

## PROJETO, CONSTRUÇÃO E TESTE DE UM FOGUETE EXPERIMENTAL COM FINALIDADE DIDÁTICA

### **Gabriel Garcia Fernandes Nogueira**

FEMEC, Universidade Federal de Uberlândia, Bloco M, Campus Santa Mônica  
gabrielrve@uber.com.br

### **José Antonio Ferreira Borges**

FEMEC, Universidade Federal de Uberlândia, Bloco M, Campus Santa Mônica  
zeborges@mecanica.ufu.br

### **Jean Carlos Campo Rezende**

FEMEC, Universidade Federal de Uberlândia, Bloco M, Campus Santa Mônica  
jccrezende@mecanica.ufu.br

**Resumo:** A construção de modelos de foguetes não tripulados com fins de pesquisa e iniciação científica teve seu auge durante as décadas de cinquenta, sessenta e início de setenta nos EUA, estando relacionada à corrida espacial. O objetivo deste projeto é proporcionar o desenvolvimento científico dos participantes e a obtenção de dados que melhorem os parâmetros envolvidos na produção de foguetes lançadores de satélites, foguetes anti-granizo, foguetes pirotécnicos, foguetes não tripulados e tripulados. O projeto envolveu inicialmente a construção de uma plataforma de ensaio estático de motores-foguete com célula de carga para aquisição dos dados relativos ao empuxo dos motores; uma plataforma de lançamento de fácil transporte; sistema eletrônico remoto de ignição; sistema eletro-mecânico ou eletro-pirotécnico de recuperação por pára-quedas; eletrônica e carga útil embarcada. Uma vez que no Brasil não existem motores e equipamentos prontos para foguetes no mercado, todos os componentes tiveram de ser desenvolvidos, o que aumentou ainda mais a amplitude do projeto e a variedade da tecnologia empregada. A partir dos resultados obtidos no ensaio estático dos motores foi possível prever o desempenho do foguete (velocidade, aceleração e altitude alcançada). O desenvolvimento do equipamento ignitor permitiu o acionamento do foguete ou dos motores em teste estático a uma distância segura. O motor foguete usa propelente sólido baseado em sacarose e nitrato de potássio. O desenvolvimento do foguete estável e seguro, com capacidade de carga útil e dotado de sistema de recuperação por pára-quedas permitiu abordar e solucionar vários problemas tecnológicos interessantes e desafiadores. Neste trabalho foram utilizados softwares livres para cálculo de altitude, dimensionamento de pára-quedas, previsão de distância de queda e cálculo de motores.

**Palavras-chave:** Foguete, motor-foguete, espaçomodelismo, foguetismo amador, propulsão sólida.

### **1.INTRODUÇÃO**

A construção de modelos de foguetes não tripulados com fins de pesquisa e iniciação científica teve seu auge durante as décadas de cinquenta, sessenta e início de setenta nos EUA, estando relacionada à corrida aeroespacial. O objetivo deste projeto é proporcionar o desenvolvimento científico dos participantes e a obtenção de dados que melhorem os parâmetros envolvidos na produção de foguetes lançadores de satélites, foguetes anti-granizo, foguetes pirotécnicos, foguetes não tripulados e tripulados.

## 2. DESENVOLVIMENTO / METODOLOGIA

### 2.1. Plataforma de Ensaio de Motor-Foguete

O projeto envolveu inicialmente a construção de uma plataforma de ensaio estático de motores-foguete com célula de carga para aquisição dos dados relativos ao empuxo dos motores. Foi empregado um desenho simples e ajustável às diferentes dimensões dos motores que seriam testados. A plataforma podia ainda receber praticamente qualquer célula de carga disponível nos laboratórios da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia. Esta característica permitiu que os ensaios pudessem ser realizados com o equipamento disponível, frequentemente empregado em outros experimentos. A Figura 1 ilustra o aparato experimental usado nos teste de motor.

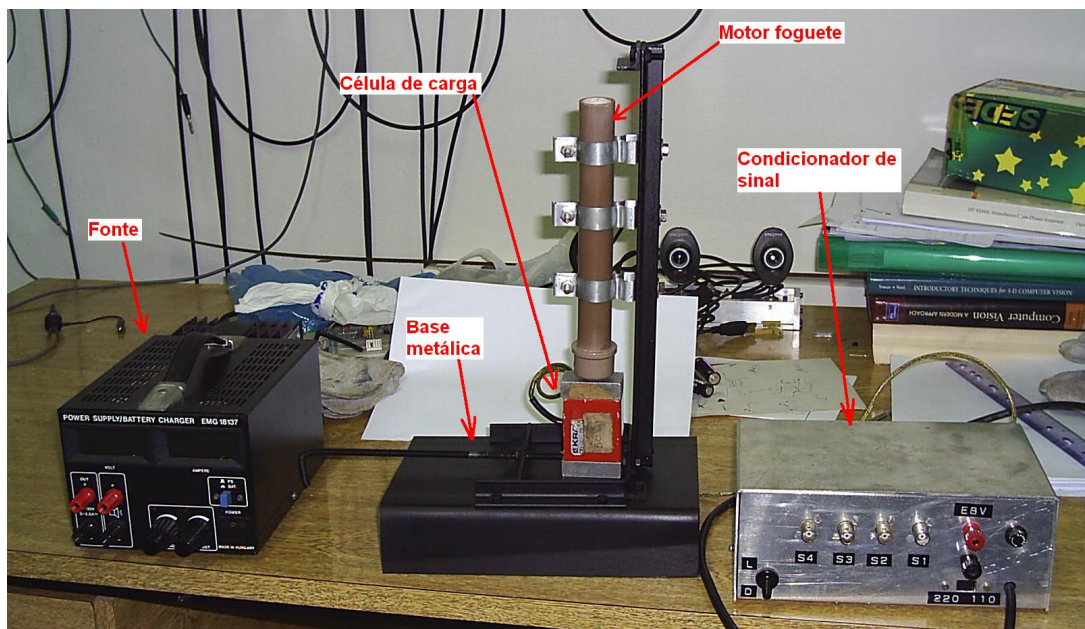


Figura 1: Aparato experimental usado nos testes de motor.

### 2.2. Plataforma de Lançamento

Em função da necessidade de deslocamento para campo aberto para a realização dos lançamentos, foi desenvolvida uma plataforma de lançamento de fácil transporte. Depois da avaliação e discussão relativa a várias possibilidades construtivas, chegou-se a uma plataforma simples, na forma de um tripé de aço carbono onde foi acoplado um trilho de alumínio que guia o foguete nos primeiros instantes de sua trajetória, quando o mesmo ainda não tem estabilidade aerodinâmica. A Figura 2 mostra a plataforma de lançamento concebida com um protótipo de foguete acoplado.

### 2.3. Sistema de Ignição

Por questões de segurança, foi implementado um sistema eletrônico de ignição remota. Este sistema foi montado em um estojo plástico contendo uma chave de segurança para evitar ignição acidental do motor-foguete, além de permitir a realização de teste de continuidade dos cabos e do ignitor quando estes estivessem montados.

O ignitor foi desenvolvido a partir de um resistor de  $10\Omega$ , que quando ligado a uma bateria de 12 volts, gera calor suficiente para ignitar cerca de meio grama de pólvora negra. Tanto a pólvora quanto o resistor foram montados dentro de um envelope plástico de 5mm de diâmetro por 50mm

de comprimento. As extremidades deste envelope foram seladas com silicone a quente, sendo que através de uma das extremidades passam os fios de contato do resistor. O ignitor assim constituído é então introduzido no motor-foguete, junto à parte superior do grão propelente. Dessa forma, quando a corrente percorre o resistor, este se aquece, ignitando a pólvora, que rompe o envelope e ignita o grão propelente. A ignição sempre foi feita a uma distancia consideravelmente segura, da ordem de 60m do foguete (no caso dos lançamentos) e 20m da plataforma de ensaios (no caso dos testes de motor). A Figura 3 mostra o dispositivo de acionamento da ignição, bem como um ignitor completo na forma em que ele é introduzido no motor-foguete.



Figura 2: Plataforma de lançamento montada

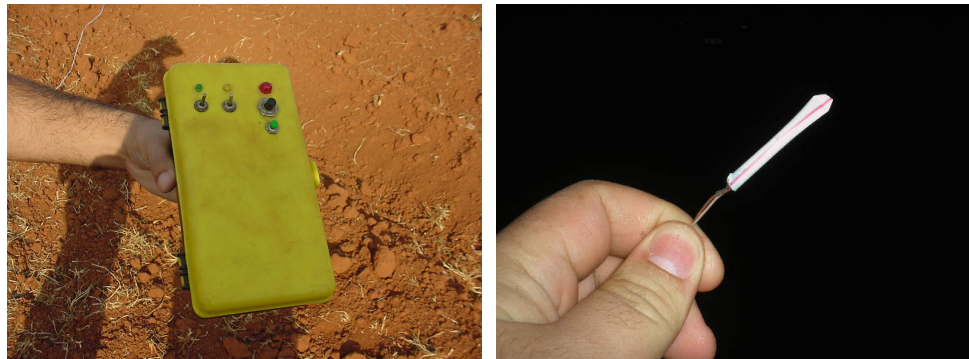


Figura 3: Sistema eletrônico de Ignição e ignitor completo.

#### 2.4.Sistema de Recuperação

Todo foguete deve possuir um sistema de recuperação que permita seu retorno seguro ao solo. No caso específico deste trabalho o sistema de recuperação é baseado em um pára-quedas ejetado por meio de uma carga explosiva temporizada. O controle do tempo de ejeção é feito através de timer eletrônico que tem como base a simulação do desempenho esperado para o conjunto do foguete. Desta forma o acionamento do pára-quedas ocorre no ápice da trajetória desenvolvida pelo foguete.

#### 2.5.Sistema de Registro de Trajetória Usando Transmissão de Vídeo

Com a finalidade de registrar a trajetória descrita pelo foguete foi incorporado ao seu tubo principal uma microcâmera de video com transmissão de imagem sem fio alimentada através de

uma bateria de 9 Volts. O sinal desta microcâmara é captado por um receptor no solo e gravado em uma filmadora VHS.

## 2.6.Motor-Foguete

Uma vez que no Brasil não existem motores e equipamentos prontos para foguetes no mercado, todos os componentes tiveram de ser desenvolvidos, o que aumentou ainda mais a amplitude do projeto e a variedade da tecnologia empregada.

O motor foi desenvolvido respeitando as normas específicas do Exército Brasileiro. Ele é constituído a partir de um tubo de PVC para água quente com 32mm de diâmetro externo e 2,5mm de espessura de parede. O motor leva em seu interior 118g de propelente composto por 35% de açúcar e 65% de nitrato de potássio em massa. Esse propelente foi fundido em 3 grãos, cada um com um núcleo vazio onde se inicia a queima. Construído desta forma, a queima se realiza de dentro para fora e das extremidades dos grãos para dentro, mantendo-se assim uma área de queima quase constante. Como consequência disto, a pressão de queima do motor também permanece quase constante, sem picos que podem causar sua falha. Em uma das extremidades do tubo foi usado um cap, tampão padrão para tubos de PVC colado com adesivo específico para este material. Na outra extremidade do tubo foi moldada a tubeira em massa de poliéster com carga mineral (massa plástica para funilaria automotiva). Esta tubeira possui seção convergente em ângulo de 45° e seção divergente em ângulo de 15°. A garganta da tubeira é definida por uma arruela metálica inserida na matriz de massa plástica. As figuras 5 e 6 ilustram, respectivamente, o layout geral do motor e sua forma final após a construção.

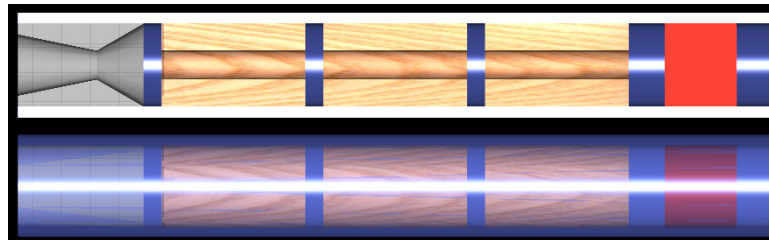


Figura 5: Layout da montagem do Motor-Foguete



Figura 6: Motores de tamanhos diferentes ensaiados

## 2.7.Fuselagem

A partir dos dados obtidos nos ensaios estáticos dos motores foi possível prever a velocidade, aceleração e altitude alcançada pelo foguete. Para isso foi usado um software de simulação chamado SpaceCad que gera um gráfico com todos os parâmetros do voo a partir da configuração escolhida para o foguete.

O desenvolvimento do foguete em si foi baseado nos resultados de experimentos anteriores, sendo colocados como requisitos as limitações de uso de material metálico bem como as necessidades associadas à presença dos sistemas auxiliares de recuperação e gravação de vídeo.

Em sua configuração final, o foguete apresenta 3 empenas em PVC, montadas e coladas em um tubo de PVC branco com 700 mm de comprimento, 40mm de diâmetro externo e 1mm de espessura

de parede. A ogiva do foguete foi moldada a mão em PVC acabado com massa plástica e possui forma elíptica. Fixadas ao tubo principal do foguete estavam as guias que fazem o posicionamento do foguete na plataforma de lançamento. A montagem de um total de 4 protótipos foi feita de forma a posicionar os componentes internos uns sobre os outros nas posições corretas conforme o projeto. A figura 7 mostra os gráficos de desempenho simulado para os protótipos e as figuras 8 e 9 mostram os protótipos em duas etapas da construção.

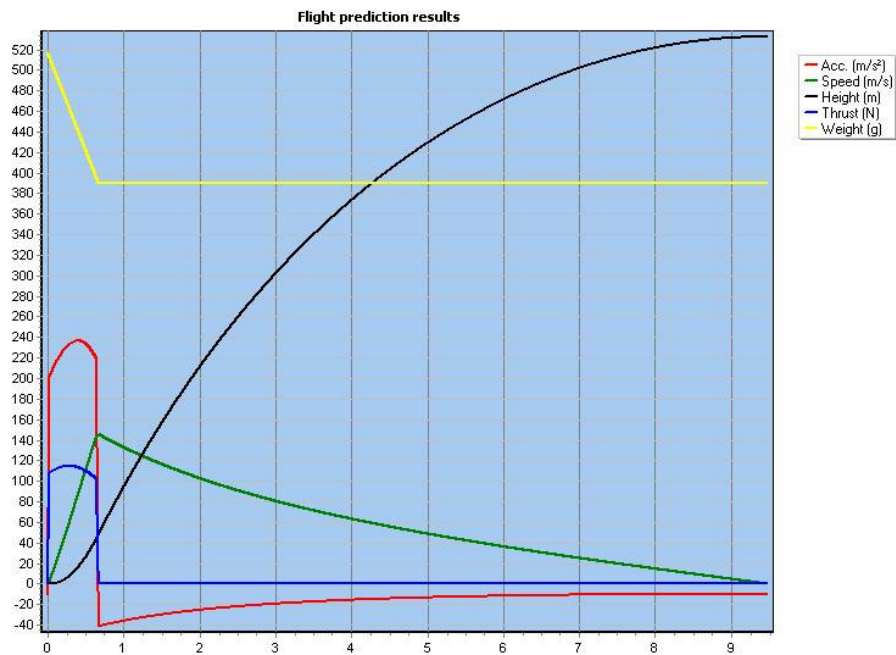


Figura 7: Gráficos obtidos pela simulação em SpaceCad



Figura 8: Fuselagens sem acabamento

## 2.8.Lançamentos

Os lançamentos foram realizados em área rural longe de habitações visando garantir a segurança dos procedimentos. O primeiro lançamento foi prejudicado por uma falha de ignição do motor, provavelmente causada por excesso de umidade no grão propelente, que teve sua velocidade de queima bastante reduzida. Isto comprova que esse tipo de propelente requer cuidados especiais de armazenamento em função de ser altamente higroscópico. O segundo lançamento foi realizado com sucesso, porém devido ao vento o foguete vira num vôo quase paralelo ao solo, vindo a se chocar com uma cerca existente na fazenda instantes após o início do vôo. O ultimo lançamento

realizado foi bem sucedido, porém, uma falha no sistema de recuperação fez com que ele retornasse ao solo em alta velocidade causando sua destruição no impacto.



Figura 9: Fuselagens com acabamento, separadores dos componentes, sistemas de vídeo e nitrato de potássio

### 3.RESULTADOS

Como principais resultados pode-se destacar: A obtenção de um conjunto de conhecimentos científicos e tecnológicos associados a uma área importante da engenharia. A construção do aparato necessário ao teste e lançamento dos foguetes em segurança, permitindo inclusive dar suporte a desenvolvimentos futuros mais ambiciosos. O desenvolvimento e teste das metodologias necessárias à construção de ignitores e motores-foguete. A obtenção de protótipos de foguetes que foram lançados. O foguete transportou como carga útil um sistema de vídeo composto por câmera digital e transmissor de rádio frequência que permitiu fazer a gravação, em terra, de imagens durante sua subida.

### 4.CONCLUSÕES

Como principais conclusões têm-se: A metodologia adotada se mostrou adequada para atingir os objetivos propostos. Foram obtidos motores foguete de propulsão sólida capazes de impulsionar os protótipos de foguete. Estes motores foram testados em bancada estática especialmente projetada para este fim. Os ignitores desenvolvidos se comportaram conforme esperado, permitindo acionar os motores remotamente e em condições de segurança. A plataforma de lançamento desenvolvida permitiu lançar os foguetes de forma segura levando em consideração a topografia do terreno e a direção do vento. O sistema de recuperação desenvolvido, baseado em uma carga pirotécnica acionada por temporizador eletrônico, não funcionou adequadamente, mostrando que maior atenção deve ser dada a este item em desenvolvimentos futuros. Não foi possível, no contexto deste trabalho, aferir a altura alcançada pelos protótipos lançados. A participação neste projeto contribuiu para a formação profissional de todos os envolvidos. Este trabalho representa o primeiro de uma série, na qual se pretende desenvolver e construir foguetes maiores, capazes de atingir alturas mais elevadas e de transportar mais carga útil. Neste desenvolvimento futuro, será dada especial atenção à correlação entre os resultados de simulação de desempenho do foguete e seu motor e aqueles obtidos na prática. Para isto, será feito maior investimento na área de instrumentação embarcada.

### 4. REFERÊNCIAS

- NASA SP8076, 1972, "Solid Propellant Grain Design and internal Ballistics", National Aeronautics and Space Administration, USA.
- Cannon, R.L., 1999, "Elementary Mathematics of Rocket Model Flight", ESTES Technical Note TN-5, USA.

- ESTES, 1999, “Model Rocket Altitude Prediction Charts”, ESTES model rocket Technical Report, USA.
- U.S. Army Field Artillery School, “A Guide to Amateur Rocketry”, Fort Sill, Oklahoma, USA.
- Stancato, F. et all, 2000, “A 3000 Ns Sugar-Sodium Nitrate Motor Development For Space Education”, American Institute of Aeronautics and Astronautics, USA.
- Sutton G.P., 1965, “Rocket Propulsion Elements – An Introduction to the Engineering of Rockets”, John Wiley & Sons, New York, USA.
- Richard Nakka, 2006, “Richard Nakka’s Experimental Rocketry Web Site”, [www.nakka-rocketry.net](http://www.nakka-rocketry.net)

## 5. DIREITOS AUTORAIS

Os autores desta publicação são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

# PROJECT, CONSTRUCTION AND TEST OF AN EXPERIMENTAL ROCKET WITH DIDACTIC PURPOSE

### **Gabriel Garcia Fernandes Nogueira**

FEMEC, Universidade Federal de Uberlândia, Bloco M, Campus Santa Mônica  
[gabrielrve@uber.com.br](mailto:gabrielrve@uber.com.br)

### **José Antonio Ferreira Borges**

FEMEC, Universidade Federal de Uberlândia, Bloco M, Campus Santa Mônica  
[zeborges@mecanica.ufu.br](mailto:zeborges@mecanica.ufu.br)

### **Jean Carlos Campo Rezende**

FEMEC, Universidade Federal de Uberlândia, Bloco M, Campus Santa Mônica  
[jccrezende@mecanica.ufu.br](mailto:jccrezende@mecanica.ufu.br)

***Abstract:** The construction of not manned rockets models specific for research and scientific initiation had its highest moment during the beginning of the fifty and sixty decades in U.S.A., being related to the space race. The objective of this project is to provide scientific development for the participants and the attainment of data that improve the parameters involved in the production of launching satellites rockets, manned and not manned rockets. The project initially involved the construction of a platform of static testing of engine-rocket with load cell for acquisition of the data relative to the push of the engines; a launch emplacement of easy transport; remote electronic ignition system; pyrotechnic recovery system by parachute; electronics and embarked paid load. Once that in Brazil does not exist ready equipment for rocket models in the market, all the components had being developed, which increased the amplitude of the project and the variety of technology used. From the results obtained by the static testing of the engines it was possible to preview the rocket performance (speed, acceleration and reached altitude). The development of the igniter equipment allowed the drive of the rocket or of the engines in the static test to a safe distance. The rocket engine uses solid propellant based in sucrose and potassium nitrate. The development of the steady and safe rocket, with useful load capacity and endowed with recovery system by parachute allowed to approach and to solve some interesting and challenging technological problems. In this paper it had been used free software for altitude calculation, parachute sizing, forecast of fall distance and engines calculation.*

***Keywords:** Rocket, rocket motor, space model, solid propellant*