

Grupo de Foguetes Carl Sagan  
Universidade Federal do Paraná

**Estabilidade de minifoguetes**  
**IV Festival Brasileiro de Minifoguetes**

Nicholas Dicati P. da Silva

Abril, 2017



- 🚀 Cursos
- 🚀 Apostilas e material bibliográfico
- 🚀 Aplicativos:
  - 🚀 Cd
  - 🚀 Curva Empuxo
  - 🚀 Trajetória
- 🚀 [www.foguete.ufpr.br/](http://www.foguete.ufpr.br/)
- 🚀 [www.fogueteufpr.blogspot.com.br/](http://www.fogueteufpr.blogspot.com.br/)
- 🚀 [www.facebook.com/gfcsufpr/](https://www.facebook.com/gfcsufpr/)
- 🚀 [servidor.demec.ufpr.br/foguete/](http://servidor.demec.ufpr.br/foguete/)

# Forças de interesse



- ▲ Força aerodinâmica ( $A$ )
- ▲ Força peso ( $P$ )

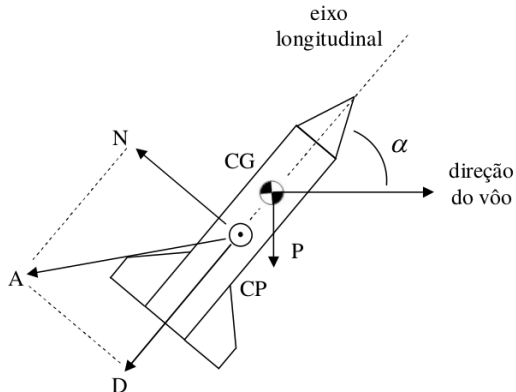


Figura 1: Forças atuantes em um minifoguete.

Fonte: MARCHI, C. H. Projeto e lançamento de espaçomodelos. Curitiba: UFPR, 2010.



▲ Centro de gravidade (CG): ◐

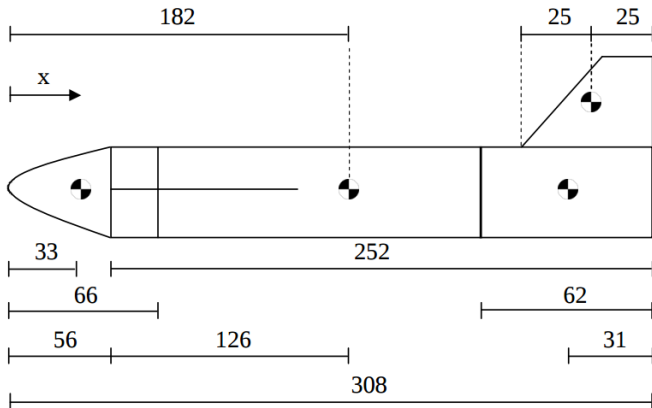
▲ Ponto de aplicação da força peso no minifoguete

▲ Determinado por métodos teóricos ou experimentais

▲ Método teórico

$$CG = \frac{1}{M_T} \sum_{i=1}^N x_i M_i \quad (1)$$

onde  $N$  representa o número de partes do minifoguete,  $M_i$  a massa de cada parte,  $M_T$  a massa total do minifoguete e  $x_i$  o comprimento entre a ponta do nariz do minifoguete e o centro geométrico de cada parte do minifoguete (CG de cada parte).



**Figura 2:** Centros geométricos das partes do minifoguetto Sondinha II.

Fonte: MARCHI, C. H. Projeto e lançamento de espaçomodelos. Curitiba: UFPR, 2010.



Tabela 1: Massas e centros geométricos do minifoguete Sondinha II.

	Componente	$M_i$ [g]	$x_i$ [mm]
1	Nariz	4,9	33
2	Tubo-foguete	7,1	182
3	Motor	18,0	277
4	Tubo-guia	0,1	248
5	Empena	3,2	283

Fonte: MARCHI, C. H. Projeto e lançamento de espaçomodelos. Curitiba: UFPR, 2010.



- ▲ Sondinha II e motor com propelente

$$CG = \frac{4,9 \cdot 33 + 7,1 \cdot 182 + 18 \cdot 277 + 0,1 \cdot 248 + 3,2 \cdot 283}{33,3} = 221 \text{ mm}$$

- ▲ Sondinha II e motor sem propelente

$$CG = \frac{4,9 \cdot 33 + 7,1 \cdot 182 + 8 \cdot 277 + 0,1 \cdot 248 + 3,2 \cdot 283}{23,3} = 197 \text{ mm}$$

- ▲ Método experimental

- ▲ Método do barbante



- ▲ Centro de pressão (CP):  $\odot$ 
  - ▲ Ponto de aplicação da força aerodinâmica (arrasto e força normal)
  - ▲ Determinado por métodos teóricos ou experimentais
- ▲ Métodos teóricos
  - ▲ Barrowman
  - ▲ RockSim
- ▲ Método experimental
  - ▲ Túnel de vento





## ▲ Margem estática ( $E$ )

- ▲ Relação entre o CP, CG e o diâmetro máximo ( $d_{MAX}$ ) do minifoguete
- ▲ Determinado por métodos teóricos ou experimentais

## ▲ Métodos teóricos

- ▲ RockSim

$$E = \frac{CP - CG}{d_{MAX}} \quad (2)$$

## ▲ Método experimental

- ▲ Amarre um fio no CG do minifoguete e coloque-o para rotacionar com a traseira no sentido do movimento. Se  $E > 0$ , o nariz se voltará para frente.



## ▲ Tipos de estabilidade

- ▲ Estável:  $E > 0$  (recomenda-se  $E > 1$ )
- ▲ Neutra:  $E = 0$
- ▲ Instável:  $E < 0$

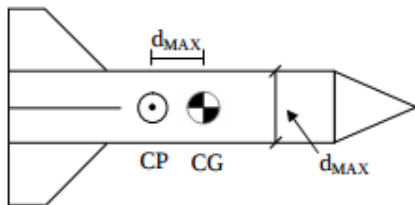


Figura 3: Exemplo de minifoguete estável.

Fonte: MARCHI, C. H. Projeto e lançamento de espaçomodelos. Curitiba: UFPR, 2010.

Obrigado!