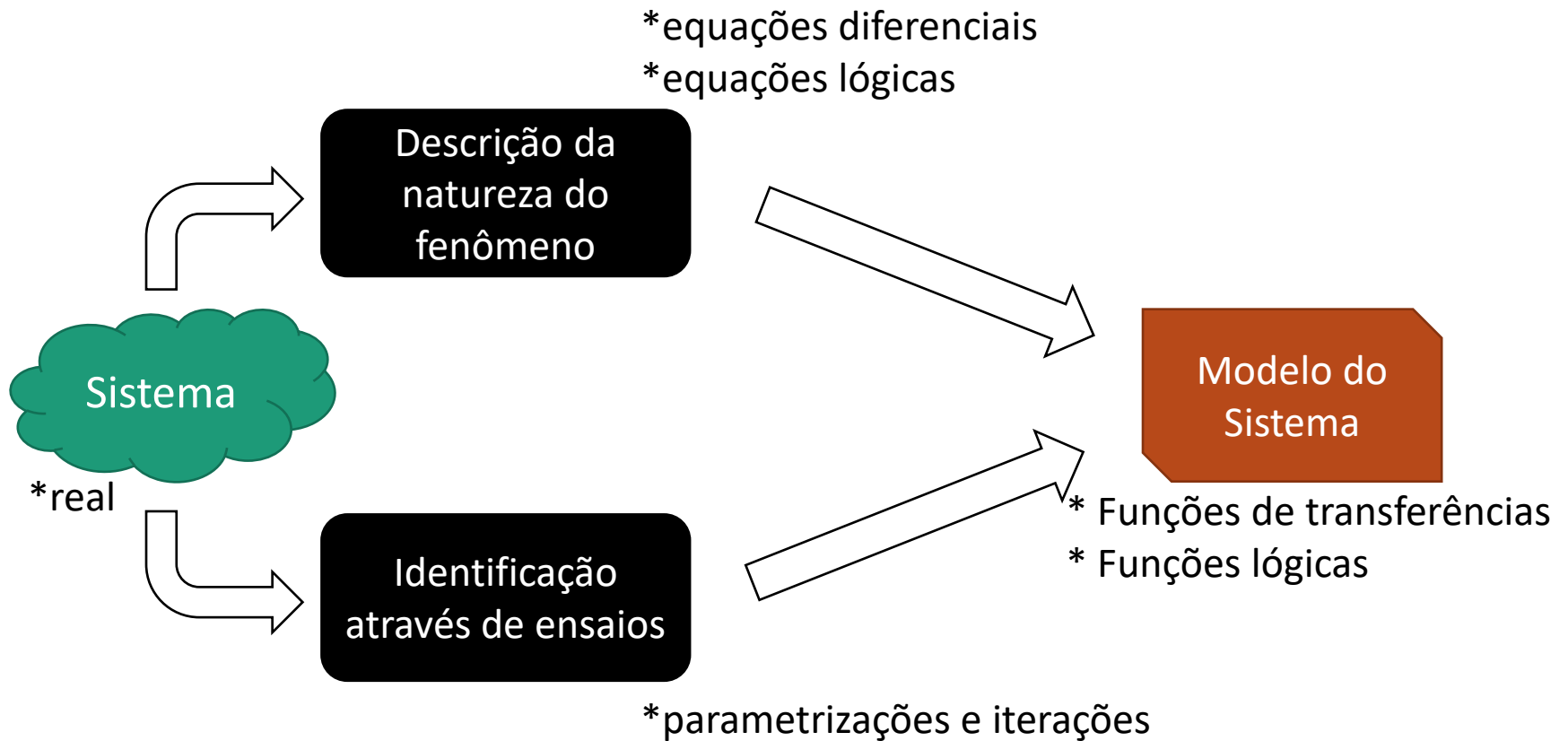
# Propulsor Elétrico



**ARC-JET THRUSTOR  
 FOR SPACE PROPULSION**  
*by Lewis E. Wallner and Joseph Czika, Jr.*  
 Lewis Research Center  
 Cleveland, Ohio  
 20010720 097

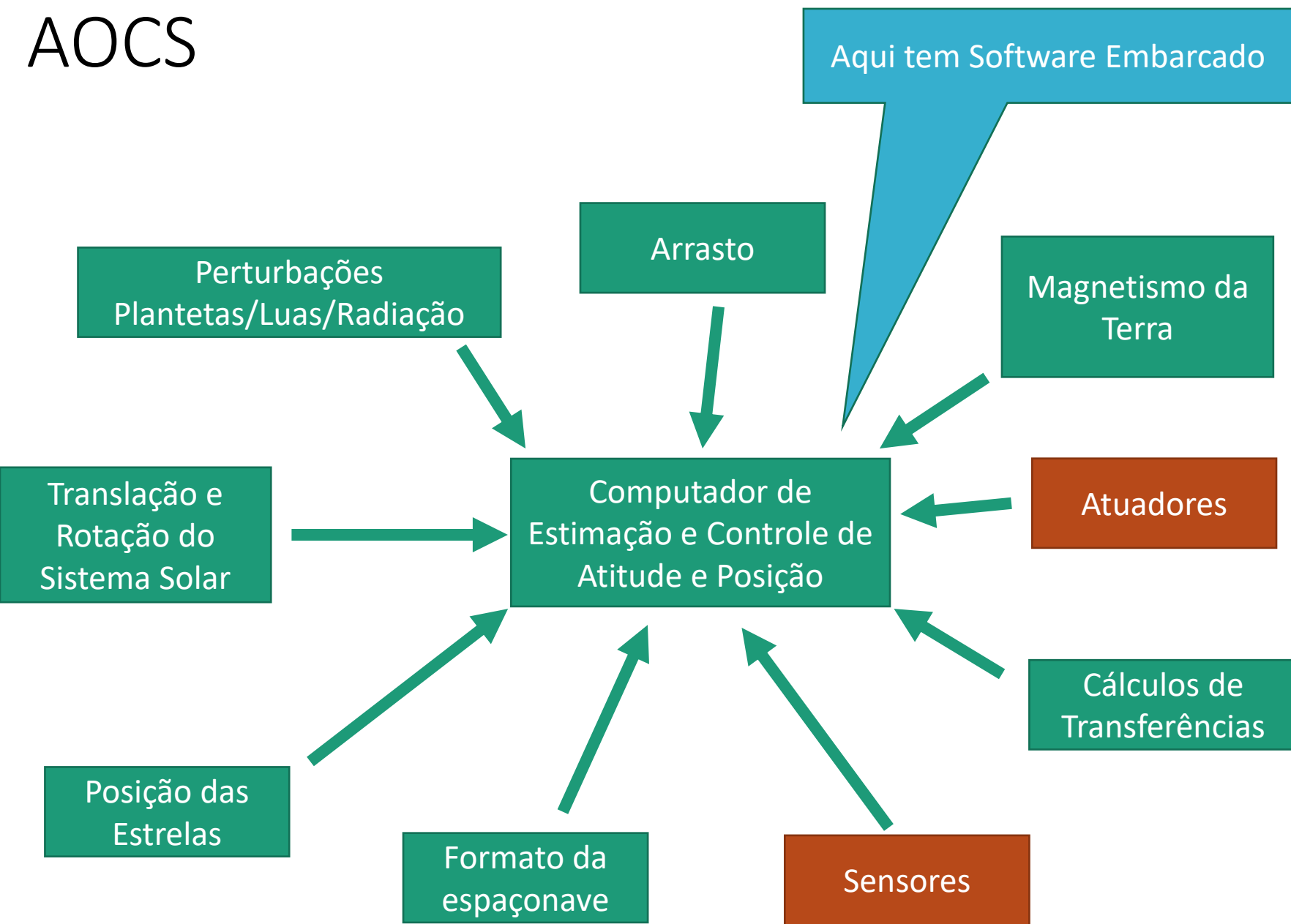
# Modelos

# Modelagem



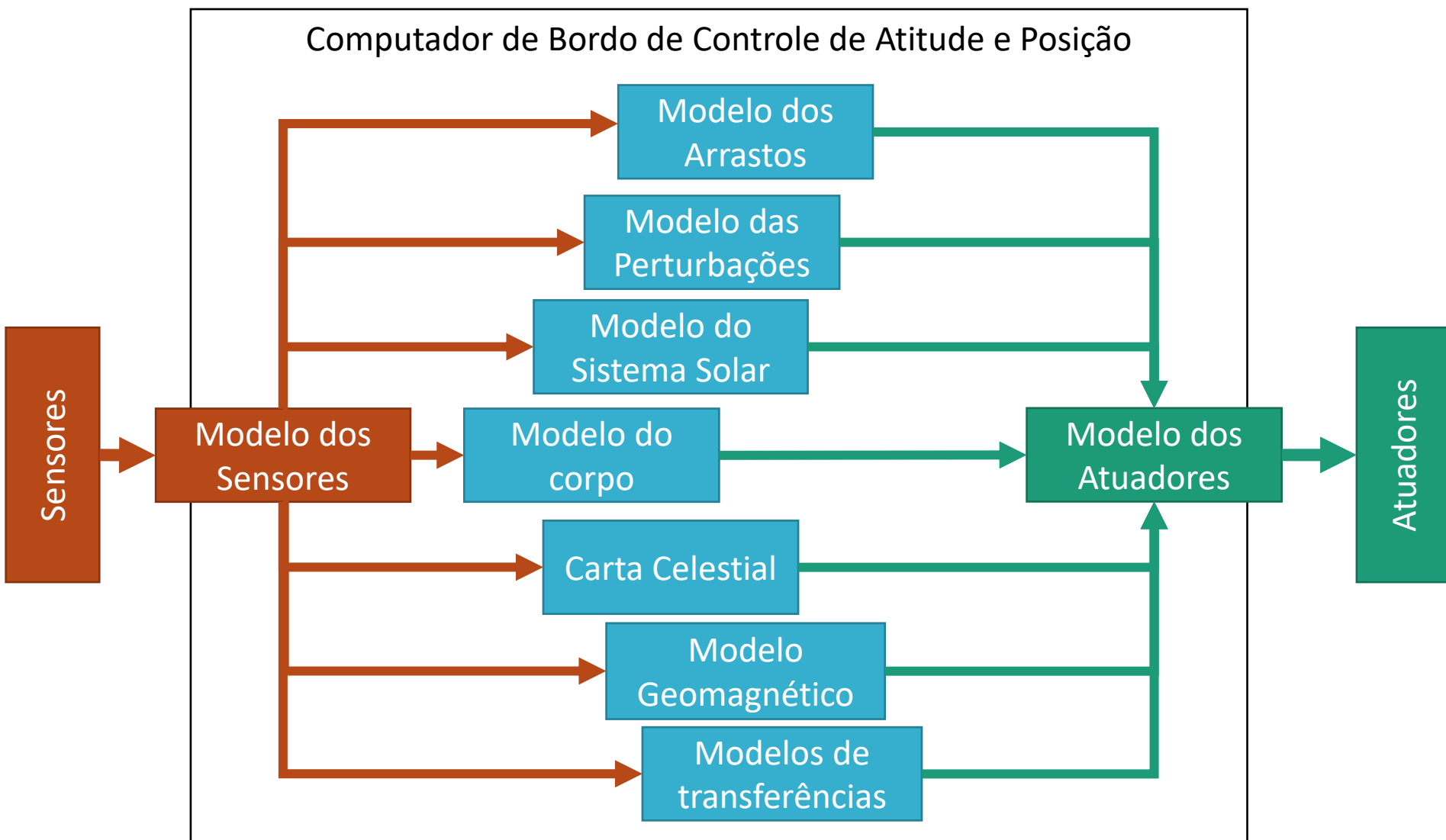
A observar: **Simplicidade x Acurácia**

# AOCS





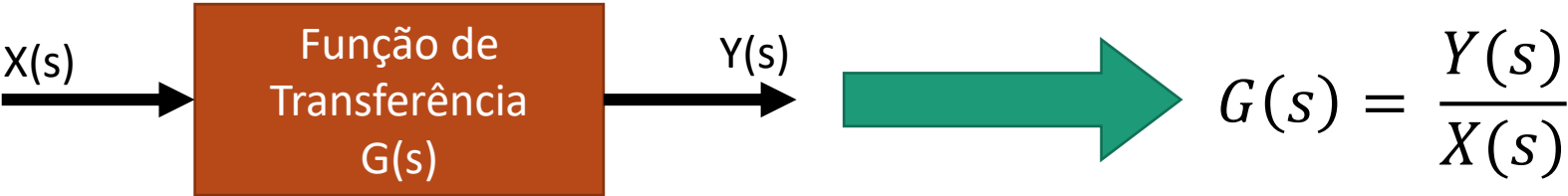
# AOCS





# Função de Transferência

- Relação matemática entre saída e entrada de um sistema.
- **Transformada de Laplace** → Transforma do domínio do tempo para o domínio da frequência. (t) → (s)
  - Esta transformação facilita as contas, ao invés de derivadas/integrais usam-se operações algébricas.
  - S é uma variável complexa do tipo:  $s = \sigma + j\omega$



Ex.: 
$$G(s) = \frac{s^2 + 5s + 6}{s^3 + 15s^2 + 50s}$$

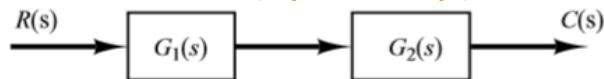
Zeros: -3,-2  
Pólos: 0;-5;-10 (terceira ordem)

\* Dúvidas perguntem ao ajudante do dia (no intervalo): Wagner Mahler

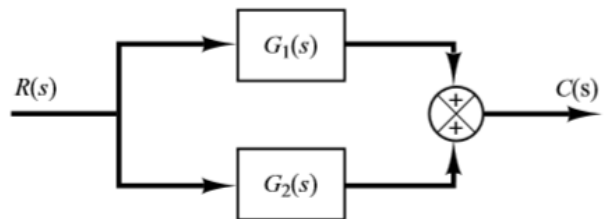
# [Função de Transferência] Diagrama de Blocos

- Representação das funções de transferência de maneira diagramática.

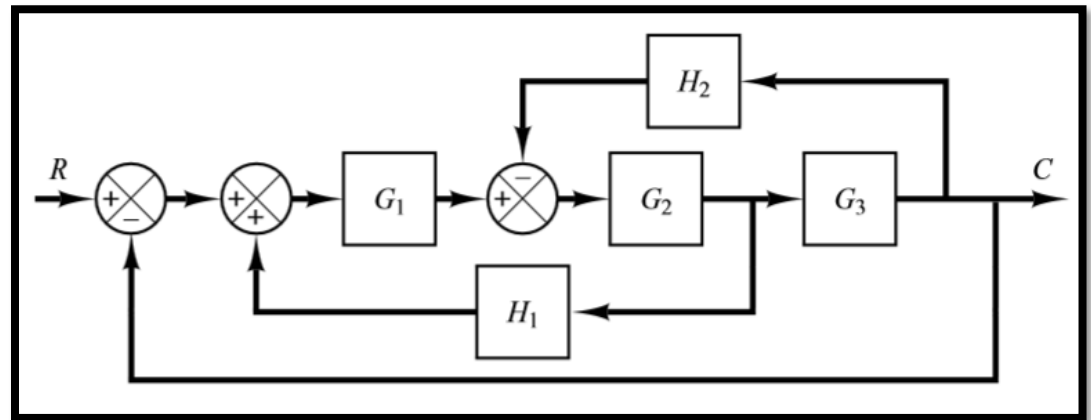
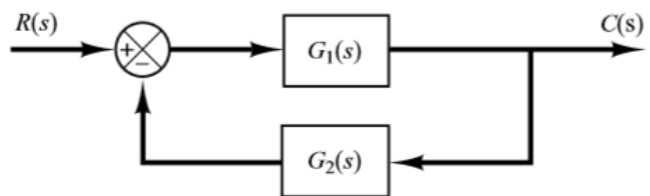
*Cascatas (open-loop)*



*Paralelos (open-loop)*



*Feedback (closed-loop)*



# PID – Proporcional-Integral-Derivativo

PID  
 PD  
 PI

- P -> Compensador de ganho (constante)

Output =  $k \cdot \text{error}$

- I -> Atrasa a ação da função (diminui erro no regime permanente, pode oscilar)

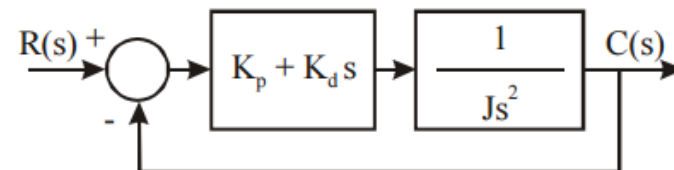
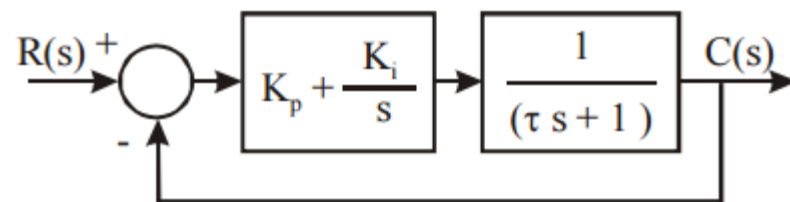
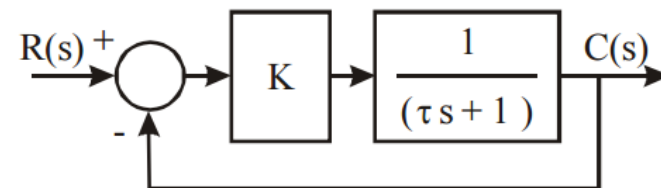
reset = reset +  $k / \tau_i \cdot \text{error}$

Output =  $k \cdot \text{error} + \text{reset}$

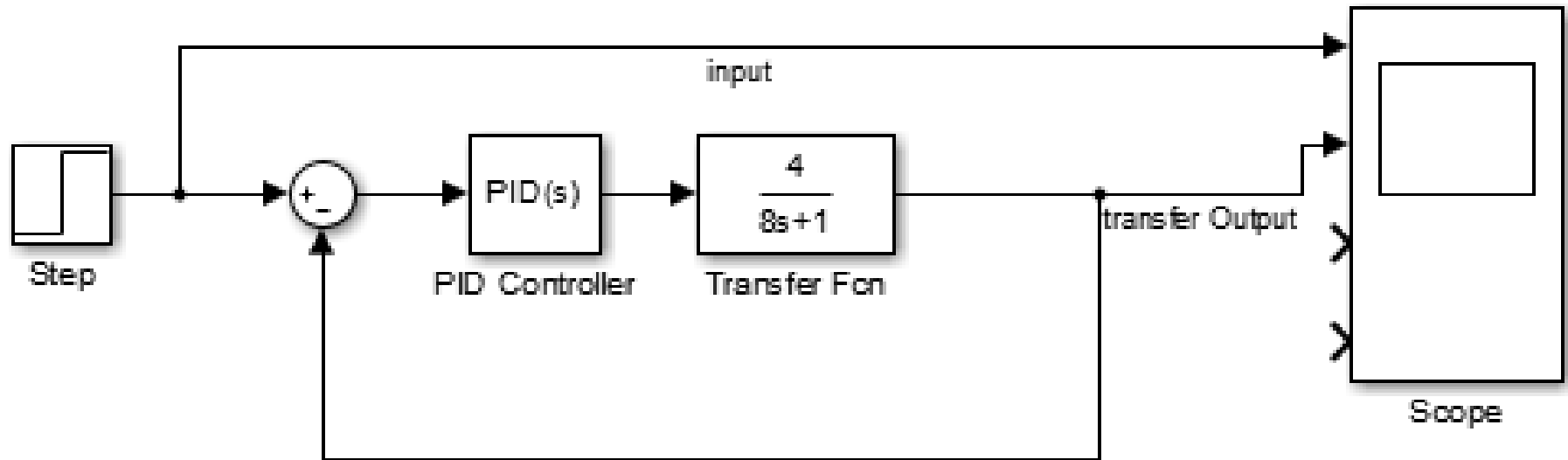
- D -> Adianta a ação da função (melhora estabilização, reduz acomodação no transitório)

Output =  $k \cdot \text{error} + k / \tau_i \cdot (\text{error} - \text{lastError})$

LastError = error



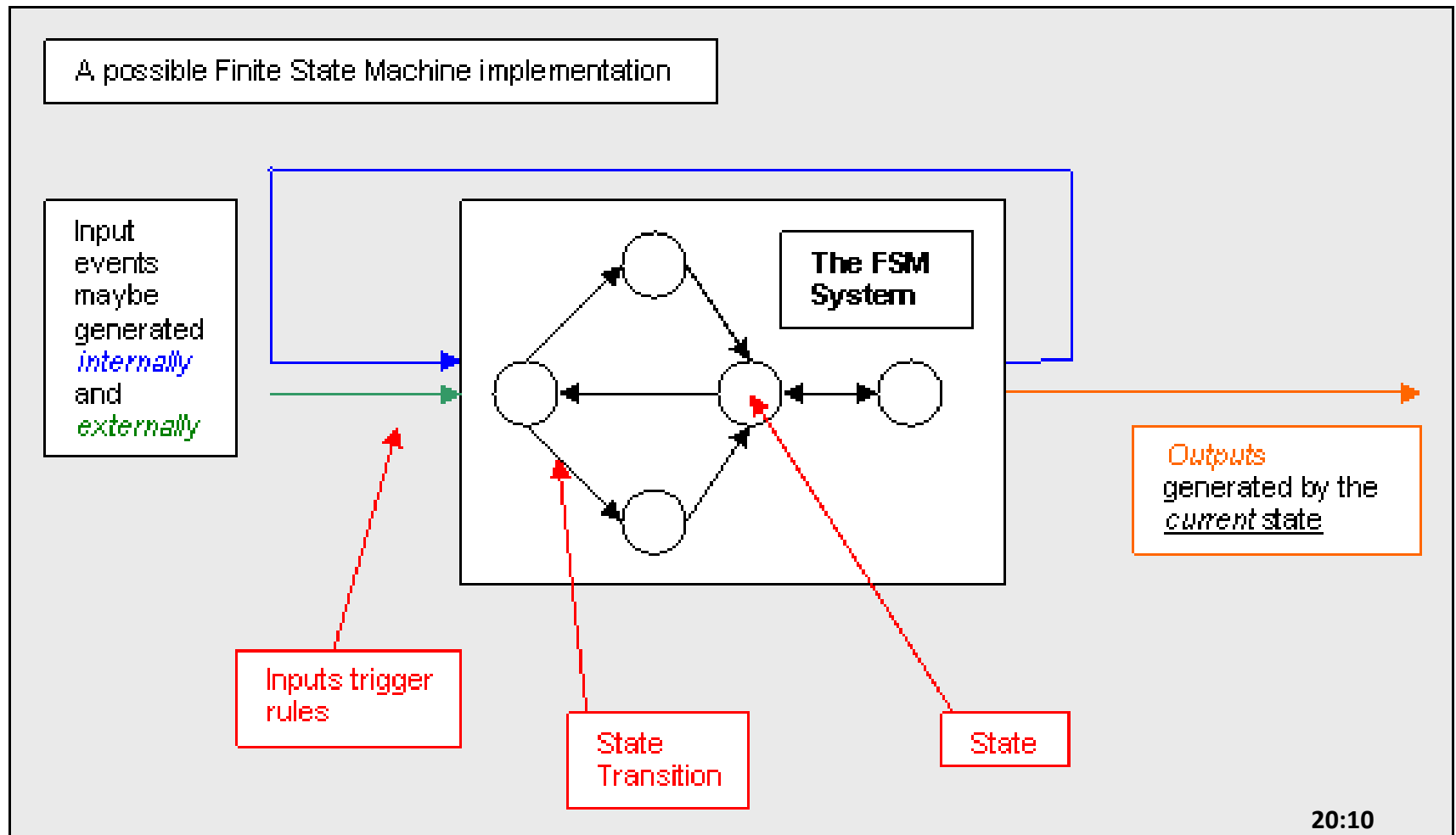
# PID – Exemplo MatLab



$$U(s) = \left( K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) E(s) \quad \Rightarrow \quad \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s}$$

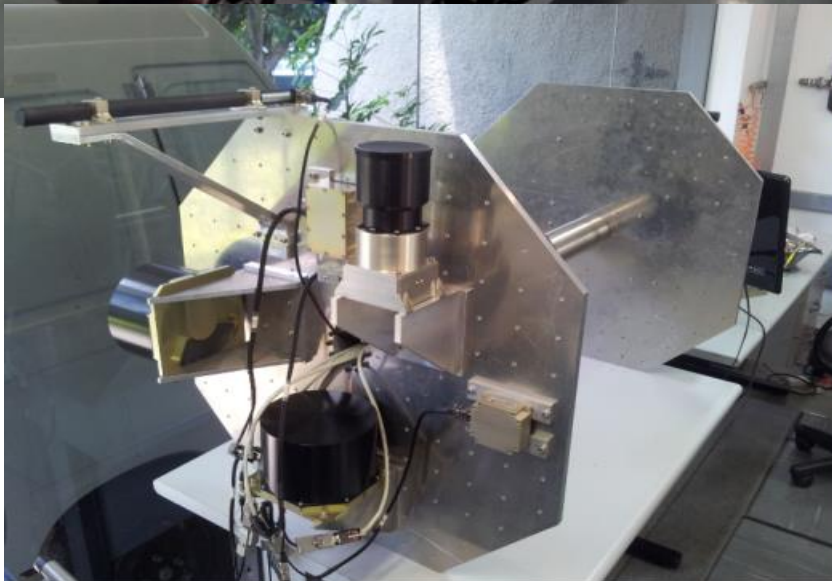
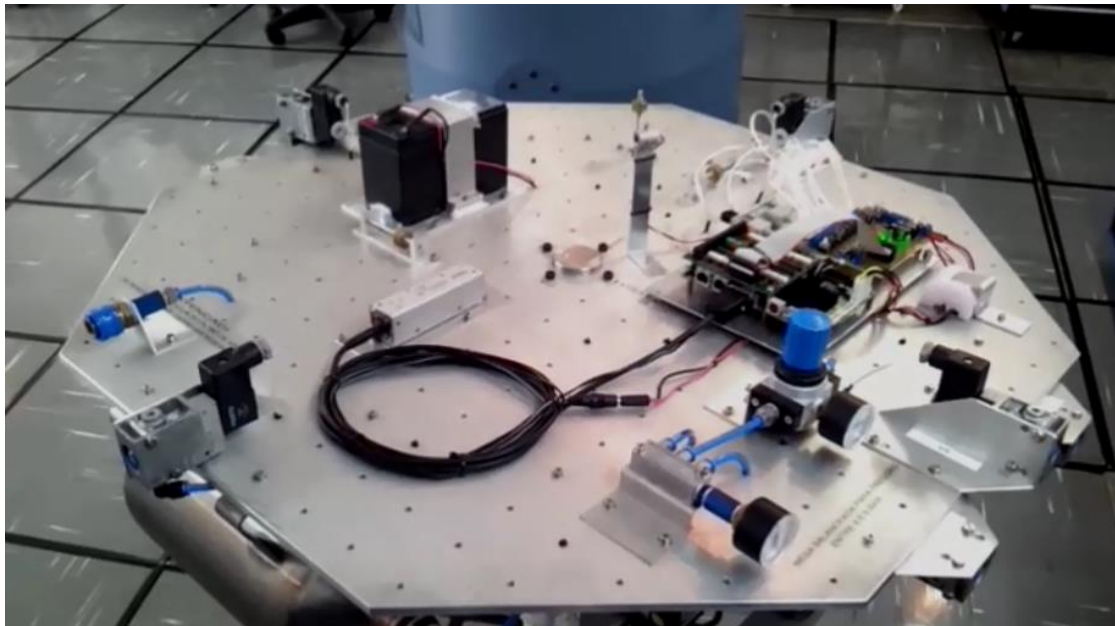
# Controle por Eventos

- Utilização de lógicas, heurísticas, métricas, avaliações de estados, para decidir a reação do sistema, ou até ajustar os parâmetros do controlador dinâmico.

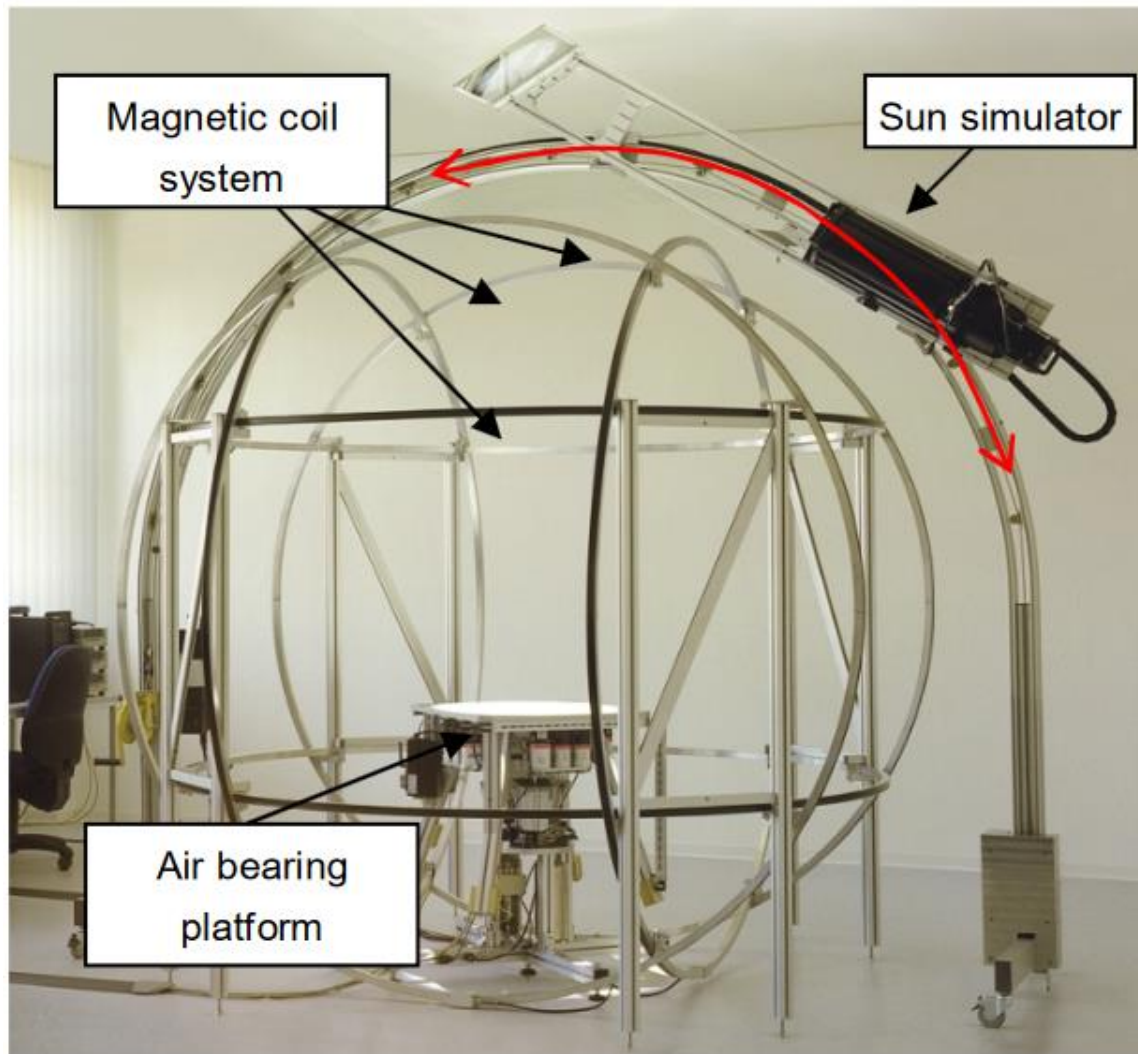


# Simulações Físicas

# Mancal de Simulação



# Test bed Completo





# Propulsão

Design da Propulsão

AS ESPACIAIS



Requisitos e Objetivos da Missão



Geometria e Orbita



1. Determinar todas as funções da propulsão



2. Determinar a velocidades inicial e motores



3. Determinar o impulso total, nível de autonomia para manobras



4. Listar as opções de propulsão



5. Estimar os parâmetros para cada opção



6. Balanços e documentação

Exemplos

- Inserção em orbita
- Manutenção de orbita
- Controle de atitude
- Controle de reentrada

Drivers

- Posição de lançamento, Orbita e geometria desejada, Pesos e atitude final
- Transferência de orbita
- Spin
- Elevação de orbita
- Aceleração para escapar de orbita
- Manutenção de orbita
- Controle de atitude

Características

- Químicos / Elétricos
- Arquiteturas / redundâncias

Parâmetros

- Potência
- Força (N)
- Eficiência
- Massa
- Propelente
- Impulso Específico (s)
- Tempo de queima
- Volume