

Iniciando no FOGUETEMODELISMO: manual básico do FOGUETEIRO

Prof. Carlos Henrique Marchi

(fogueteiro desde 1981)

Departamento de Engenharia Mecânica

Universidade Federal do Paraná (UFPR) – Curitiba

Grupo de Foguetes Carl Sagan (GFCS) – 2005

Laboratório de Atividades Espaciais (LAE) – 2011

minifoguete@gmail.com

20 Jul 2021

Esta apresentação é indicada para

- alunos e professores do ensino fundamental
- alunos e professores do ensino médio
- alunos universitários
- não estudantes
 - sem experiência prática com minifoguetes
 - com pouca experiência prática com minifoguetes
 - sem conhecimentos sobre foguetemodelismo e minifoguetes

Objetivos desta apresentação

- Mostrar como formar um grupo de foguetemodelismo para motivar os membros a estudar e praticar ciência e tecnologia com minifoguetes; mas também se aplica a pessoas isoladas que queiram praticar o foguetemodelismo
- Apresentar alguns conceitos e definições básicas
- Fazer recomendações gerais sobre foguetemodelismo
- Mostrar como criar infraestrutura básica para as atividades práticas
- Indicar atividades práticas a executar com foguetemodelos
- Indicar eventos para participar de competições de foguetemodelismo adequados a fogueteiros iniciantes ou com pouca experiência
- Comentários finais
- Apêndice com links e outras informações

Conceitos e definições

Norma BAR-2/2020: nomenclatura básica de foguetemodelismo

Define foguetemodelismo, foguetemodelo, minifoguete, classificação de motor-foguete, fogueteiro, tipos de teste etc.

BAR = Brazilian Association of Rocketry (Associação Brasileira de Minifoguetes)

Videoaula de 1h59min com conceitos básicos sobre Foguetes e Minifoguetes

- Alguns tipos de motores-foguete operacionais
- Motor-foguete a propelente sólido
- Motor-foguete a propelente líquido
- Cálculo do empuxo de um motor-foguete
- Minifoguetes
- Minifoguetes x foguetes

[Arquivo PDF apresentado na videoaula com texto e figuras](#)

Videoaula em inglês de 58min sobre minifoguetes: [It's Rocket Science!](#)

Minifoguete: é um foguete real de pequenas dimensões, ou seja, é um veículo propulsado por motor-foguete e que atinge apogeu inferior a 12 km.

Os minifoguetes podem ser classificados em dois tipos:

- 1) **Foguetemodelo (FM)**: minifoguete constituído por motor-foguete comercial até a classe G (160 N.s de impulso total) e que usa apenas materiais de densidade baixa como papel, papelão, madeira leve como balsa, plásticos, borracha, isopor, fibra de vidro, fibra de carbono etc, e pequena quantidade de metal como em altímetros. Não deve conter grandes componentes metálicos nem usar motor-foguete experimental. Em inglês: *model rocket*.
- 2) **Minifoguete experimental (MFE)**: minifoguete sem restrições quanto aos materiais empregados e que usa motor-foguete experimental (não comercial). Também é considerado um MFE o minifoguete que usa motor-foguete comercial da classe H ou superior. Em inglês: *high power rocket*.

Esta apresentação não aborda MFE, propelentes, projeto de motor etc; ela abrange apenas foguetemodelos que usam motor-foguete comercial.

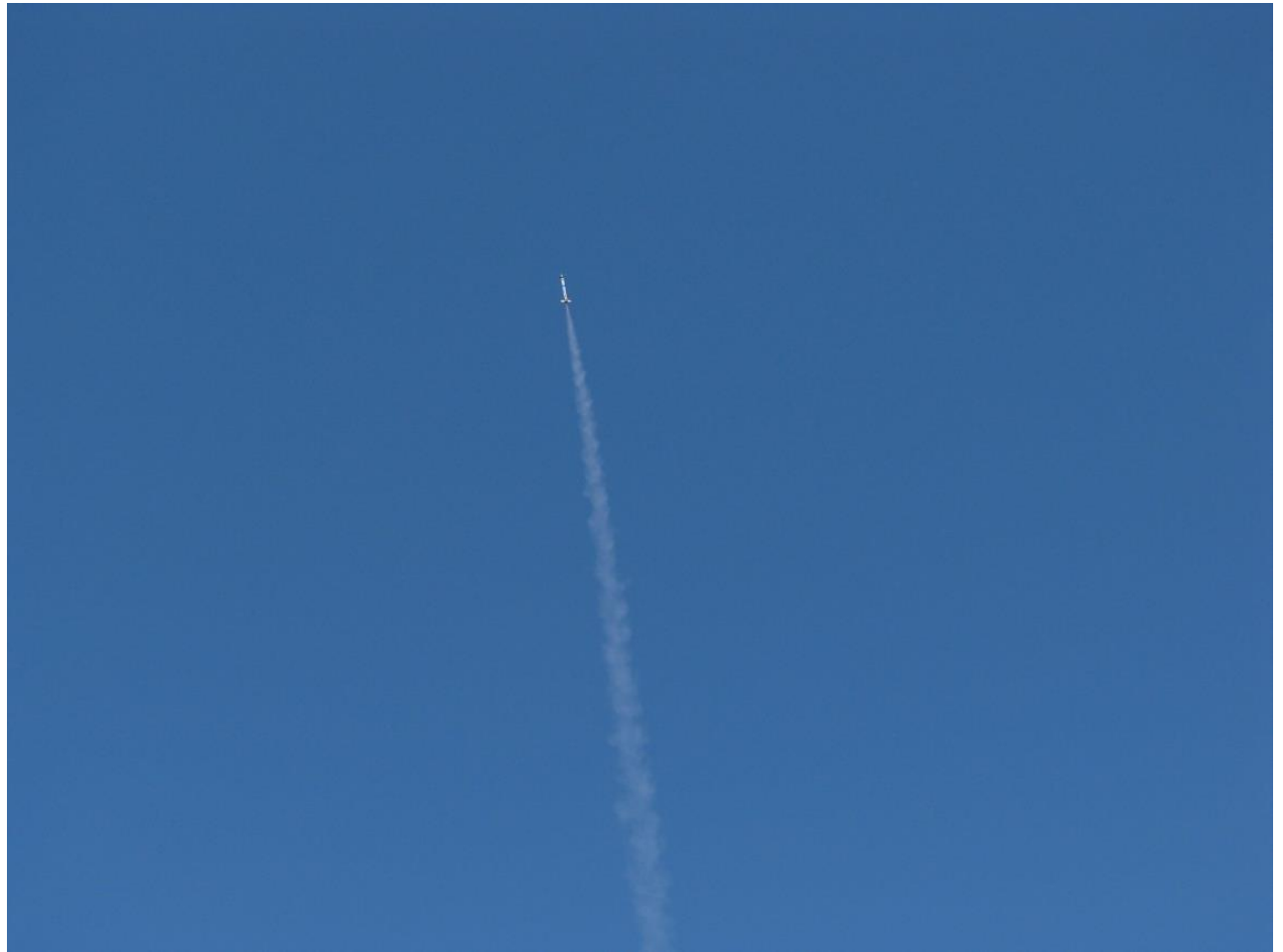
Foguetemodelo VS-40 / Bandeirante (Brasil) / H = 100 m / B6-0 / GFCS / LT 7 Set 2017



O foguete de sondagem brasileiro VS-40.



Kit do minifoguete VS-40 da Bandeirante.



Propelente: pólvora negra = 14% C (carvão) + 14% S (enxofre) + 72% KNO_3 (nitrato de potássio).



Foguetemodelo Alfa-20 / Miraglia

D = 24,3 mm

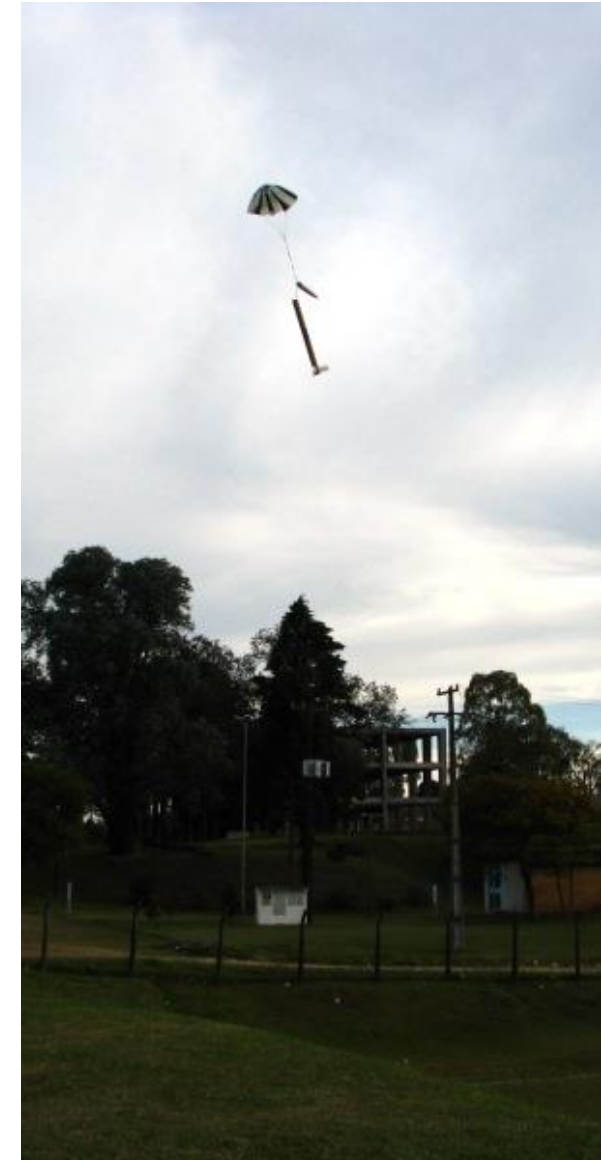
L = 434 mm

M = 123 g

Motor: C6-5 / Bandeirante

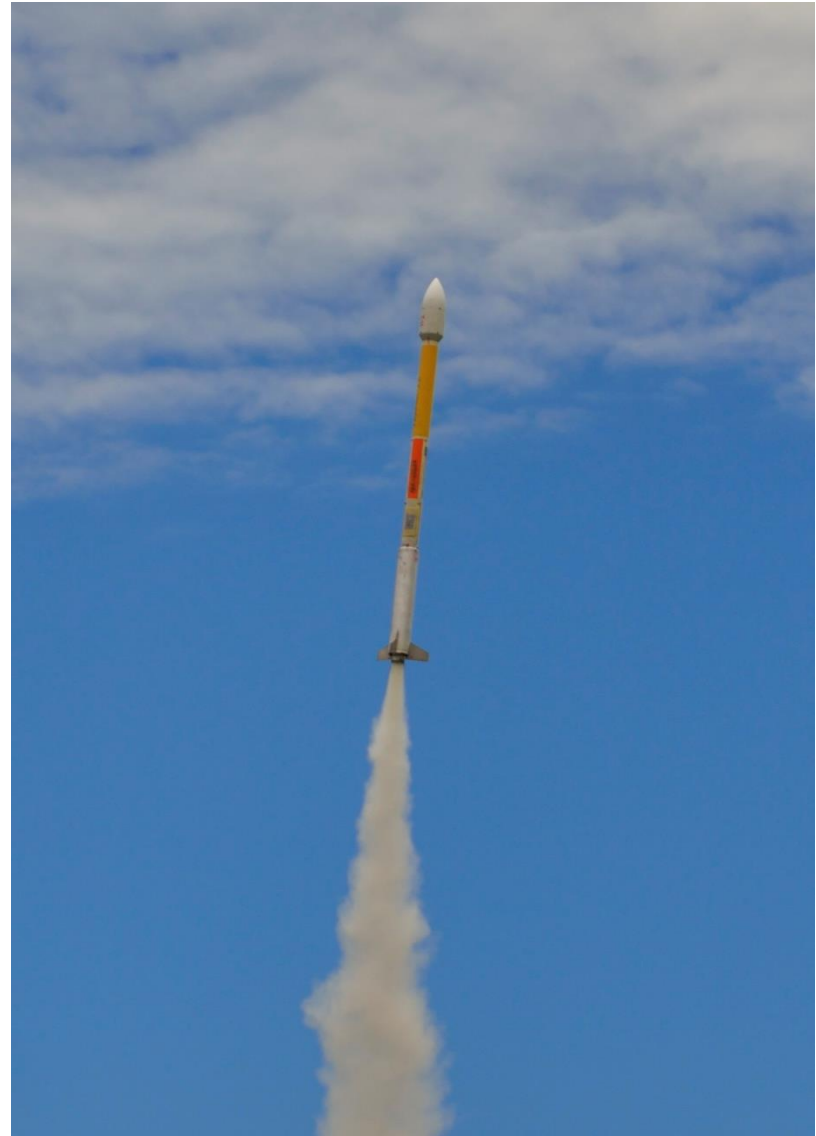
GFCS / LT 23 Jun 2011

H = 89 m



Vídeo do LT FM Alfa-20: <https://youtu.be/cm5r3Rcp6UU>

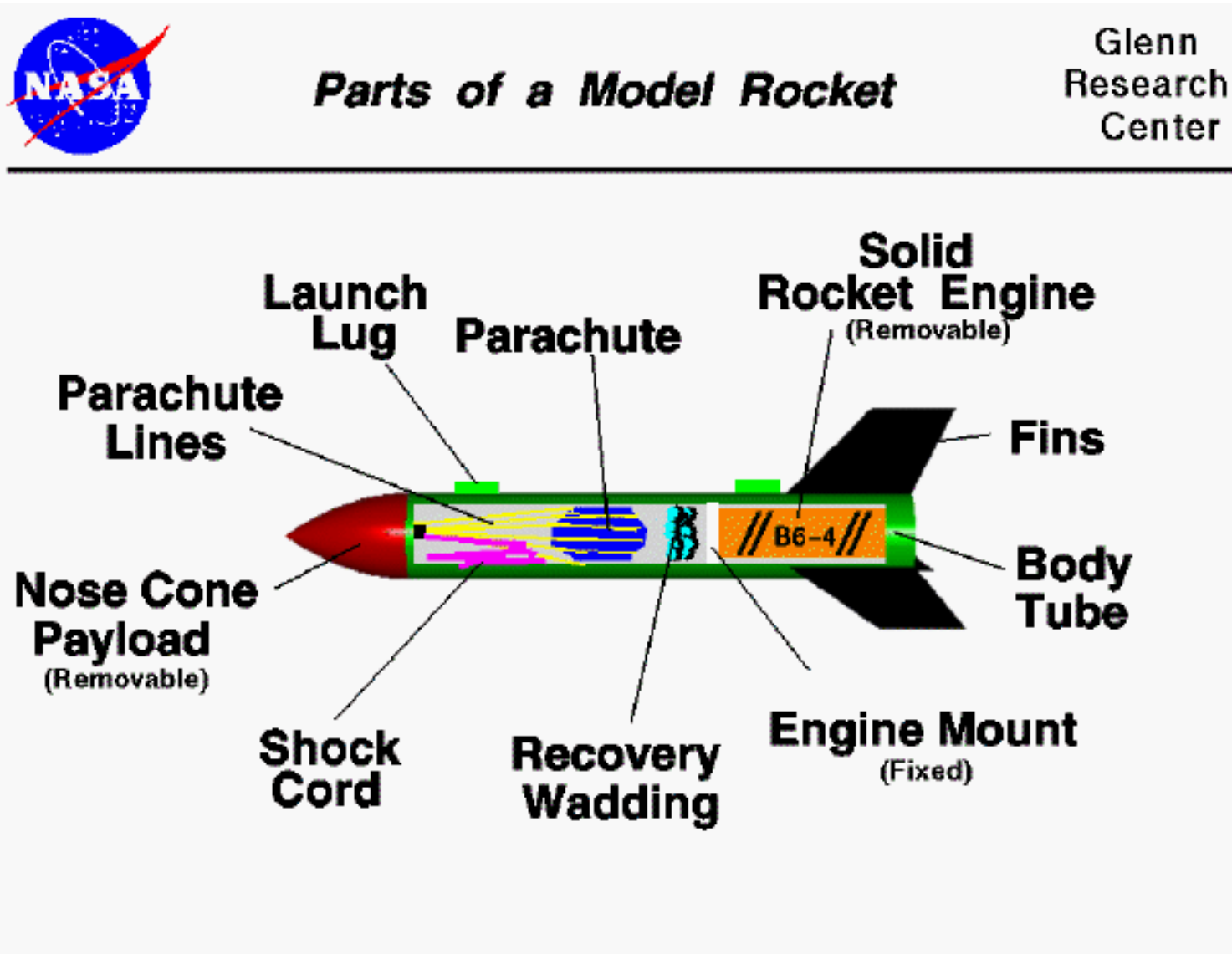
MFE Urano/Paraná-20 / GFCS / H = 999 m / voo em 15 Jan 2019



Propelente: KNSu = 35% açúcar + 65% fertilizante de nitrato de potássio



Componentes de foguetemodelo



Classificação dos motores segundo a NAR

Adaptado para português

NAR = National Association of Rocketry – Estados Unidos

Tipo de minifoguete	Categoria	Classe do motor	Impulso total (It) [N.s]		
FM foguetemodelo	Micro	$\frac{1}{8}$ A	0,00	a	0,3125
		$\frac{1}{4}$ A	0,3126	a	0,625
	Baixa potência	$\frac{1}{2}$ 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
		Média potência	E	20,01	a
	F		40,01	a	80,00
	G		80,01	a	160,00
MFE minifoguete experimental	Nível 1	H	160,01	a	320,00
		I	320,01	a	640,00
	Nível 2	J	640,01	a	1280,00
		K	1280,01	a	2560,00
		L	2560,01	a	5120,00
	Nível 3	M	5120,01	a	10240,00
		N	10240,01	a	20480,00
		O	20480,01	a	40960,00

Teste estático de motor-foguete comercial



$D = 17 \text{ mm}$ $L = 77 \text{ mm}$

$M_o = 19,9 \text{ g}$

Propelente: pólvora negra

$M_p = 9,2 \text{ g}$

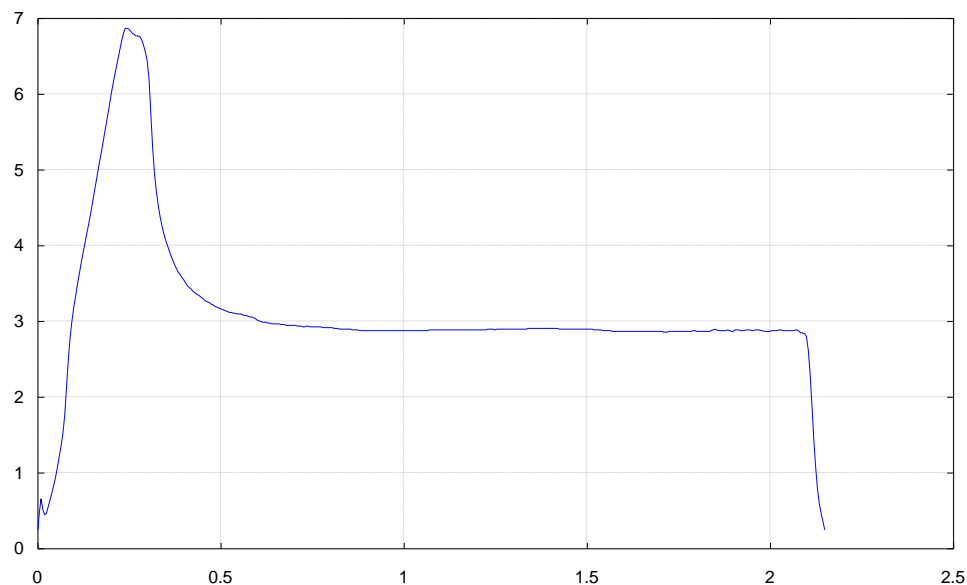
$M_f = 10,7 \text{ g}$

$I_t = 6,65 \text{ N.s}$

$t_q = 1,90 \text{ s}$

$E_{med} = 3,51 \text{ N}$

Motor BT-100, TE 27 Jul 2010, Curva_empuxo 1.2



Thu Sep 02 15:43:33 2010

tempo (s)

Vídeo:

https://youtu.be/X7_pM8bshzA

TE do motor BT-130

Classe: C6-0

Fabricante: Bandeirante

Realização: GFCS / UFPR

Data: 13 Set 2010

Local: LMH / UFPR

Recomendações gerais

- Leia e estude a [Norma BAR-1/2020](#): código de segurança para foguetemodelo de baixo impulso total (até 20 N.s); envolve principalmente aspectos sobre o lançamento de foguetemodelo.
- Leia e estude a postagem [Amplitude do controle do Exército sobre minifoguetes](#).
- Faça o curso [Foguetemodelismo básico online](#), de 45 horas, que apresenta teoria, aplicativos, exemplos práticos, vídeos e fotos. São 27 videoaulas que abordam os seguintes tópicos:
 - Introdução: definições sobre foguetes e minifoguetes
 - Motor-foguete para foguetemodelo, aplicativo Curva-Empuxo e testes estáticos
 - Estabilidade de foguetemodelo e aplicativo AeroCP
 - Aerodinâmica de foguetemodelo e aplicativo CD
 - Trajetória de foguetemodelo e aplicativo Trajetória
 - Análise de voo de foguetemodelo, com estimativa do apogeu e aplicativo Apogeu
 - Normas e legislação sobre foguetemodelos
 - Lançamentos de foguetemodelos
 - Equipamentos de bordo para minifoguetes, incluindo altímetros e localizadores
 - Competições de minifoguetes
- Leia e estude o livro “STINE, G. H. **Handbook of Model Rocketry**. 7 ed. New York: Wiley, 2004.”

- Leia e estude o relatório “Marchi, C. H. [Relatório técnico final do projeto Desenvolvimento de kit didático de minifoguetes para difusão e popularização da Astronáutica](#). Curitiba: UFPR, 2011.”
- Você deve medir/pesar, anotar, fotografar e filmar o projeto, montagem, testes e lançamento dos seus minifoguetes: dados, anotações e imagens ajudam a repetir o que já foi feito e funcionou, entender os problemas que ocorreram, assim como analisar resultados visando melhorar os próximos projetos de minifoguetes e aumentar a segurança das atividades. Veja exemplos de relatórios [AQUI](#).
- Você deve fazer relatórios dos testes. Veja exemplos de relatórios [AQUI](#).
- Você deve divulgar na internet as realizações mais relevantes do seu grupo/equipe de foguetemodelismo. Exemplos:
 - [Recorde de apogeu de minifoguete com motor da classe H](#)
 - [Recordes de motores desenvolvidos pelo GFCS/UFPR](#)
 - [Recordes de apogeu de minifoguetes desenvolvidos pelo GFCS/UFPR](#)
- Você deve participar de grupos de foguetemodelismo na internet. Exemplo: [Festival Brasileiro de Minifoguetes e BAR](#)
- Leia e estude a [Norma BAR-2/2020: nomenclatura básica de foguetemodelismo](#)
- Para aprofundar conhecimentos teóricos sobre foguetemodelismo, veja o site da NASA em <https://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/rocket/shortr.html>

- Para projetar foguetemodelo você pode usar o [aplicativo RockSim 7](#). Estão disponíveis 4 tutoriais dele:
 - [Tutorial 1](#): cálculo do centro de pressão de minifoguete
 - [Tutorial 2](#): cálculo do coeficiente de arrasto de minifoguete
 - [Tutorial 3](#): cálculo de trajetória de minifoguete
 - [Tutorial 4](#): inclusão de curva de empuxo de motor-foguete
- Para projetar foguetemodelo você também pode usar o [aplicativo OpenRocket](#)
[Videoaula em português sobre uso do OpenRocket](#)
- Há muito material sobre foguetemodelismo no link <http://ftp.demec.ufpr.br/foguete/bibliografia/>
- Faça contato com algum grupo de foguetemodelismo mais avançado da sua região para visitas e obtenção de informações; por exemplo, o [Grupo de Foguetes Carl Sagan](#) está aberto a visitas e mostrar suas atividades a qualquer interessado da região de Curitiba, do estado do Paraná e do Brasil.
- **Se você tem menos de 18 anos, as atividades que envolvem manuseio de motor-foguete comercial devem ser feitas sob a supervisão de um adulto.**
- Sites recomendados de associações:
 - <http://minifoguete.blogspot.com.br/> (BAR - Brasil)
 - www.nar.org (Estados Unidos)
 - www.tripoli.org (Estados Unidos)

- Sites recomendados que vendem kits de foguetemodelos, componentes etc:
 - www.apogeerockets.com (Estados Unidos)[quase tudo pode ser importado; motores, não]
 - www.boavistamodelismo.com.br (Brasil) [kits e motores de foguetemodelos]
- Meu canal no Youtube com vídeos sobre testes de motores-foguete, lançamentos de minifoguetes, eventos, cursos etc: <https://www.youtube.com/c/CarlosHenriqueMarchi>

Infraestrutura básica recomendada

Motores-foguete:

- Improvisados e baratos de [foguetes-de-vara](#), das classes 1/8A, 1/4A, 1/2A, A, B e C, de vários fabricantes brasileiros; encontrados em lojas de fogos-de-artifício
- Próprios para foguetemodelismo, das classes 1/2A, A, B e C, da fabricante brasileira [Bandeirante](#)

Minifoguetes/foguetemodelos:

- Como montar um [minifoguete de baixo custo \(menos de R\\$ 2\)](#)
- Kits comerciais de minifoguetes da fabricante brasileira [Bandeirante](#); recomenda-se começar com o [foguete básico](#) que custa R\$ 45.

Sistema de ignição (para acionar o motor-foguete à distância segura):

- Pode-se fazer um improvisado com 10 metros de fio duplo de 1 mm e bateria de 9 V
- [Comerciais](#) vendidos pela empresa [Apogee](#) dos Estados Unidos custando de US\$ 28 a 91.

Ignitores/squibs (para ligar o motor-foguete):

- Comercial vendido pelo [Mercado Livre](#) com 10 por R\$ 26
- Casas de fogos-de-artifício
- [Bandeirante](#) com 10 por R\$ 20

Rampa de lançamento ([para lançar o minifoguete na direção desejada](#)):

- Pode-se fazer uma improvisada com haste de madeira ou metal de 2 a 3 mm de diâmetro e 30 a 50 cm de comprimento fincada no solo
- [Comerciais](#) vendidas pela empresa [Apogee](#) dos Estados Unidos custando de US\$ 28 a 55.

Local para lançamentos:

- Tamanho do local: ver [Norma BAR-1/2020](#): código de segurança para foguetemodelo de baixo impulso total (até 20 N.s)
- Sobre uso do espaço aéreo: ver a postagem [Como obter autorização da Aeronáutica para lançar minifoguetes](#)

(Se o apogeu estimado para o foguetemodelo for superior a 150 metros em área rural ou a 300 metros em área urbana, deve ser obtido antes do lançamento um NOTAM através do CINDACTA com jurisdição sobre o local de lançamento. Deve-se ter autorização do proprietário do local a ser realizado o lançamento.)

Se for possível, compre um altitrack (para estimar o apogeu do minifoguete)

- [Importado por US\\$ 18](#)
- Pode-se fazer um improvisado com transferidor, barbante e peso

Se for possível, compre um altímetro (para medir o apogeu alcançado pelo minifoguete):

- [MicroPeak](#): importado por US\$ 35 da [Apogee](#) dos Estados Unidos; ele precisa de um [descarregador](#) de dados para o computador que custa US\$ 58.
- O GFCS/UFPR divulgou um projeto de altímetro com Arduino: o [LAE-P](#)
- A [equipe Topus divulgou um projeto de altímetro com Arduino](#)

Se for possível, consiga uma sala para guardar os equipamentos, materiais, minifoguetes, realizar reuniões, montar minifoguetes etc.

Se for possível, faça um banco estático (para calcular o desempenho de motor-foguete):

- Uma forma improvisada e barata de banco estático está disponível [AQUI](#).
- Pode-se fazer um banco estático de melhor qualidade com Arduino.

Sugestões de experimentos a fazer com o minifoguete de baixo custo (menos de R\$ 2)

Objetivos:

- Obter noções de velocidades, tempos e apogeus dos minifoguetes
- No que for possível, comparar cálculos teóricos com o que for medido nos voos reais; por exemplo: tempo de voo até o apogeu, tempo total de voo, apogeu

Experimentos recomendados:

- Repetibilidade: fazer 3 a 5 minifoguetes idênticos, lançá-los e comparar os resultados; por exemplo, verificar o apogeu (altura máxima) alcançado nos diversos voos, o tempo de voo até o apogeu, o tempo de voo total etc.; com isso você terá noção do impacto nos resultados causados pelas diferenças pequenas da geometria e massa dos minifoguetes, diferenças dos motores, efeito do vento, temperatura e pressão do ar etc.
- Comparar o apogeu do minifoguete obtido com altímetro e com estimativa do apogeu obtida com técnicas semiempíricas (trigonometria e ângulo do apogeu real, por exemplo, com altitrack).
- Testar tamanhos diferentes de empenas para verificar o seu efeito sobre o apogeu, tempo de voo total e estabilidade do minifoguete.
- Testar número de empenas diferentes (geralmente se usam 3 ou 4) para verificar o seu efeito sobre o apogeu, tempo de voo total e estabilidade do minifoguete.

- Testar comprimentos diferentes do tubo-foguete para verificar o seu efeito sobre o apogeu e tempo de voo total.
- Testar massas de decolagem diferentes para verificar o seu efeito sobre o apogeu e tempo de voo total.
- Testar o efeito do uso de motores maiores e menores.
- Pedir para 3 pessoas cronometrarem o tempo de voo até o apogeu e o tempo total de voo; analisar os resultados

Observações:

- Os efeitos dos testes acima poderão ser verificados com o uso de cronômetro para medir o tempo de voo até o apogeu e o tempo de voo total.
- Também é muito interessante verificar os efeitos sobre o apogeu, que pode ser obtido com altímetro ou através de técnicas semiempíricas (trigonometria e ângulo do apogeu real, por exemplo, com altitrack).

Sugestões de experimentos a fazer com o kit comercial foguete básico que custa R\$ 45

Experimentos recomendados:

- Repetibilidade: fazer 3 a 5 minifoguetes idênticos, lançá-los e comparar os resultados; por exemplo, verificar o apogeu (altura máxima) alcançado nos diversos voos, o tempo de voo até o apogeu, o tempo de voo total etc. E concluir se o apogeu obtido está de acordo com o que o fabricante informa.
- Alterar o minifoguete para que o tempo de voo total seja de 10 segundos.
- Alterar o minifoguete para que o seu apogeu seja de 100 metros.

Sugestões de experimentos a fazer com algum minifoguete que você queira projetar

Experimentos recomendados:

- Repetibilidade: fazer 3 a 5 minifoguetes idênticos, lançá-los e comparar os resultados; por exemplo, verificar o apogeu (altura máxima) alcançado nos diversos voos, o tempo de voo até o apogeu, o tempo de voo total etc.
- Usando componentes de algum kit de minifoguete comercial e/ou componentes improvisados, tentar quebrar algum [recorde brasileiro de minifoguetes](#); por exemplo, o maior apogeu para minifoguete com motor da classe A
- Se for bem-sucedido, peça o registro do seu recorde.

Eventos indicados a participar de competições de foguetemodelismo adequados a fogueteiros iniciantes ou com pouca experiência

Festival Brasileiro de Minifoguetes (2020)

Provavelmente o próximo será em 2022 em São José dos Campos (SP)

- Tempo de voo total de 10 segundos (t10) para alunos do ensino fundamental
- Apogeu de 50 metros (H50) para alunos do ensino médio
- Apogeu de 100 metros (H100) para qualquer tipo de participante

Maratona Aberta de Minifoguetes 2021

1º Dez 2021 a 28 Fev 2022; local dos lançamentos: livre; 70 categorias

- Para alunos do ensino fundamental: t7, H50, Classe A
- Para alunos do ensino médio: t10, H50, H100, Classe A e Classe B
- Popularização (livre): Espectador, Telespectador, Equipe, YouTube, Instagram, Facebook, Twiter
- Livre: t7, t10 e t15
- Livre: H50, H75, H100, H150 e H200
- Livre: Classes 1/8A, 1/4A, 1/2A, A, B e C

Comentários Finais

- Esta palestra foi preparada a pedido da profa. Simone e aluna de engenharia mecânica Mayra da UFPI que desejam formar um grupo de foguetemodelismo.
- Na descrição desse vídeo no YouTube há um link para acessar o arquivo PDF desta apresentação.
- [Vídeo de Pablo Contreras sobre o V Festival Brasileiro de Minifoguetes \(2018\)](#)
- Fico à disposição para ajudar qualquer fogueteiro no que for possível
- Perguntas?

APÊNDICE

Seguem algumas informações sobre a BAR (Associação Brasileira de Minifoguetes):

Para ficar sócio da BAR veja a postagem que está no link: <http://minifoguete.blogspot.com.br/2018/02/torne-se-socio-da-bar.html>

Site com informações sobre a BAR: <http://www.foguete.ufpr.br/BAR/index.htm>

Notícias da BAR: <http://servidor.demec.ufpr.br/foguete/BAR/Noticias/>

Boletim técnico da ABAEE/BAR: http://servidor.demec.ufpr.br/foguete/Boletim_Aeroespaconautica/

Blog da BAR: <http://minifoguete.blogspot.com.br/>

Depósito de arquivos da BAR: <http://servidor.demec.ufpr.br/foguete/BAR/>

Facebook da BAR e do Festival de Minifoguetes: <https://www.facebook.com/groups/bar.minifoguete/> (peça a sua inclusão nesse grupo)

História dos Festivais Brasileiros de Minifoguetes: <http://ftp.demec.ufpr.br/foguete/Festival-Historia/>

Recordes brasileiros: <http://ftp.demec.ufpr.br/foguete/Recordes/>

Registro de voos de minifoguetes experimentais brasileiros: http://ftp.demec.ufpr.br/foguete/Registro_voos_MFE/

Informações sobre o Grupo de Foguetes Carl Sagan (GFCS):

Apoiadores: <http://ftp.demec.ufpr.br/foguete/Apoiadores-GFCS/>

Notícias: <http://ftp.demec.ufpr.br/foguete/Divulgacao/>

Membros: <http://ftp.demec.ufpr.br/foguete/Membros/>

Prêmios e conquistas: http://ftp.demec.ufpr.br/foguete/Premios_GFCS/

Recordes de motores: <http://fogueteufpr.blogspot.com/2020/07/recordes-de-motores-foguete-do-gfcs-lae.html>

Recordes de minifoguetes: <http://fogueteufpr.blogspot.com/2020/03/recordes-de-apogeu-de-minifoguetes.html>

Blog do GFCS: <http://fogueteufpr.blogspot.com/>

Facebook do GFCS: <https://www.facebook.com/gfcsufpr>

Site do GFCS: <http://www.foguete.ufpr.br/>

YouTube: <https://www.youtube.com/c/CarlosHenriqueMarchi>

Carlos Henrique Marchi

Doutor em engenharia mecânica em 2001 pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Professor (1994) titular (2017) do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Fundador em 2005 e líder do Grupo de Foguetes Carl Sagan (GFCS) da UFPR

Criador em 2011 e coordenador do Laboratório de Atividades Espaciais (LAE) da UFPR

Criador em 2013 do **Festival de Minifoguetes de Curitiba** cujo primeiro evento ocorreu em 2014 e mais cinco até 2019

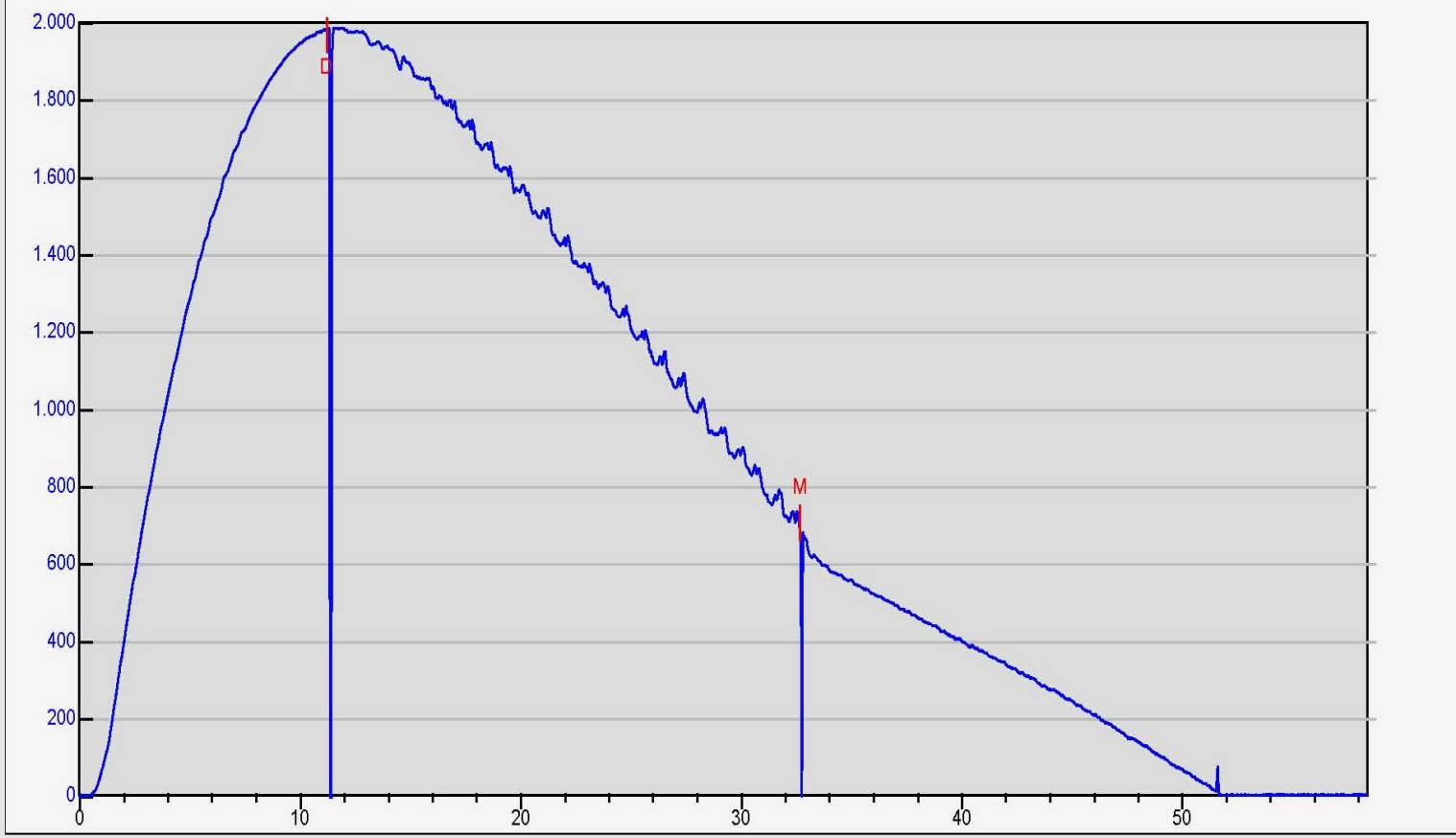
Fundador em 2016 da **Associação Brasileira de Minifoguetes (BAR)** junto com 12 grupos de foguetes; seu presidente até 2020

Criador em 2018 do **Museu de Minifoguetes** da UFPR/BAR

Criador em 2020 da **Maratona Aberta de Minifoguetes** cujo primeiro evento ocorrerá em 2021

Sou **fogueteiro desde 1981** e continuo a ficar maravilhado sempre que faço algum teste estático de motor-foguete e, principalmente, quando lanço um minifoguete

Altura x tempo do voo de minifoguete experimental com sistema duplo de recuperação.



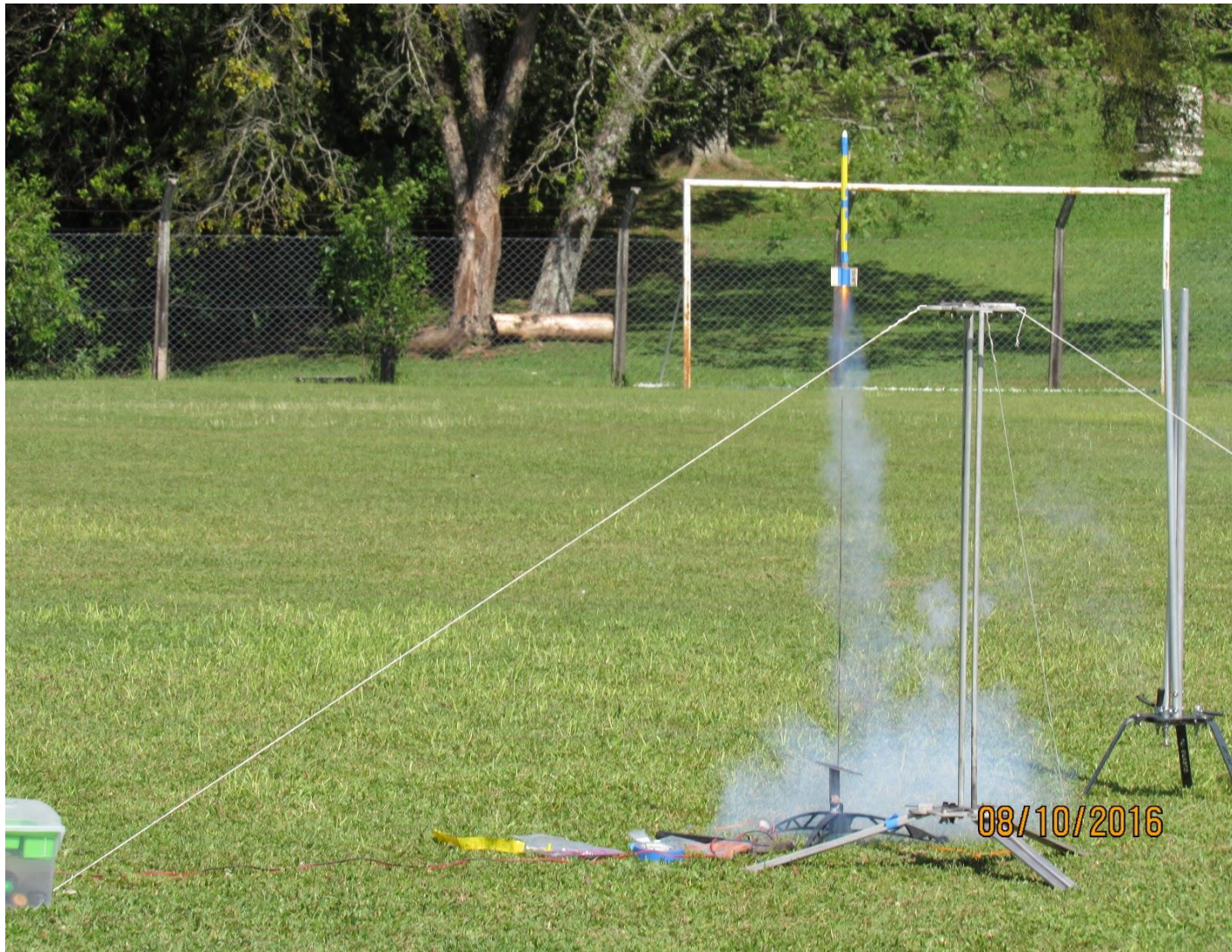
Statistics:
Apogee Alt.: 1985' AGL
Ground Elev.: 3386' MSL
NumSamps: 1168
Main Deploy: 700' AGL
Apogee Delay: 0 SEC
FlightNum: 6

Displayed
 Raw Altitude
 Smoothed Alt
 Velocity
 Temperature
 Voltage
PID: 2A PIM: 2A

Comments
Netuno-R-Beta/Paraná-VIII/v2
Lançamento em 29 Out 2017
Apogeu = 1985 pés = 605.0 m

Model: SLCF Serial #: 4750

Lançamento de foguetemodelo de baixo custo (< R\$ 2)



Foguetemodelo LAE-128

GFCS / LT 12 Jun 2018

D = 15,8 mm

L = 327 mm

M = 16,7 g

**Motor de fogos de artifício tipo CA
da empresa Fogos São Geraldo
Classe: 1/2A0.5-0**

tI = 8,4 s

H estimada = 50 a 70 m

Vídeo do LT: https://youtu.be/8Ce_qbIVUFM