

Minifoguetes e eventos brasileiros

Prof. Carlos Henrique Marchi

(fogueteiro desde 1982)

Departamento de Engenharia Mecânica

Universidade Federal do Paraná (UFPR) – Curitiba

Grupo de Foguetes Carl Sagan (GFCS) – 2005

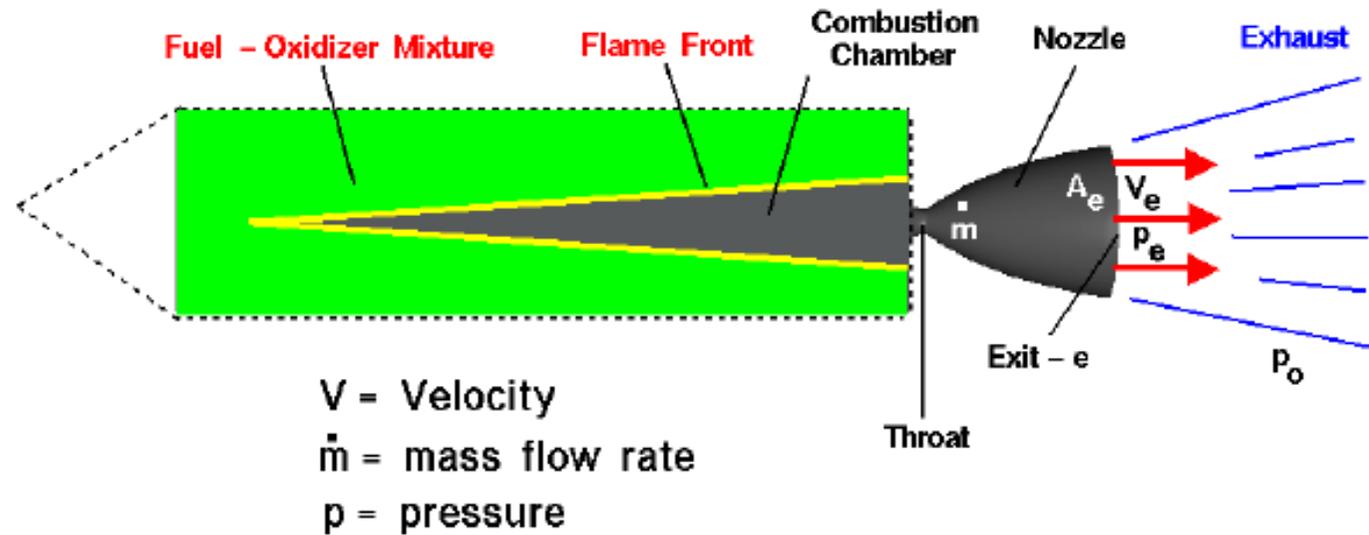
Laboratório de Atividades Espaciais (LAE) – 2011

5ª Competição Regional de Foguetes UCS, 19 Set 2020.



Solid Rocket

Glenn
Research
Center



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

Foguete sólido ou motor-foguete a propelente sólido: propelente no estado sólido.

Propelente: mistura de combustível + oxidante.

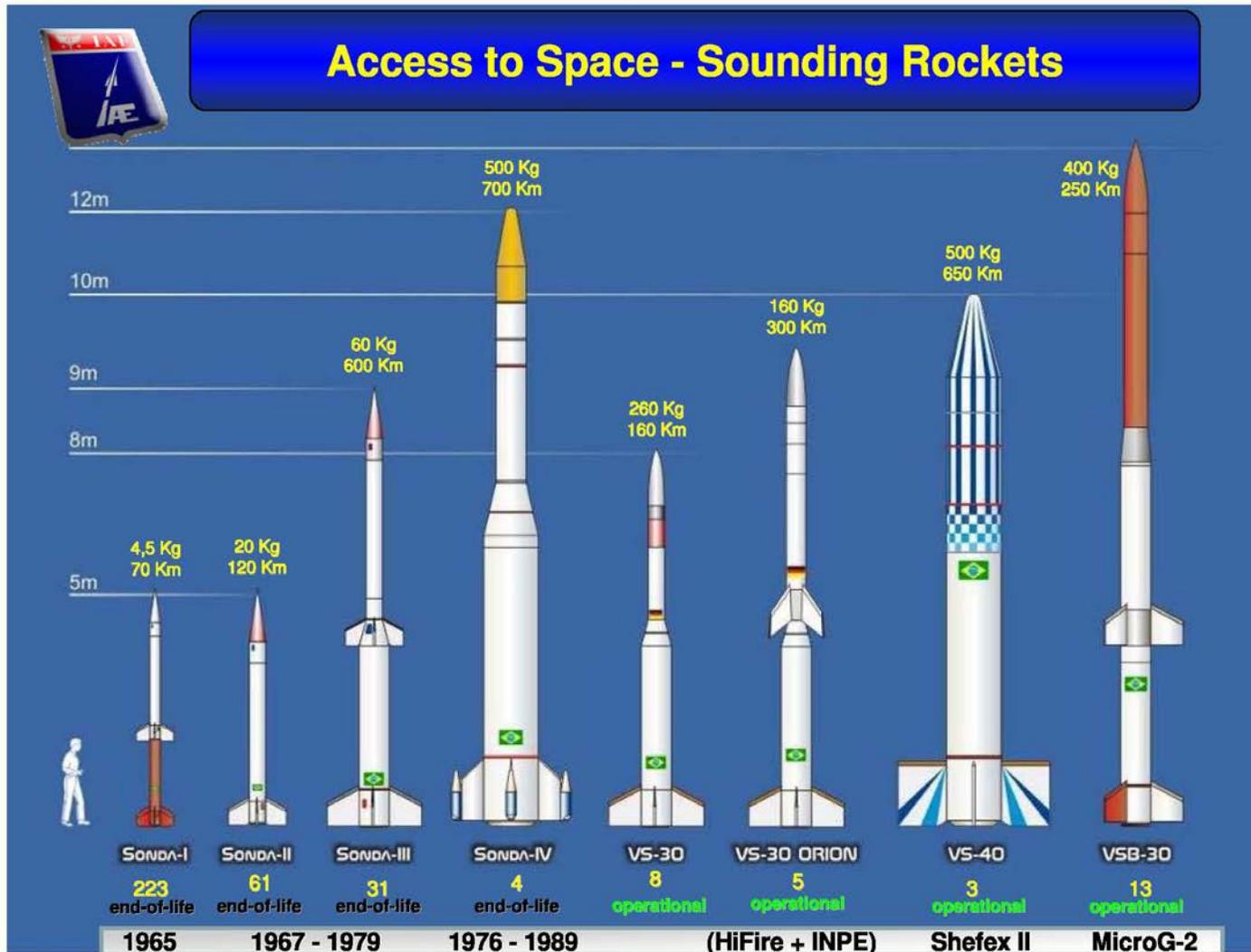


O foguete brasileiro VLS (19,4 m)



Space Shuttle Discovery (SRB 48,5 m)

Foguete	VLS	SRB/SHUTTLE
Comprimento total (metros)	19,4	48,5
Diâmetro máximo (metros)	1,2	3,7
Massa total (toneladas)	50	590
Número de estágios	4	1
Massa de propelente (toneladas)	41,1 (83% do total)	502 (85% do total)
Propelente composite: combustível	pó de alumínio e polibutadieno (aglomerante)	idem
Propelente composite: oxidante	perclorato de amônia	idem
Força de empuxo do motor (toneladas)	30 (1º estágio, cada motor de 4)	1315
Tempo de queima do propelente (segundos)	62 (1º estágio)	123
Fluxo de massa médio (kg/s)	115,3 (1º estágio, cada motor de 4)	4081



Foguetes de sondagem brasileiros

Órgãos Federais:

CLBI no RN

CLA no MA

INPE em SJC (SP)

IAE em SJC (SP)

AEB (Brasília)

Minifoguete: é um foguete real pequeno, ou seja, é um veículo propulsado por motor-foguete e que atinge no máximo 12 km de altura.



O foguete de sondagem brasileiro VS-40.



Kit do minifoguete VS-40 da Bandeirante.

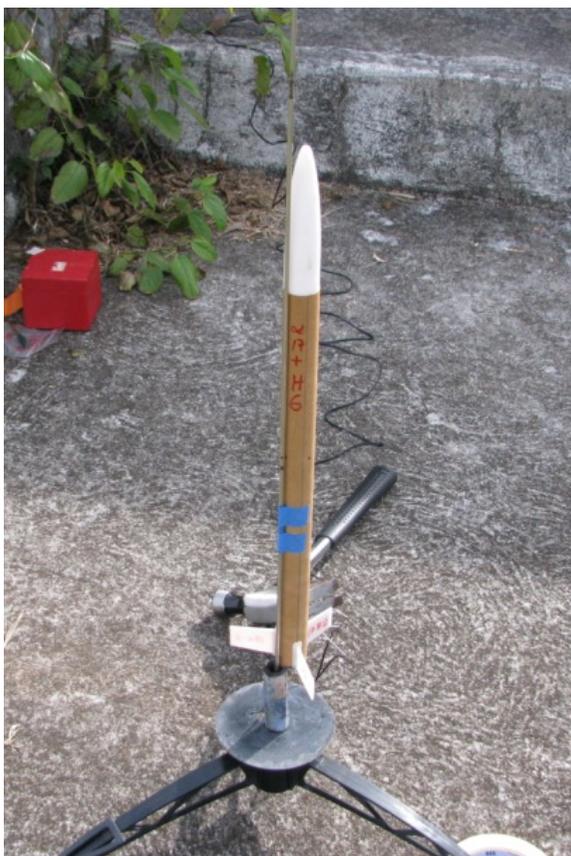
Os minifoguetes podem ser classificados em dois tipos:

- 1) **FOGUETEMODELO:** constituído por componentes sem partes metálicas grandes e com motor-foguete comercial (*model rocket*)
- 2) **MINIFOGUETE EXPERIMENTAL:** sem restrições de materiais e com motor-foguete não comercial (*high power rocket*).

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



Propelente: pólvora negra = 14% C (carvão) + 14% S (enxofre) + 72% KNO₃ (nitrato de potássio).



Foguetemodelo Alfa-20 / Miraglia

D = 24,3 mm

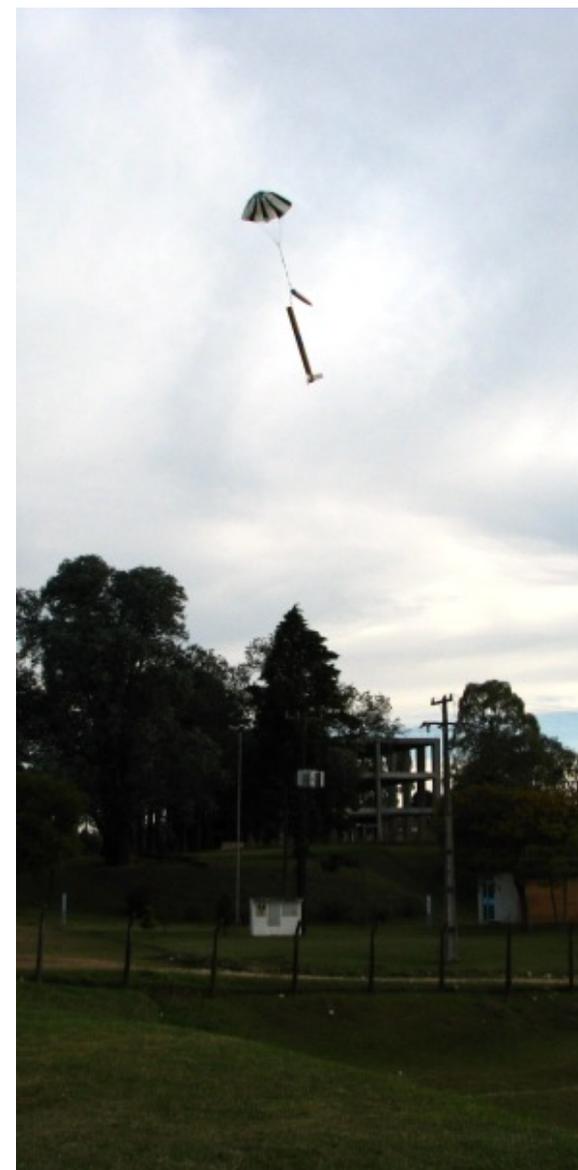
L = 434 mm

M = 123 g

Motor: C6-5 / Bandeirante

GFCS / LT 23 Jun 2011

H = 89 m



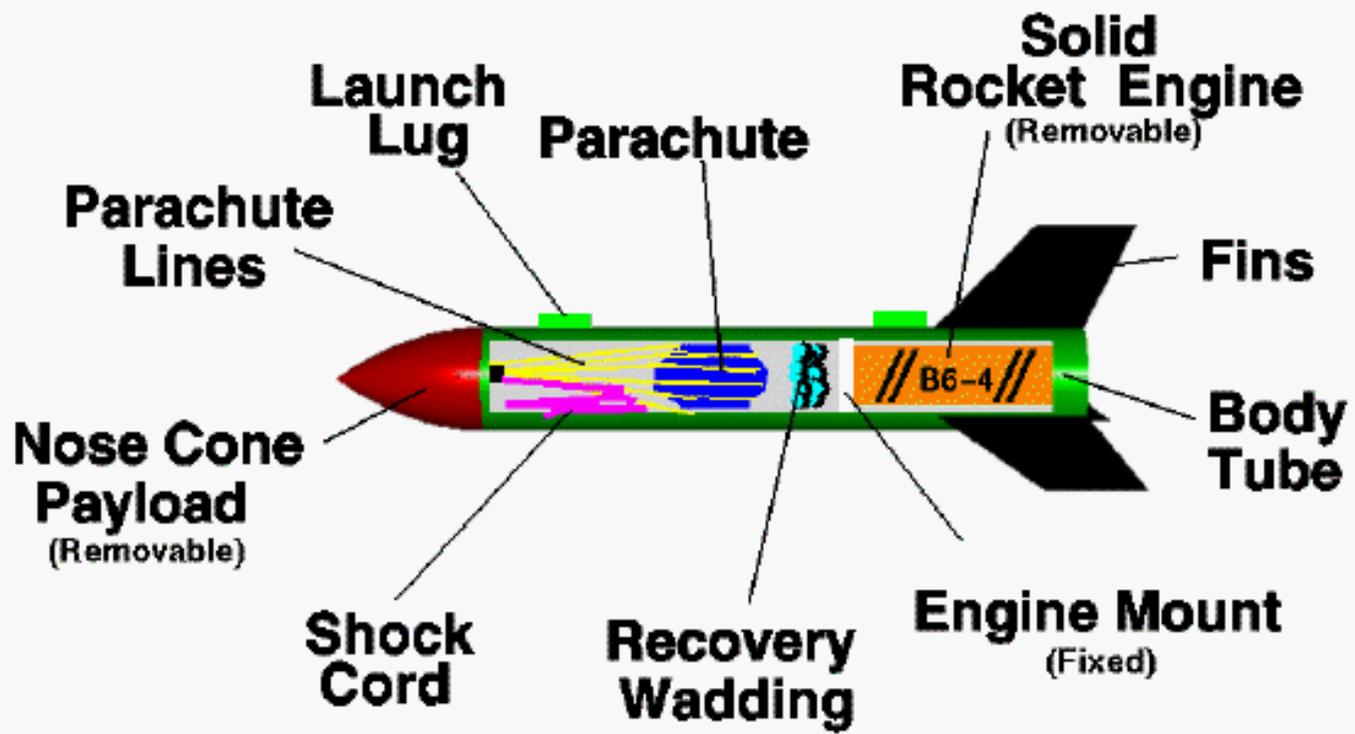
Vídeo do LT FM Alfa-20: <https://youtu.be/cm5r3Rcp6UU>

Componentes de foguetemodelo.



Parts of a Model Rocket

Glenn Research Center



Teste estático de motor-foguete comercial



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

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

Propelente: pólvora negra

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

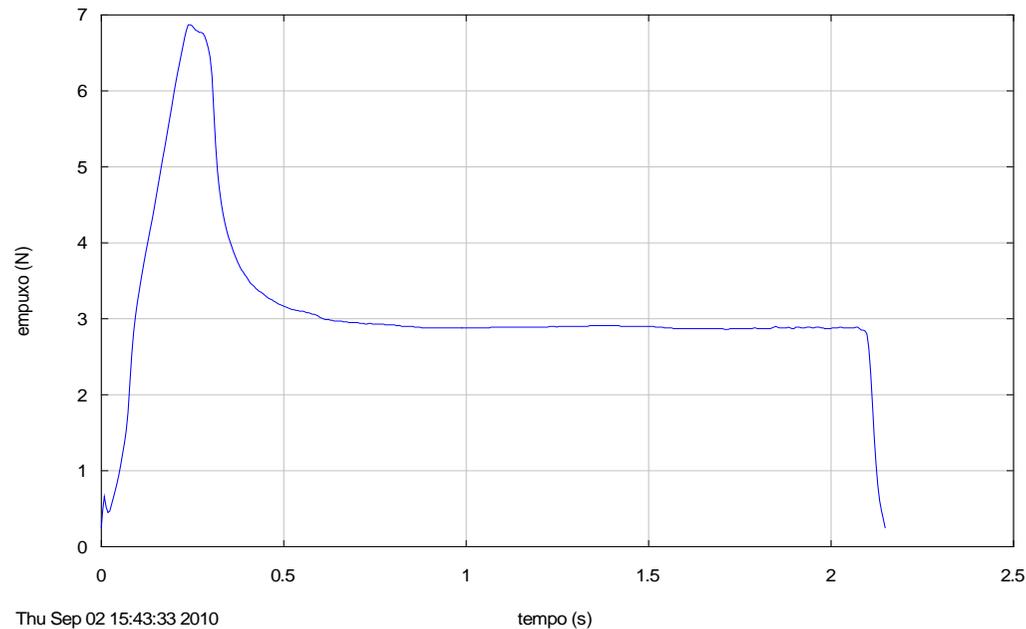
$M_f = 10,7 \text{ g}$

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

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

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

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



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

Áreas do conhecimento envolvidas

Com base na tabela de áreas do conhecimento do CNPq, as seguintes áreas do conhecimento estão envolvidas em MINIFOGUETES:

- Engenharia Aeroespacial / Aerodinâmica / Aerodinâmica de aeronaves espaciais
- Engenharia Aeroespacial / Dinâmica de voo / Estabilidade e controle
- Engenharia Aeroespacial / Dinâmica de voo / Trajetórias e órbitas
- Engenharia Aeroespacial / Estruturas aeroespaciais / Materiais e processos para engenharia aeronáutica e aeroespacial
- Engenharia Aeroespacial / Estruturas aeroespaciais / Projeto de estruturas aeroespaciais
- Engenharia Aeroespacial / Propulsão aeroespacial / Combustão e escoamento com reações químicas
- Engenharia Aeroespacial / Propulsão aeroespacial / Propulsão de foguetes
- Engenharia Aeroespacial / Sistemas aeroespaciais / Foguetes

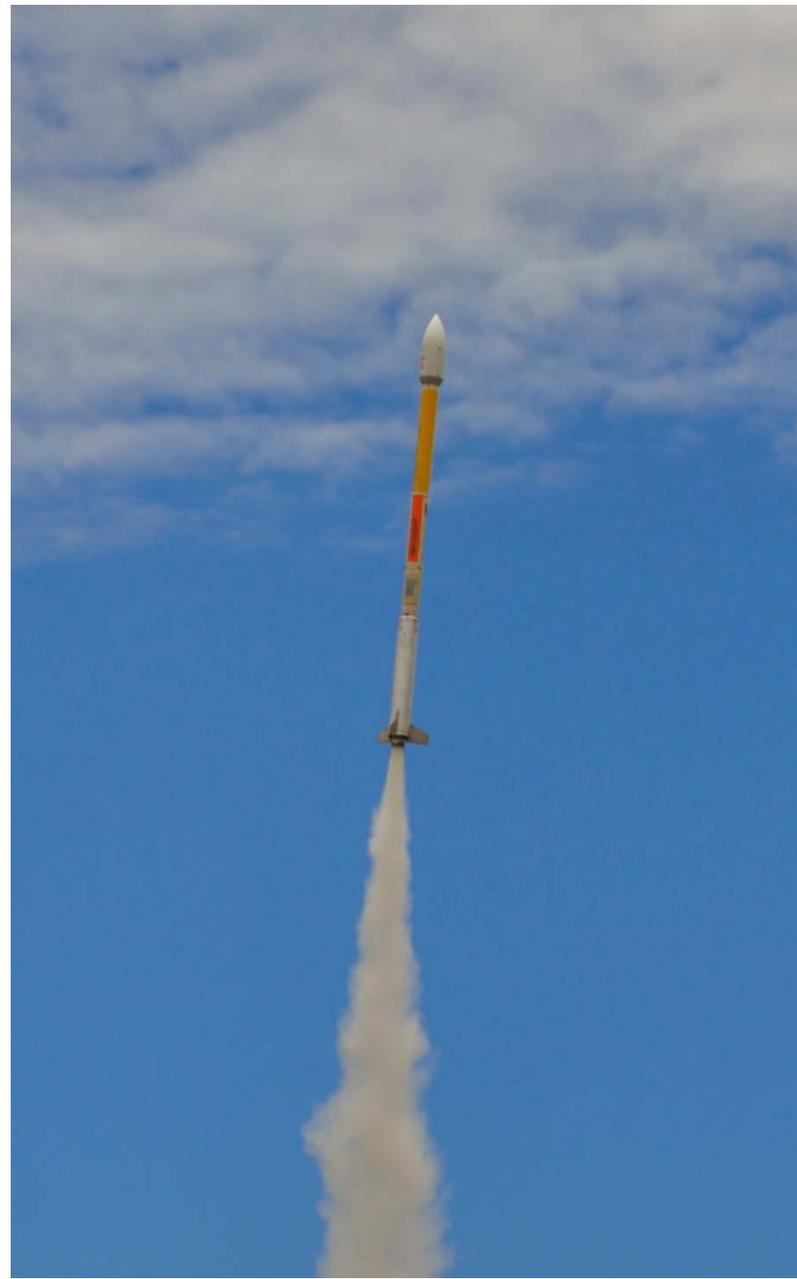
- Engenharia Mecânica / Fenômenos de transporte / Dinâmica dos gases
- Engenharia Mecânica / Fenômenos de transporte / Princípios variacionais e Métodos numéricos

- Engenharia Elétrica / Medidas elétricas, magnéticas e eletrônicas; instrumentação / Instrumentação eletrônica

- Matemática / Matemática aplicada / Análise numérica
- Matemática / Matemática aplicada / Física matemática

- Ciência da Computação / Metodologia e técnicas da computação / Linguagens de programação
- Ciência da Computação / Sistemas da computação / Software básico

- Divulgação científica





Membros do GFCS/UFPR e o MFE Netuno-R-B/Paraná-19/v2 após o seu voo em 12 Fev 2019



GFCS / UFPR

D = 44,4 mm

L = 1064 mm

Mo = 852,5 g

Motor: Netuno-R-Beta

Propelente: KNSu

Mp = 135,0 g

Classe: G80

Biejeção (GFCS)

1ª: apogeu

2ª : h = 91 m

H = 463 m

Vmax = 377 km/h

tH = 10,2 s

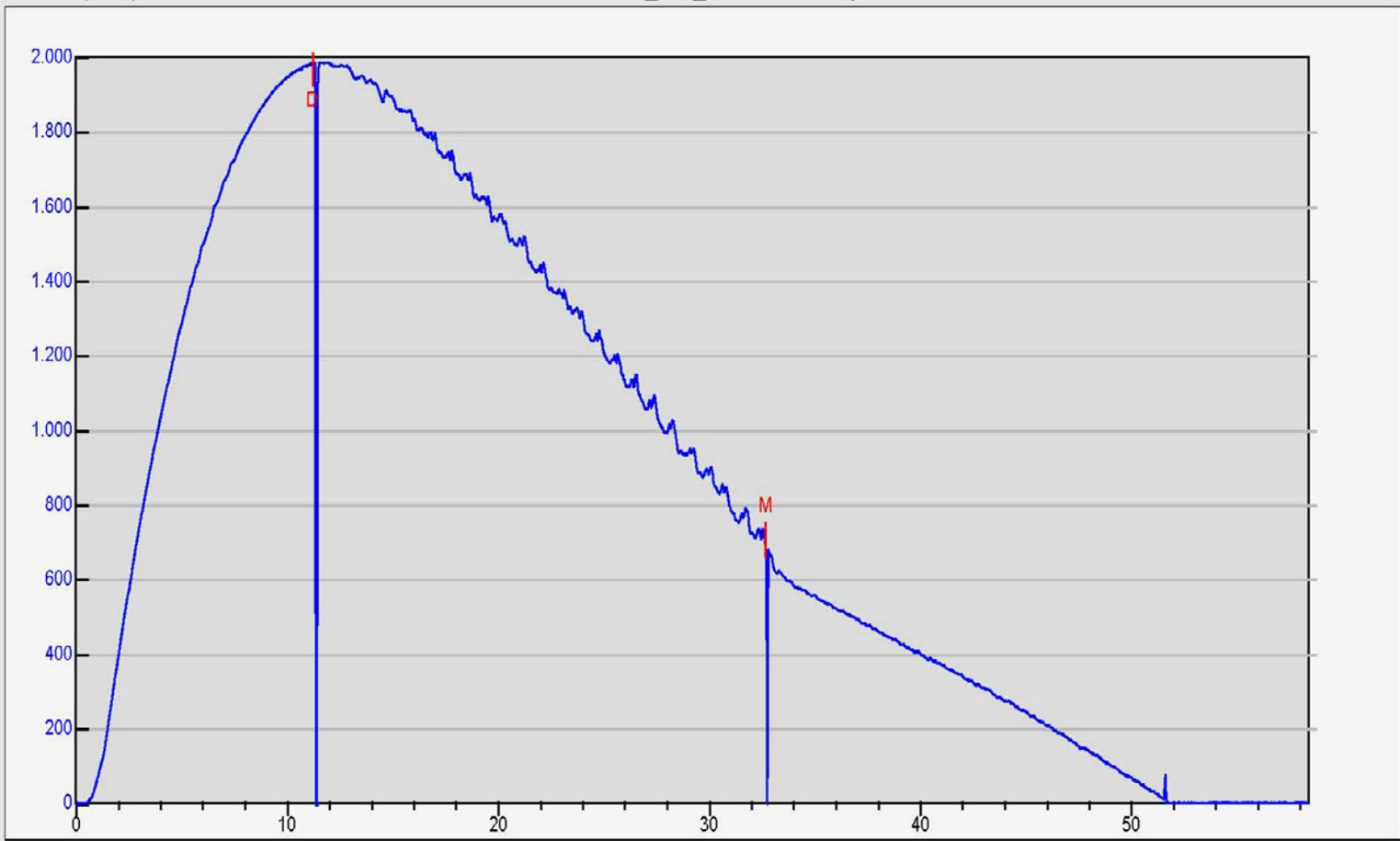
tI = 43,7 s

VI = 22 km/h

LI = 110 m

Vídeo do LT: <https://youtu.be/4j42puPxKOE>

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

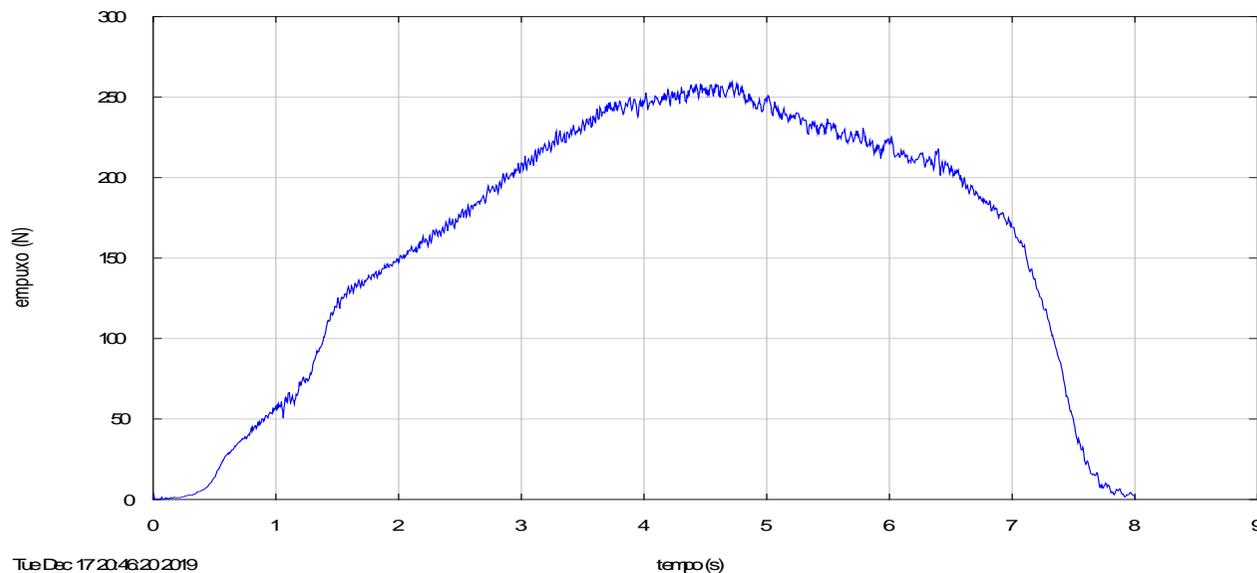
Comments
Netuno-R-Beta/Paraná-VIII/v2
Lançamento em 29 Out 2017
Apogeu = 1985 pés = 605.0 m

Model: SLCF Serial #: 4750

Teste estático de motor-foguete experimental do GFCS



Motor Júpiter, teste 13, TE 14 Jul 2019, Curva Empuxo 21



Tue Dec 17 20:46:20 2019

$D_i = 95,4 \text{ mm}$ $D_e = 101,7 \text{ mm}$

$L_{te} = 290 \text{ mm}$ $L_c = 211 \text{ mm}$

Tampa e tubeira: aço SAE 1020

Tubo-motor: alumínio ABNT 6063

$D_g = 25,1 \text{ mm}$ $M_p = 1930 \text{ g}$

Propelente KNSu: 65% KNO_3 (nitrato de potássio) + 35% $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (sacarose).

Grão-propelente: tubular

$I_t = 1284 \text{ N.s}$ $t_q = 8,00 \text{ s}$

$E_{med} = 160,5 \text{ N}$ $I_s = 67,9 \text{ s}$

Vídeo do TE J-13:

<https://youtu.be/YUBjJ809900>

TE 13 do motor Júpiter

Classe: K200

Projeto e realização: GFCS

Data: 14 Jul 2019

Local: LMH / UFPR

$T_{parede} = 427 \text{ }^\circ\text{C}$

EVENTOS Brasileiros sobre Minifoguetes

Evento	local	1º	w	qtde	último	H max
FESTIVAL Brasileiro de Minifoguetes	Curitiba (PR)	2014	anual	6	2019	5 km
COBRUF	Natal (RN)	2015	bianual	3	2018	3 km
OBA	Barra do Piraí (RJ)	2018	anual	2	2019	300 m
LASC	Tatuí (SP)	2019	anual	1	2019	3 km
MARATONA Brasileira de Minifoguetes	Brasil	2021	anual	0	novo	infinito

Festival Brasileiro de Minifoguetes

Festival – ano	Data	Categorias	Lançamentos	Participantes	Membros
I – 2014	11 a 13 Abr	5	37	85	158
II – 2015	18 a 20 Abr	12	67	165	277
III – 2016	21 a 24 Abr	13	92	251	263
IV – 2017	29 Abr a 1º Mai	9	72	409	526
V – 2018	28 a 30 Abr	9	44	462	770
VI – 2019	26 Abr a 1º Mai	8	51	446	1247

Total = 363 lançamentos

Festival Brasileiro de Minifoguetes

Apogeu exato para minifoguete com um único motor de qualquer classe: livre

Categoria	2014	2015	2016	2017	2018	2019
50 m		X	X	X	X	
100 m		X	X	X	X	X
150 m	X					
200 m		X	X	X	X	
400 m		X	X			
500 m				X	X	X
800 m		X	X			
1000 m	X			X	X	X
2000 m					X	X
3048 m					X	X

Festival Brasileiro de Minifoguetes

Apogeu exato para equipes do ensino médio

Categoria	2014	2015	2016	2017	2018	2019
50 m				X	X	X
100 m				X		

Tempo total de voo exato para equipes do ensino fundamental

Categoria	2014	2015	2016	2017	2018	2019
7 s					X	X

Equipes por estado e ano (Festival Brasileiro de Minifoguetes)

n°	Estado	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	PR	9	10	10	18	13	17
2	SC	2	1	1	1	1	1
3	PE	1	1	1	1		
4	RS	2	2	2	3	3	2
5	MG	1		3	3	3	3
6	SP	3	2	4	6	4	11
7	DF		1	1	1	1	
8	RJ			1	3	5	3
9	AM				1	1	1
10	GO				1	1	
11	MA				1	1	
12	RN					1	1
13	AC						1
14	BA						1
15	PA						2
16	MT						1
	Total equipes	18	17	23	39	34	44
	Total estados	6	6	8	11	11	12

Segurança (Festival Brasileiro de Minifoguetes)

- Ambulância e socorrista
- Locais com dimensão adequada aos respectivos apogeus: CED/Curitiba, CPAI/Piraquara e fazenda particular em Campo Largo
- Ignição elétrica à distância adequada: 10 (foguetemodelos) a 150 (minifoguetes experimentais) metros
- Paraquedas nos minifoguetes
- Testes antes do evento: 3 para motores não comerciais e 2 para voos de cada minifoguete inscrito.
- Exemplo: no Festival 2018 houve 3 inscritos para H2k e H3k mas ninguém foi aprovado, inclusive o GFCS.
- Ocorrências: explosões de minifoguetes, voos instáveis, falhas no sistema de recuperação, quedas fora da área do evento; porém sem explosões de minifoguetes em 2019.
- Acidentes: queda de um foguetemodelo na perna de uma pessoa (2016) e explosão de carga ejetora no braço de outra pessoa (2018); porém sem acidentes em 2019.
- Foram realizados, sem acidentes graves, 363 LT em 6 anos.

Link para a [Norma BAR-1/2020: código de segurança para foguetemodelo de baixo impulso total](#)

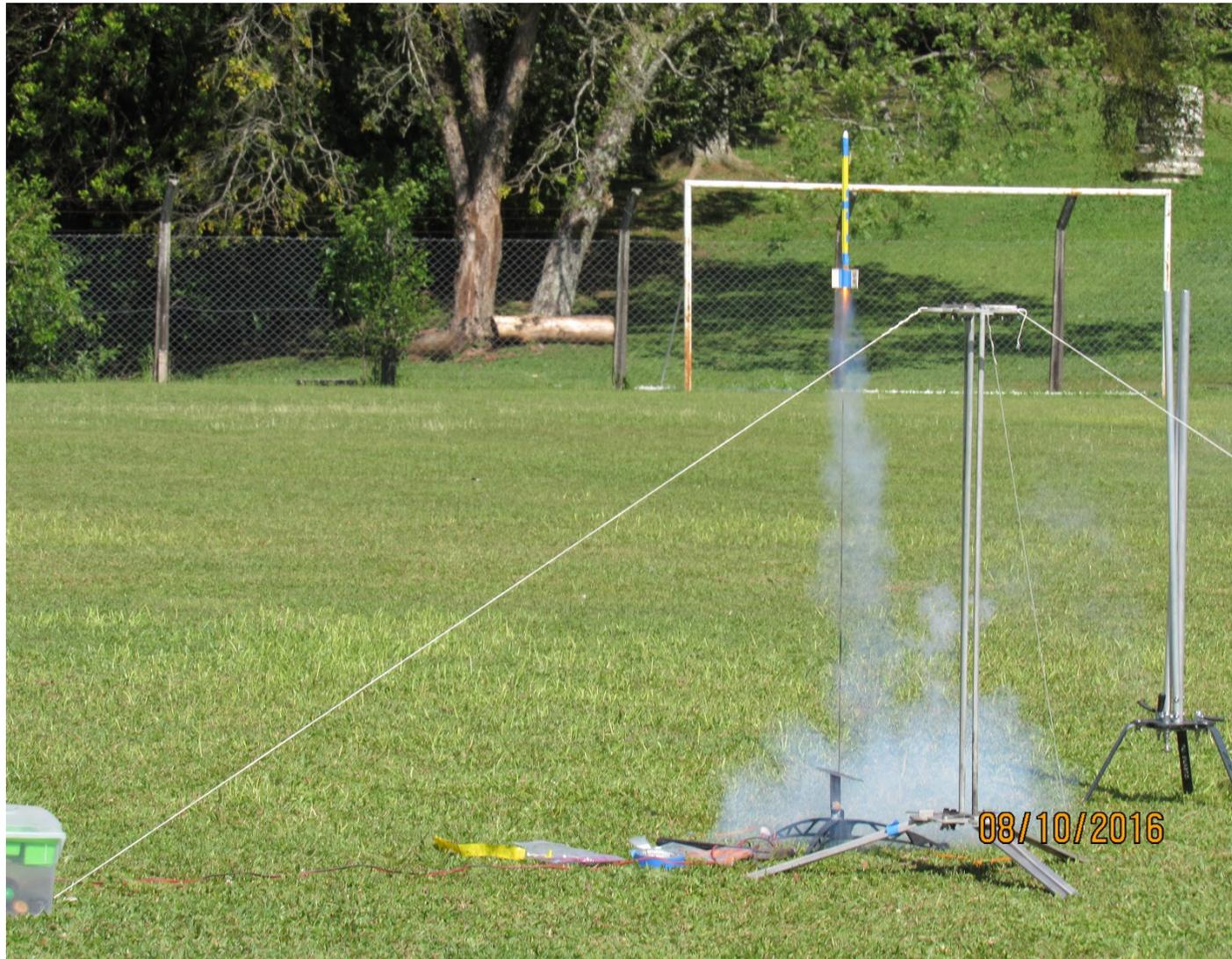
MARATONA Brasileira de Minifoguetes

Brasil, 2021.

Categoria	Objetivo	Nível de ensino	Recorde brasileiro
Espectador	Maior público presente	Livre	236 pessoas
Fundamental	Tempo de voo total de 7 s	Fundamental	6,93 s
Médio	Tempo de voo total de 10 s	Médio	sem
H50	Apogeu de 50 m	Livre	50 m
H100	Apogeu de 100 m	Livre	100 m
H200	Apogeu de 200 m	Livre	200 m
H300	Apogeu de 300 m	Livre	298 m
H500	Apogeu de 500 m	Livre	506 m
H1k	Apogeu de 1.000 m	Livre	999 m
H2k	Apogeu de 2.000 m	Livre	sem
H3k	Apogeu de 3.000 m	Livre	3.057 m
H4k	Apogeu de 4.000 m	Livre	sem
H5k	Apogeu de 5.000 m	Livre	sem
Infinito	Maior apogeu	Livre	3.057 m

Unidades: s = segundo; m = metro

Lançamento de foguete modelo de baixo custo (< R\$ 2)



Foguete modelo 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

LINKS:

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

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

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

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

YouTube: <https://www.youtube.com/c/CarlosHenriqueMarchi>
(Vídeos como montar o FM de baixo custo, TE motores e LT MF)

E-mail de contato: minifoguete@gmail.com

Vídeo de Pablo Contreras sobre o **V Festival Brasileiro de Minifoguetes (2018)**.

YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=Zsmm4CMiPv4>