

# 1. TIPOS DE FOGUETES E MINIFOGUETES

(9 Ago 2014)

ALGUNS TIPOS DE MOTORES-FOGUETE OPERACIONAIS:

- 1) Gás frio
- 2) Sólido
- 3) Líquido

Existem outros tipos de motores-foguete como 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 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.

## 1.1 MOTOR-FOGUETE A GÁS FRIO

São usados no controle da posição de satélites. Exemplos de gases utilizados: nitrogênio e hélio.

O funcionamento é semelhante a um balão de ar.

## 1.2 MOTOR-FOGUETE A PROPELENTE SÓLIDO

Início: Idade Média, em guerras. Propelente: pólvora (nitrato de potássio + enxofre + carvão).

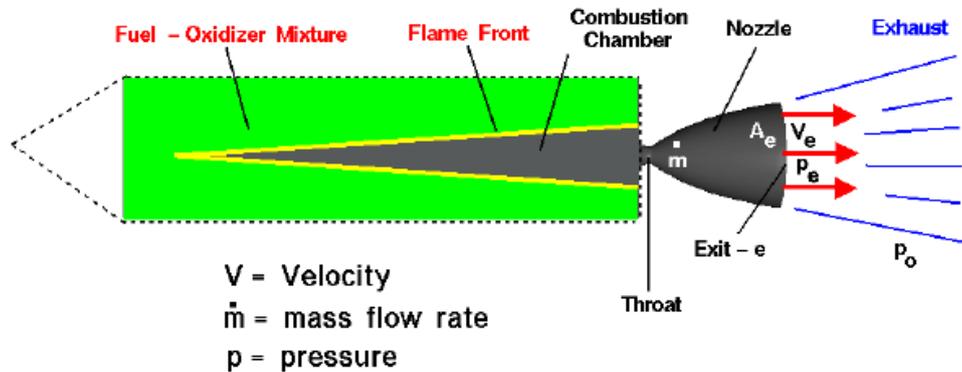


Chinese soldier launches fire-arrow



# Solid Rocket

Glenn  
Research  
Center



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

Propelente no estado sólido.

Propelente: mistura de combustível + oxidante.

Em geral são usados em mísseis (armas), foguetes de sondagem, foguetes de pequeno porte (VLS) ou foguetes auxiliares (SRB/SHUTTLE).

Alguns dados são apresentados na tabela abaixo.

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: combustível	pó de alumínio e polibutadieno (aglomerante)	idem
Propelente: oxidante	perclorato de amônia	idem
Força de empuxo do motor (toneladas)	30 (1º estágio, cada motor)	1315
Tempo de queima do propelente (segundos)	62 (1º estágio)	123



**O foguete brasileiro VLS.**

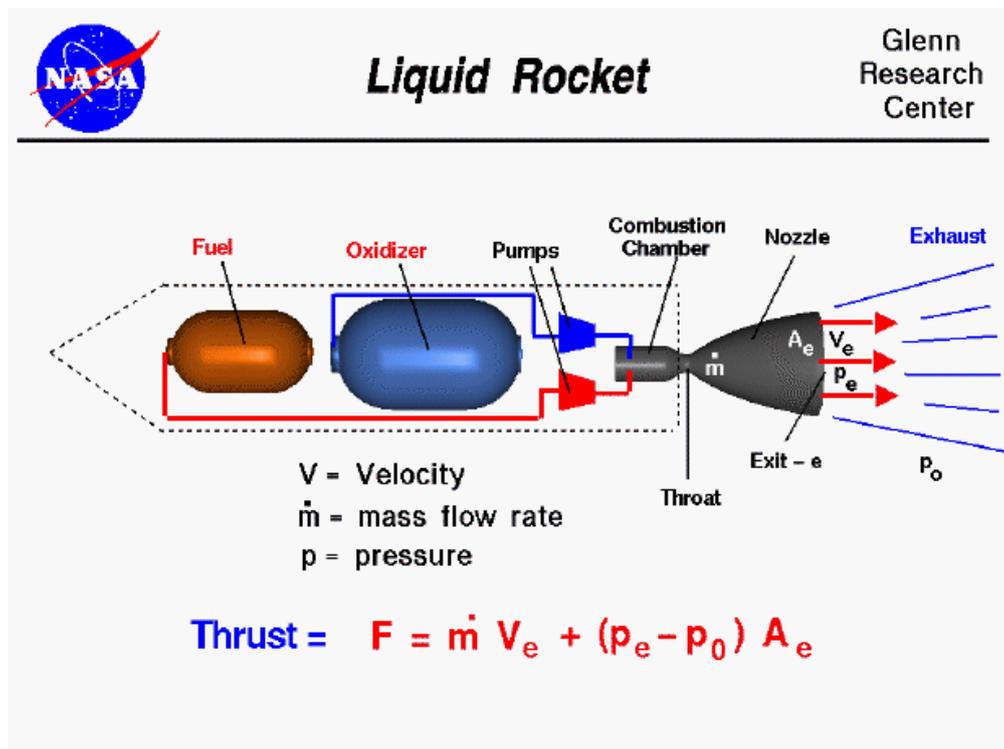
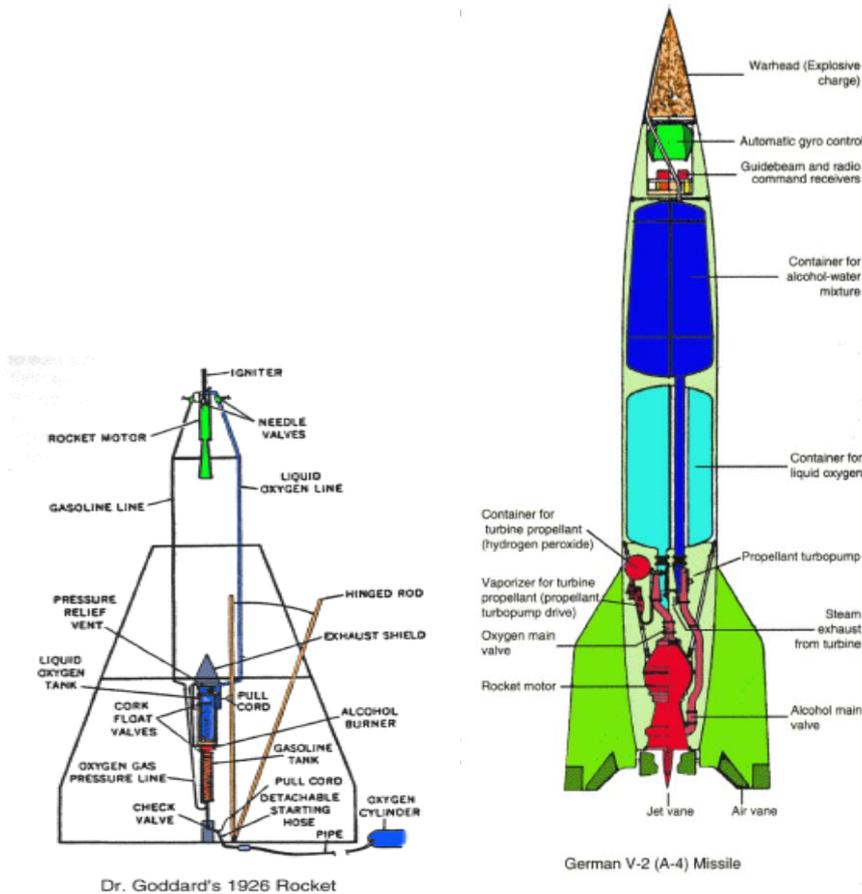


**Space Shuttle Discovery**

## 1.3 MOTOR-FOGUETE A PROPELENTE LÍQUIDO

Início: Robert Goddard, 1926

V-2, Von Braun, 2ª Guerra Mundial, 1942



Propelente no estado líquido.

Em geral são usados em foguetes espaciais: ARIANE e SPACE SHUTTLE.

Alguns dados são apresentados nas tabelas abaixo.

<b>Foguete</b>	<b>SPACE SHUTTLE</b>	<b>SATURNO V</b>
Comprimento total (metros)	56 (conjunto)	111
Diâmetro máximo (metros)	8,4 (tanque externo)	10,1
Massa total (toneladas)	2040	2910
Número de estágios	3	3
Motor-foguete líquido (nome)	SSME	F-1 (1º estágio)
Número de motores do item anterior	3	5
Força de empuxo total (toneladas)	2880	3450



**Space Shuttle Discovery**



**Foguete Saturno V com a nave Apollo 13**

<b>Motor-Foguete</b>	<b>SSME</b>	<b>F-1</b>
Comprimento total (metros)	4,3	5,6
Diâmetro máximo (metros)	2,4	3,7
Massa total (toneladas)	3,2	8,4
Propelente: combustível	hidrogênio	querosene
Propelente: oxidante	oxigênio	oxigênio
Força de empuxo (toneladas)	185	690
Tempo de queima do propelente (segundos)	522	171



**Motor-foguete SSME do Space Shuttle**



**Motor-foguete F1 do foguete Saturno V**

## 1.4 CÁLCULO DO EMPUXO DE UM MOTOR-FOGUETE

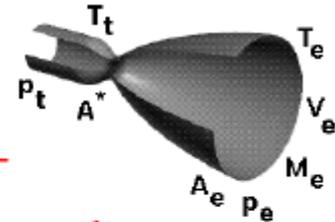


### Rocket Thrust Summary

Glenn  
Research  
Center

Known:

$p_t$  = Total Pressure       $R$  = Gas Constant  
 $T_t$  = Total Temperature     $A$  = Area  
 $\gamma$  = Specific Heat Ratio



Mass Flow Rate:  $\dot{m} = \frac{A^* p_t}{\sqrt{T_t}} \sqrt{\frac{\gamma}{R}} \left(\frac{\gamma+1}{2}\right)^{-\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}$

Exit Mach:  $\frac{A_e}{A^*} = \left(\frac{\gamma+1}{2}\right)^{-\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} \frac{\left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_e^2\right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}}{M_e}$

Exit Temperature:  $\frac{T_e}{T_t} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_e^2\right)^{-1}$

Exit Pressure:  $\frac{p_e}{p_t} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_e^2\right)^{-\frac{\gamma}{\gamma-1}}$

Exit Velocity:  $V_e = M_e \sqrt{\gamma R T_e}$

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

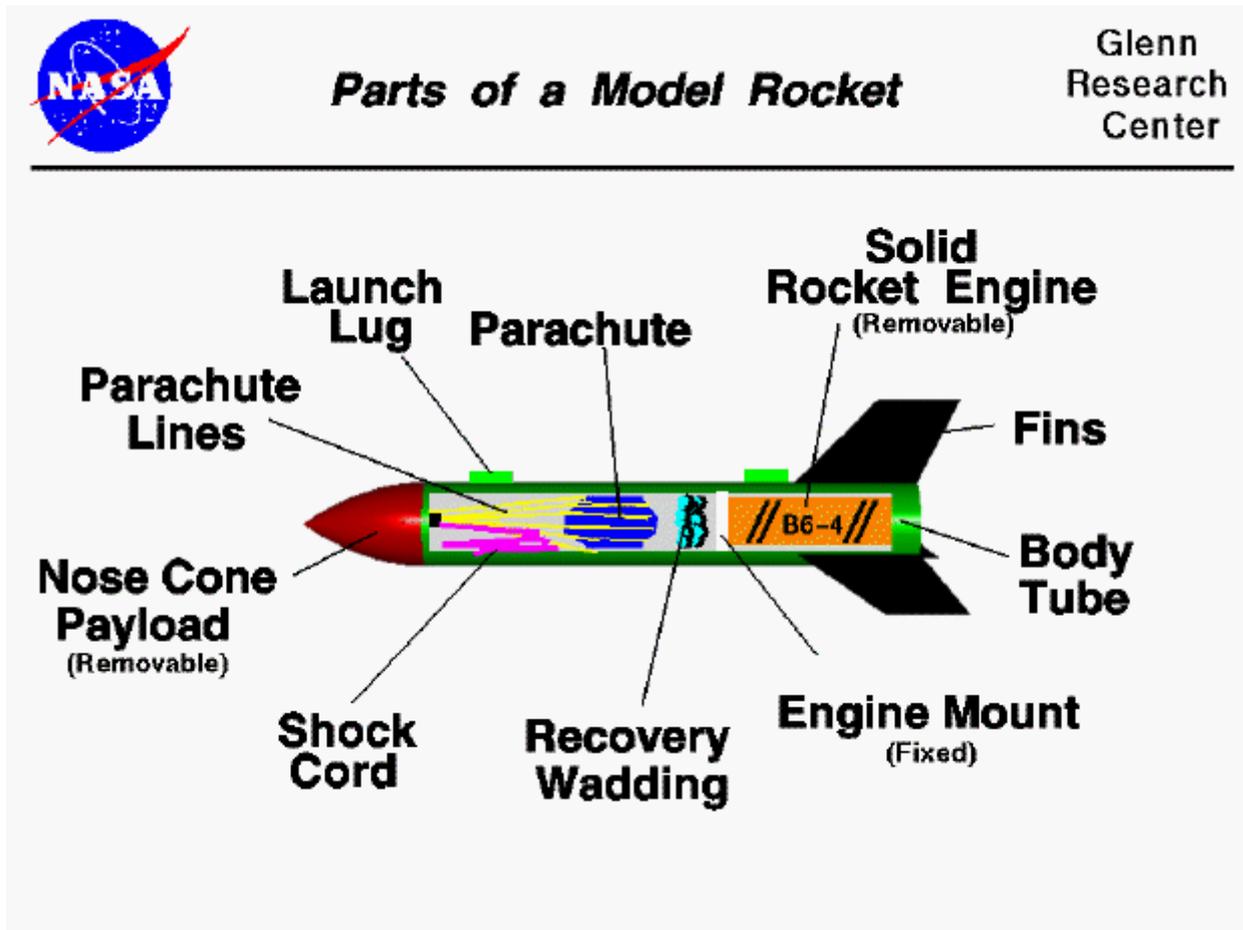
## 1.5 TIPOS DE MINIFOGUETES

Minifoguetes são foguetes REAIS de pequeno porte.

Eles não são feitos de garrafas PET, ou com ar comprimido ou objetos semelhantes.

Os minifoguetes podem ser classificados em dois tipos:

- 1) Espaçomodelo, foguetemodelo, minifoguete educativo ou minifoguete comercial
- 2) Minifoguete experimental



Partes de um espaçomodelo típico.

Os **espaçomodelos** são comercializados na forma de kit com motores, e feitos de materiais não metálicos: papelão, madeira, plástico etc. Exemplo:

**Espaçomodelo Sondinha II:** kit comercial; materiais = papelão, balsa e plástico; comprimento = 307 mm; diâmetro = 20 mm; propelente = pólvora negra; massa de propelente = 10 g; massa total = 32 g; sem paraquedas; apogeu = 100 m; tempo de voo = 10 s.

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

**Minifoguete experimental Netuno-R:** projeto do CEFEC/LAE; materiais = ligas de alumínio e madeira; comprimento = 430 mm; diâmetro = 44 mm; propelente = sacarose e nitrato de potássio; massa de propelente = 120 g; massa total = 500 g; sem paraquedas; apogeu = 500 m (previsão); tempo de voo = 22 s (previsão).



Espaçomodelo Sondinha II em sua rampa de lançamento



Motor-foguete experimental



Grão-propelente

## 1.6 MINIFOGUETES x FOGUETES



**Model Rockets and Real Rockets**  
*Compare and Contrast*

Glenn  
Research  
Center

---

	Model Rocket	Real Rocket
	<p>4 forces throughout flight</p> <p>all of flight in atmosphere aerodynamics very important</p> <p>very short powered flight</p> <p>solid rocket engine small propellant mass fraction</p> <p>passive stability no control</p> <p>low speed heating not important</p> <p>inexpensive materials balsa, cardboard, plastic</p>	<p>4 forces during atmospheric flight</p> <p>short time in atmosphere aerodynamics less important</p> <p>long powered flight</p> <p>liquid or solid rocket engine large propellant mass fraction</p> <p>passive stability active control</p> <p>high speed heating important</p> <p>expensive materials aluminum, titanium, nickel alloy</p>
	 <p>Titan Booster</p>	