Foguetes e Minifoguetes

Prof. Carlos Henrique Marchi

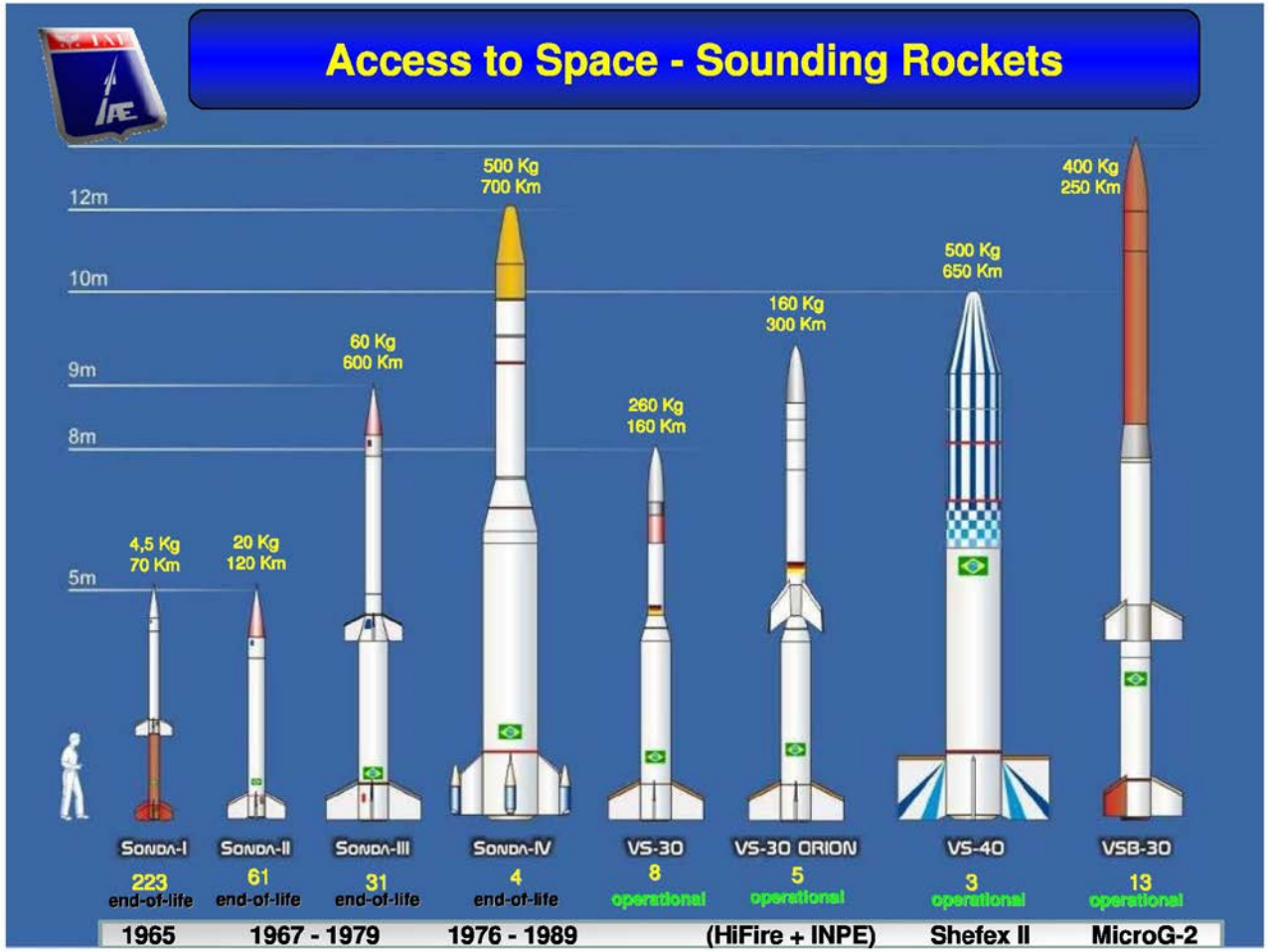
Grupo de Foguetes Carl Sagan (GFCS) [2005]

Laboratório de Atividades Espaciais (LAE) [2011]

Departamento de Engenharia Mecânica

Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Curitiba, 12 Out 2018



Foguetes de sondagem brasileiros

CLBI no RN

CLA no MA

INPE em SJC (SP)

IAE em SJC (SP)

AEB em Brasília

PRINCIPAIS TIPOS DE MOTORES-FOGUETE OPERACIONAIS:

1) Sólido
2) Líquido

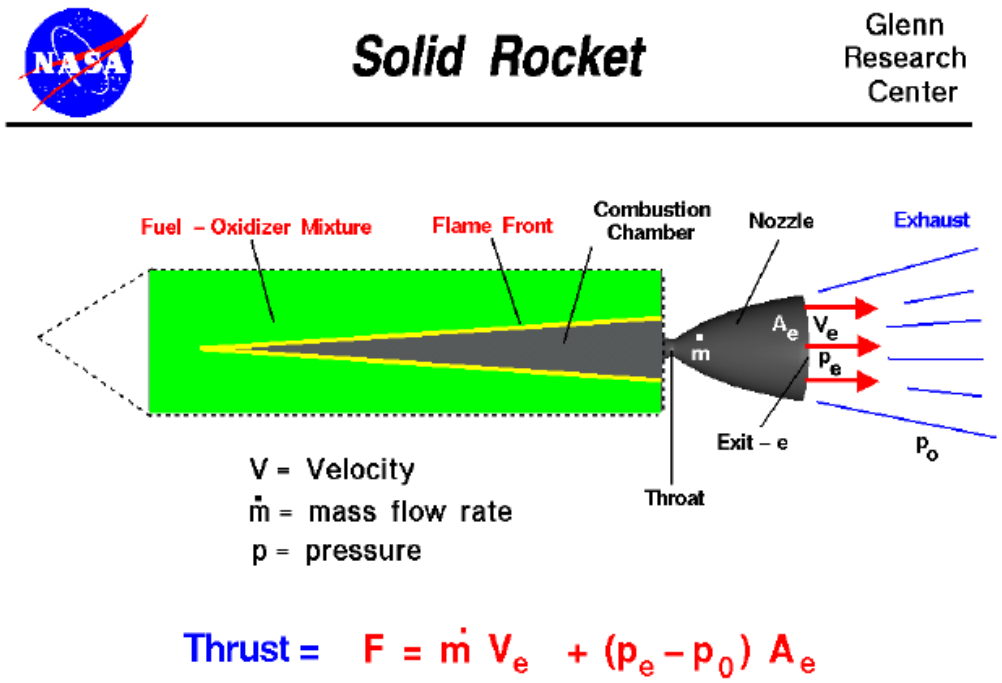
Existem outros tipos de motores-foguete como a gás frio, monopropelente, híbrido, plasma e nuclear.

O princípio do funcionamento de um motor-foguete é a 3ª lei do movimento de Newton, chamada de ação e reação: para cada ação (força) ocorre uma reação (força) de mesma magnitude mas em sentido contrário.

Um exemplo é dado por um balão de ar. Ao abrir a sua boca, ar sob pressão escapa para fora (força de ação), que provoca o movimento do balão no sentido oposto devido à força de reação.

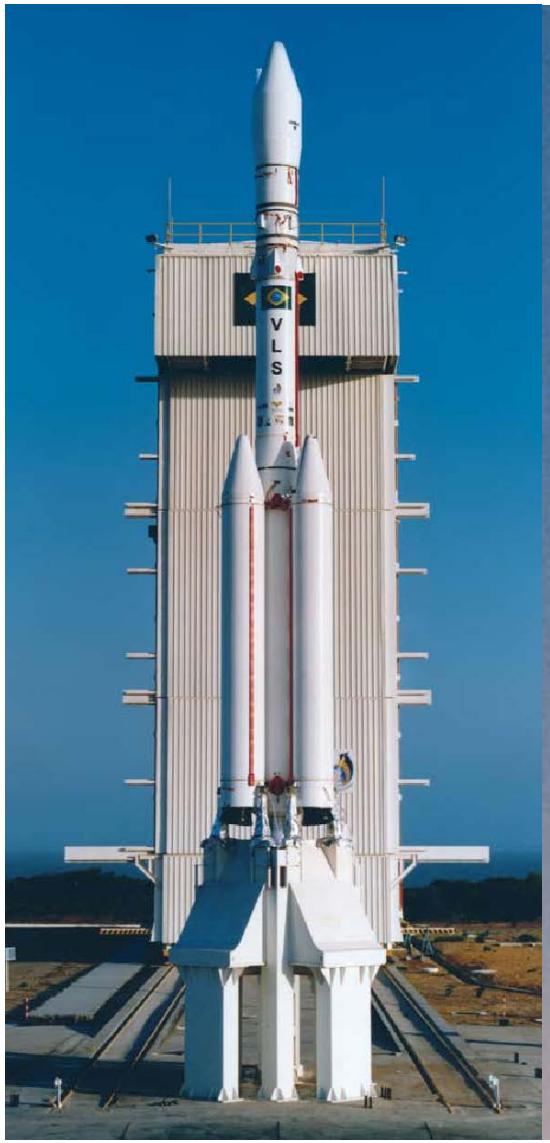
Encher e soltar um balão de ar

MOTOR-FOGUETE A PROPELENTE SÓLIDO



$$\text{Thrust} = F = \dot{m}\, V_e + (p_e - p_0)\, A_e$$

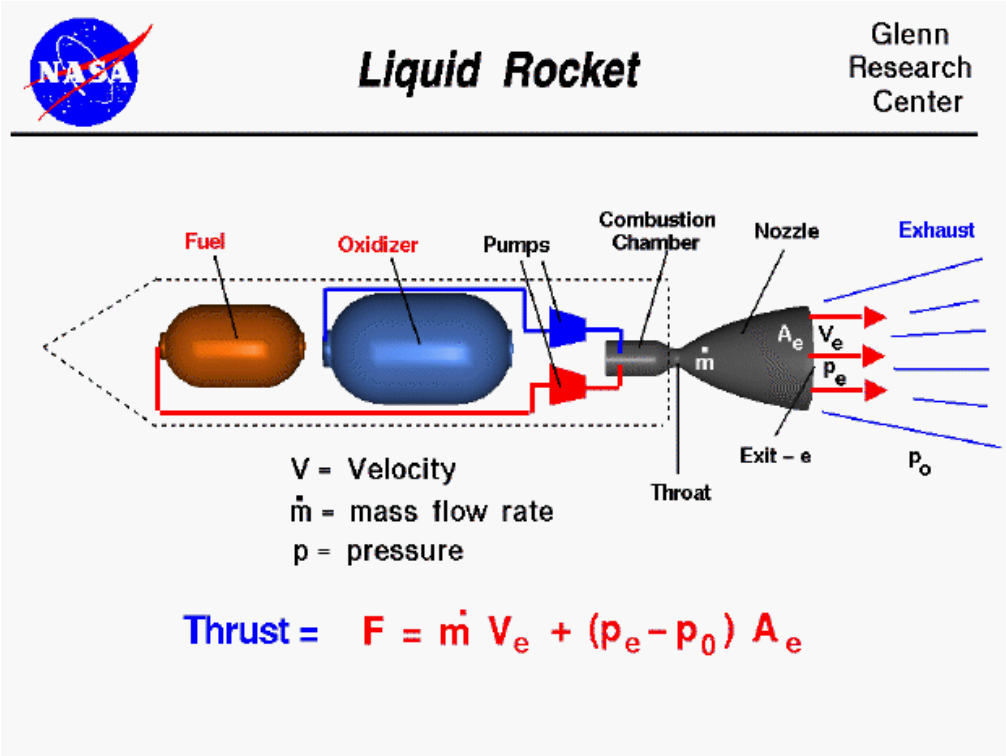
Mostrar fisicamente o motor-foguete Saturno



O foguete brasileiro VLS (19 m)

Space Shuttle Discovery (SRB 48 m)

MOTOR-FOGUETE A PROPELENTE LÍQUIDO



Mostrar fisicamente o motor-foguete do INPE de 200 N

Space Shuttle Discovery (56 m)

Foguete Saturno V com a nave Apollo 13 (111 m) [Shopping Itália = 112 m]

Motor-foguete SSME do Space Shuttle (4,3 m)

Motor-foguete F1 do foguete Saturno V (5,6 m)

O foguete de sondagem brasileiro VS-40.

Kit do minifoguete VS-40 da Bandeirante.

Minifoguetes são foguetes REAIS de pequeno porte.

Exceto os materiais usados em sua estrutura, um minifoguete é exatamente igual a um foguete real de grande porte, do tipo chamado de sondagem, porém em escala reduzida. Por exemplo, na figura esquerda é mostrado o foguete de sondagem brasileiro VS-40, que tem 9,50 metros de comprimento, 1,01 metro de diâmetro, pesa 6800 kg e pode atingir 650 km de altura. Já na figura direita é mostrado um kit de minifoguete comercial do VS-40, produzido pela empresa brasileira Boa Vista Modelismo, que tem 30 centímetros de comprimento, 3,2 centímetros de diâmetro, pesa 35 gramas e pode chegar a 300 metros de altura; este kit é portanto uma versão reduzida na escala 1:32 do foguete VS-40. Ambos, o foguete e o minifoguete VS-40 usam propelente sólido e têm estabilidade passiva através de empenas.

Outra definição é que um minifoguete é um foguete pequeno não profissional. O termo minifoguete também é usado para distinguir dos foguetes feitos por empresas ou instituições responsáveis pelo desenvolvimento dos programas espaciais de cada país, como o IAE (Instituto de Aeronáutica e Espaço) no Brasil, que projetou o foguete VS-40.

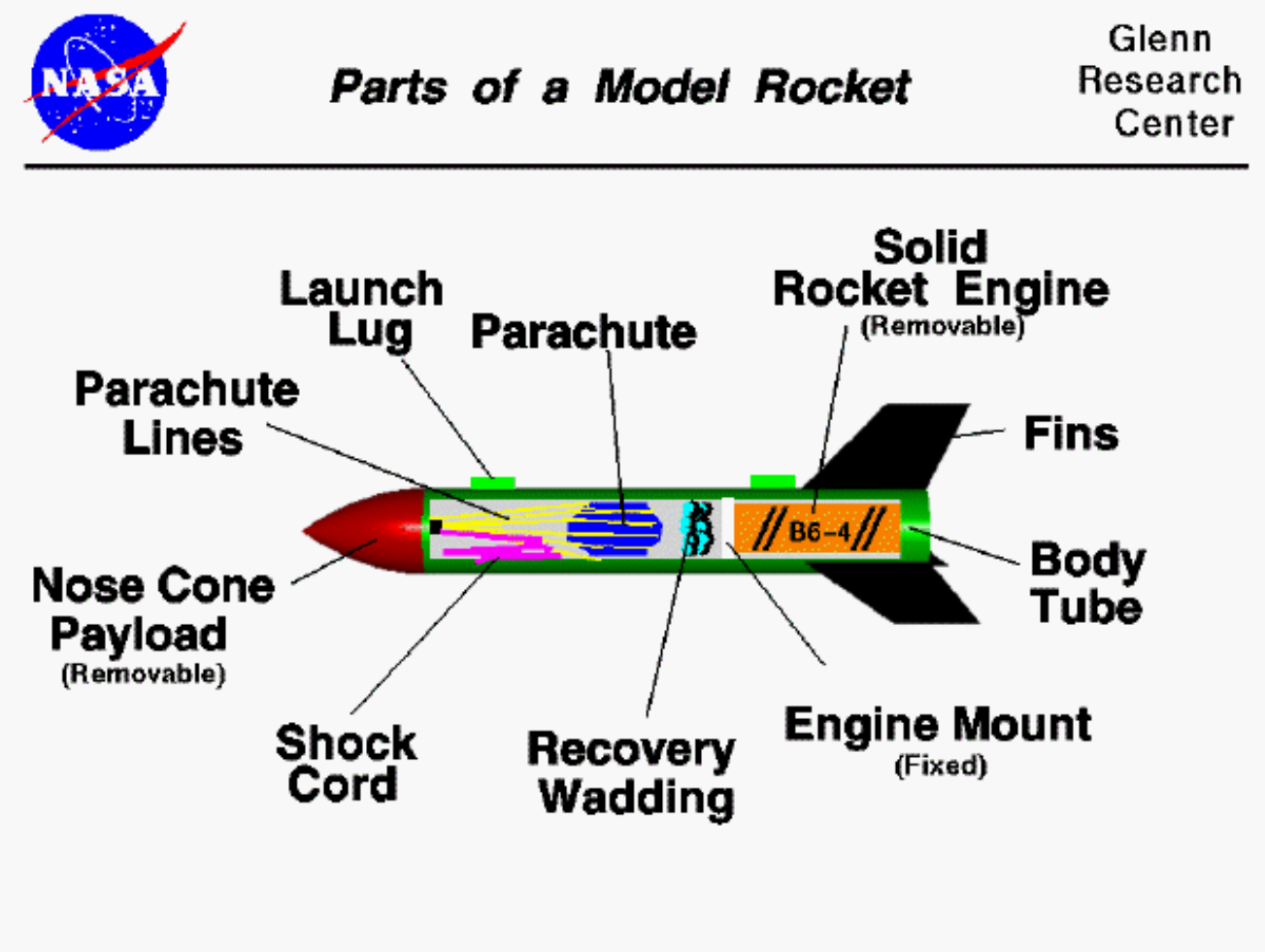
Nos Estados Unidos usa-se o termo *model rocket* e no Brasil são usados os termos minifoguete, espaçomodelo e foguetemodelo.

Não se deve confundir um minifoguete com um foguete de garrafa PET pois este não usa propelente de foguetes reais e sim líquidos que são ejetados em velocidades muito baixas da garrafa para gerar empuxo. Já os motores de foguetes como o VS-40 e os minifoguetes ejetam gases provenientes da queima do seu propelente em velocidade supersônica.

Os minifoguetes podem ser classificados em dois tipos:

1) Espaçomodelo, foguetemodelo, minifoguete educativo ou minifoguete comercial (*model rocket*)

2) Minifoguete experimental



Os **espaçomodelos** são comercializados na forma de kit com motores, e feitos de materiais não metálicos: papelão, madeira, plástico etc. Exemplo: **espaçomodelo VS-40**: kit comercial; materiais = papelão, fibra de vidro e plástico; comprimento = 300 mm; diâmetro = 32 mm; propelente = pólvora negra; massa de propelente = 10 g; massa total = 35 g; com paraquedas; apogeu = 300 m.

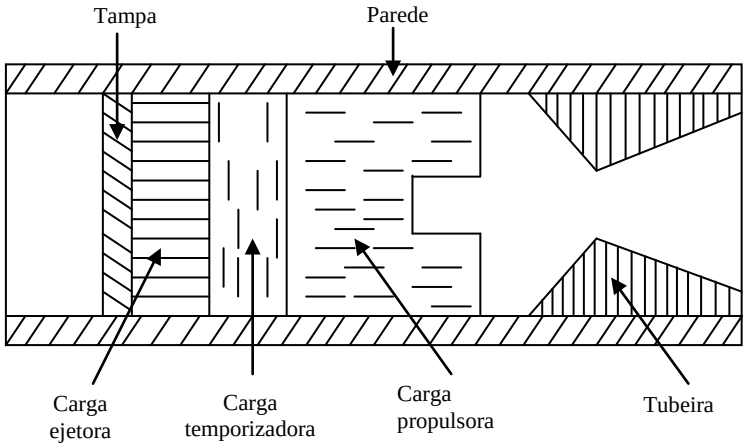
Mostrar fisicamente o kit do espaçomodelo VS-40

Mostrar fisicamente um espaçomodelo de baixo custo

Os **minifoguetes experimentais** não são industrializados. Eles são desenvolvimentos próprios, incluindo o propelente, e geralmente são metálicos.

Exemplo: **minifoguete experimental Netuno-R-Beta/Paraná-VIIb**: projeto do LAE/UFPR; materiais = ligas de alumínio, nylon, PVC, plástico etc; comprimento = 637 mm; diâmetro = 44 mm; propelente = sacarose e nitrato de potássio; massa de propelente = 131 g; massa total = 684 g; com paraquedas e 4 altímetros a bordo; apogeu = 804 m; tempo de voo = 54 s.

Mostrar fisicamente o minifoguete Netuno-R-Beta/Paraná-VIIb



Componentes de motor-foguete de espaçomodelo

Mostrar fisicamente um motor-foguete de espaçomodelo

CLASSIFICAÇÃO DOS MOTORES

De acordo com a Associação Nacional de Espaçomodelismo (National Association of Rocketry – NAR), dos Estados Unidos, os motores de espaçomodelos são classificados com um código composto por (NAR, 2004):

Código dos motores: **Letra Número1 – Número2**

- A letra indica a classe de impulso total (It) do motor, em newtons-segundos [N.s], conforme a Tabela 1.
- O primeiro número indica o valor do empuxo médio (Emed) do motor expresso em newtons [N]. Geralmente Emed é arredondado para um dígito significativo.
- O segundo número indica a duração em segundos [s] da queima da carga temporizadora. Geralmente seu valor é arredondado para um número inteiro.

Exemplo: **B 9 - 3**

Classe de impulso total

Empuxo médio

Duração da queima da carga temporizadora

Exemplo 2: **C 6 - 0**

Classe de impulso total

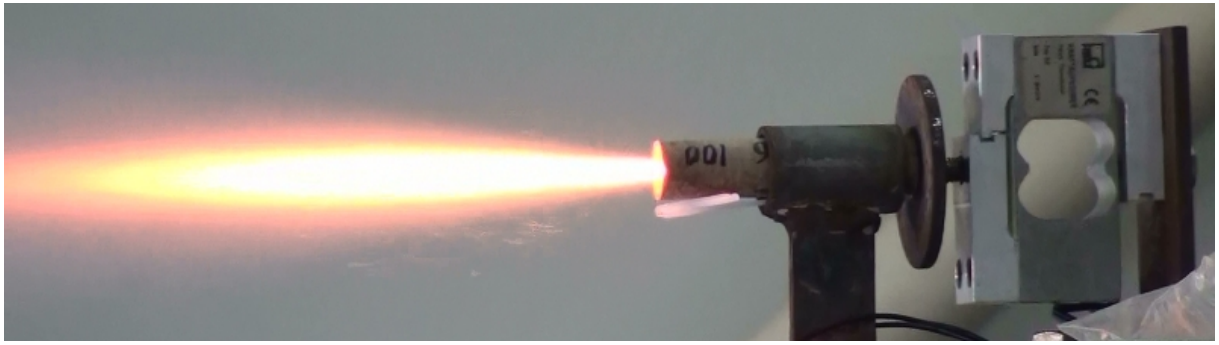
Empuxo médio

Duração da queima da carga temporizadora

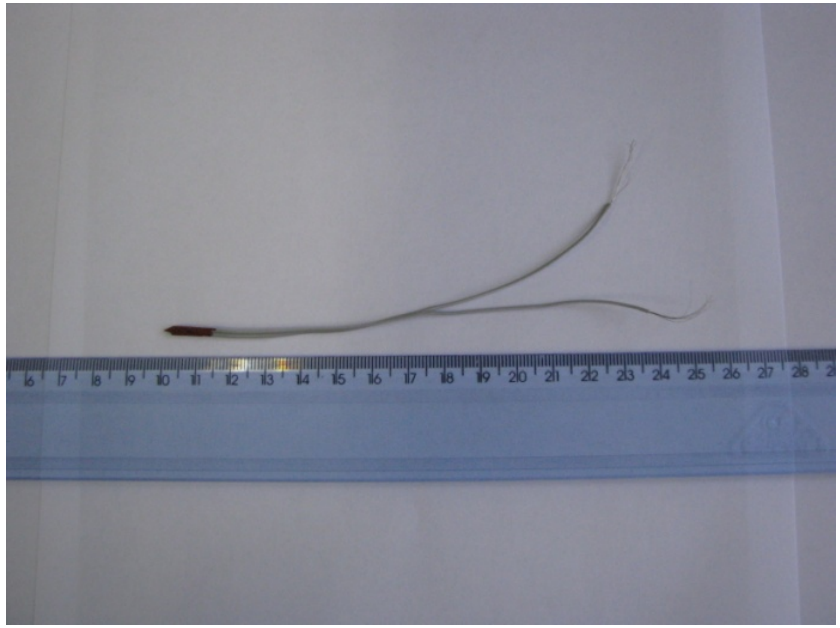
Classificação dos motores (NAR, 2004).

Classe do motor	Impulso total (It) [N.s]
⅛ A	0,00 a 0,3125
¼ A	0,3126 a 0,625
½ A	0,626 a 1,25
A	1,26 a 2,50
B	2,51 a 5,00
C	5,01 a 10,00
D	10,01 a 20,00
E	20,01 a 40,00
F	40,01 a 80,00
G	80,01 a 160,00

Baixo custo: classe ½A **VS-40: classe C** **Netuno-R-Beta: classe G** **Saturno: classe I**



Um motor-foguete Bandeirante do tipo C6-0 em funcionamento durante a aquisição de dados de sua curva de empuxo em banco estático.



Sistema de ignição do tipo Quest e ignitor do tipo Bandeirante.

Mostrar fisicamente um sistema de ignição e ignitores

PROPELENTES DE MINIFOGUETES

Alguns tipos de propelentes de minifoguetes são os seguintes:

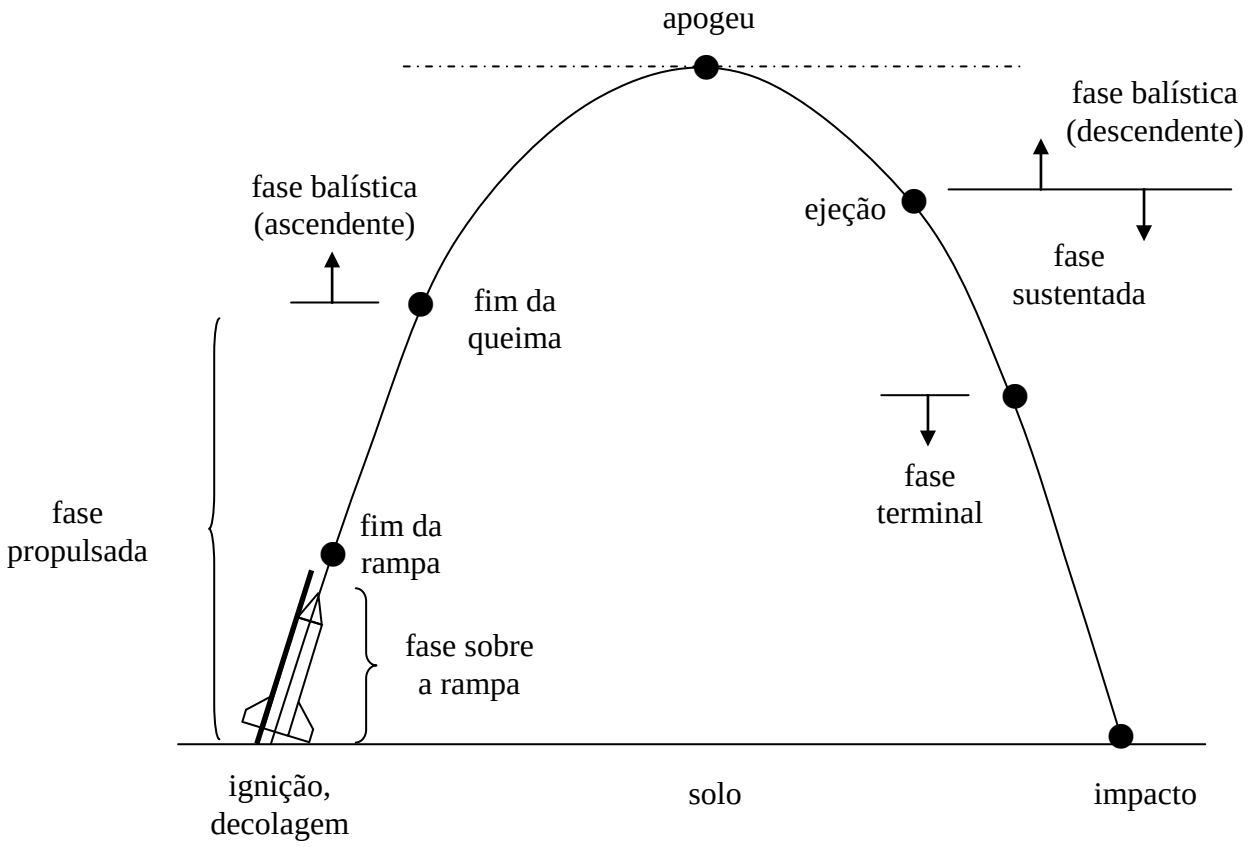
- **Espaçomodelos: pólvora negra = 14% C (carvão) + 14% S (enxofre) + 72% KNO_3 (nitrato de potássio). Is = 60 a 100 s.**

- Minifoguete experimental X-1: micrograin = 67% Zn (zinco) + 33% S (enxofre). Is ~ 30 s

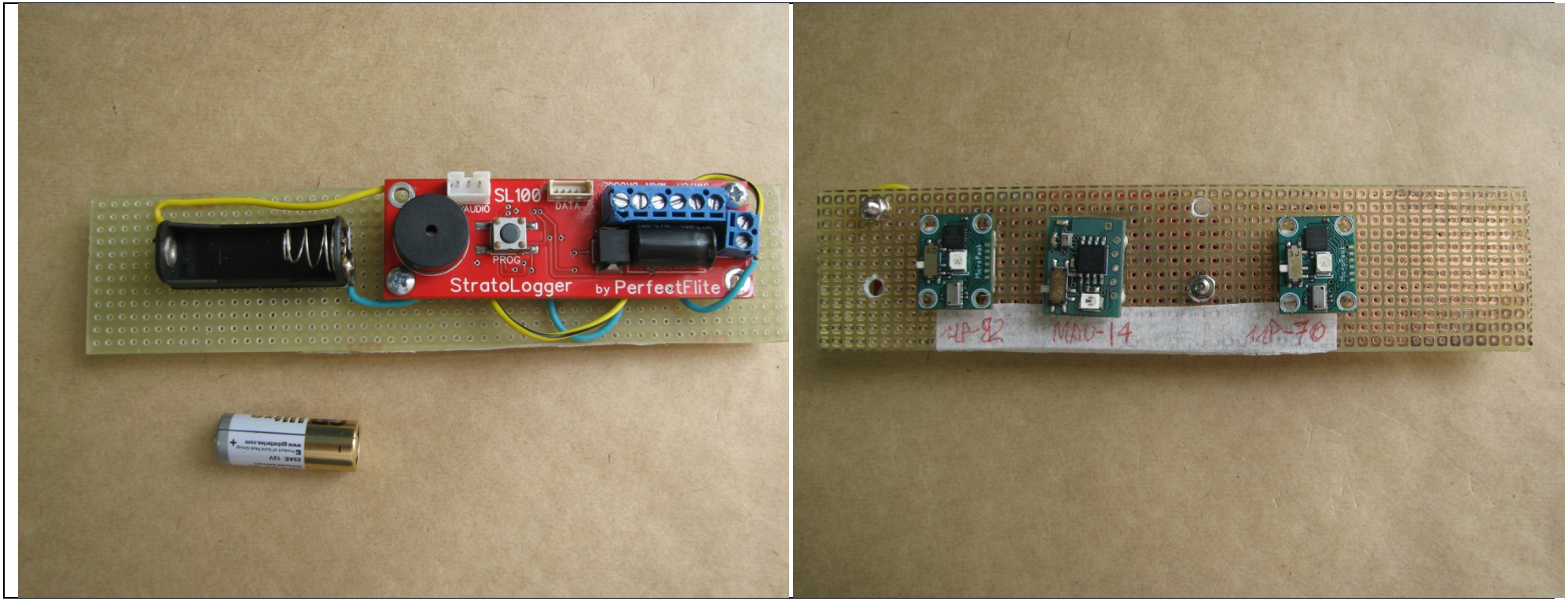
- **Minifoguete experimental Netuno-R: KNSu = 35% $C_{12}H_{22}O_{11}$ (sacarose) + 65% KNO_3 (nitrato de potássio). Is = 50 a 100 s**

- Composite = Al (alumínio) + NH_4ClO_4 (perclorato de amônia) + CTPB (polibutadieno carboxilado). Is = 150 a 180 s (espaçomodelos), e 220 a 280 s (foguetes).

- Como referência, em foguetes a propelente líquido: Is = 250 a 350 s.



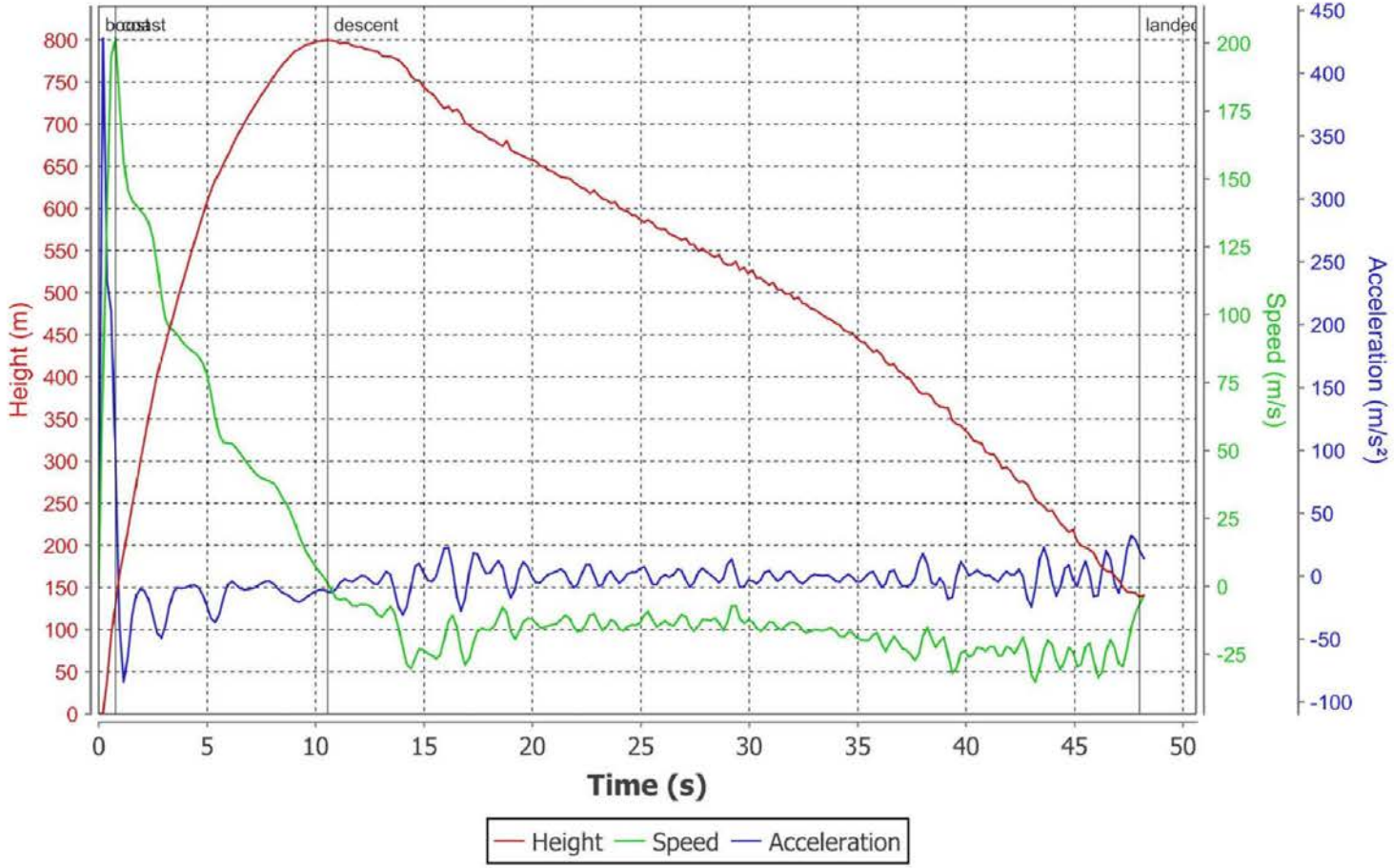
Trajetória de minifoguete.



4 altímetros de bordo (3 tipos) usados no voo do Netuno-R-Beta/Paraná-VIIb em 7 Set 2017

Mostrar fisicamente altímetros de bordo

NRB-PR7b_mp-82_LT-2017-09-07.mpd



III Campanha de Popularização dos Minifoguetes

12 de outubro de 2018

Local:
Centro Politécnico
da UFPR
em Curitiba (PR)

Evento aberto a
qualquer pessoa (crianças
e adultos) da comunidade

Informações/Inscrição:
www.foguete.ufpr.br

Contato:
chmcfd@gmail.com

Programa:
- Oficina de minifoguete
- Palestra sobre foguetes e minifoguetes
- Lançamentos de minifoguetes
- Exposição de minifoguetes

LAE
Laboratório de atividades espaciais

Grupo de foguetes
Carl Sagan
2005

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VI FESTIVAL BRASILEIRO DE MINIFOGUETES

>>>>>
27/ ABRIL
a 01/MAIO
2019

CURITIBA | PINHAIS | CAMPO LARGO

> COMPETIÇÕES

Ensino Médio
Ensino Fundametal
Livre de 50 a 3048 metros.

> EXPOSIÇÃO
> MINICURSOS
> WORKSHOP

informações:
www.foguete.ufpr.br
minifoguete.blogspot.com
minifoguete@gmail.com

Organização:

Apoio:

UFPR
UNIVERSIDADE POSITIVO
AEB AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA
UTFPR
OBA OLIMPÍADA BRASILEIRA DE ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA

Associação Brasileira de Minifoguetes - BAR - Brazilian Association of Rocketry

Links recomendados

Site de curso sobre minifoguete do GFCS/UFPR: http://ftp.demec.ufpr.br/foguete/; seguir o arquivo Aulas_TMEC-056_2018-2.pdf

Blog do GFCS/UFPR: http://fogueteufpr.blogspot.com.br/

Site do GFCS/UFPR: http://www.foguete.ufpr.br/

Facebook do GFCS/UFPR: https://www.facebook.com/gfcsufpr/

Blog da BAR e seus eventos: http://minifoguete.blogspot.com.br/

Facebook do Festival de Minifoguetes: https://www.facebook.com/groups/minifoguete/

E-mail da BAR: minifoguete@gmail.com

Fabricantes de espaçomodelos e componentes etc:
- www.apogeerockets.com
- www.boavistamodelismo.com.br (brasileiro)

E-mail Marchi: chmcfd@gmail.com

Minifoguete com custo < R$ 2 que será lançado.

NORMAS BÁSICAS DE SEGURANÇA

Siga as orientações da equipe responsável pelos lançamentos.

Mantenha uma distância segura do minifoguete no momento que ele for lançado.

Acompanhe visualmente o voo do minifoguete até o seu pouso.

Caso o minifoguete venha contra você, afaste-se.

Caso você perca o minifoguete de vista, olhe na horizontal ou para baixo até saber que ele pousou.