

Relatório Final

Título do projeto de pesquisa: Modelagem hidromecânica e caracterização experimental da válvula do gerador de gás do motor foguete L75

Bolsista: Natan Augusto da Silva Fernandes

Orientador(a): Bernardo Reis Dreyer de Souza

Período a que se refere o relatório: Maio de 2015 a Julho de 2016

Resumo

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um modelo hidromecânico para a válvula do gerador de gás do motor foguete L75, em desenvolvimento no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE). Um modelo matemático da literatura foi implementado, manipulado e ajustado para o componente já fabricado. O ajuste do modelo foi feito a partir de dados levantados em um ensaio de vazão em bancada. Após constatar que um dos requisitos do componente não era atendido, uma nova configuração da válvula foi proposta para atender a todos requisitos. O modelo desenvolvido pode ser utilizado para o projeto de outras válvulas de construção similar.

1. Introdução

O L75 é um motor-foguete a propelente líquido que utiliza o ciclo com gerador de gás, alimentado por uma turbobomba e empregando oxigênio líquido (LOx) e etanol como propelentes. Utiliza uma câmara de empuxo de arrefecimento regenerativo, resfriada pelo combustível. A turbobomba é composta por uma bomba de oxidante, uma de combustível e uma turbina de fluxo axial, todos montados no mesmo eixo. A turbina é movida com os gases da combustão do gerador de gás bipropelente, que utiliza os mesmos propelentes da câmara de empuxo [1]. A Figura 1 mostra o diagrama do ciclo do motor L75.

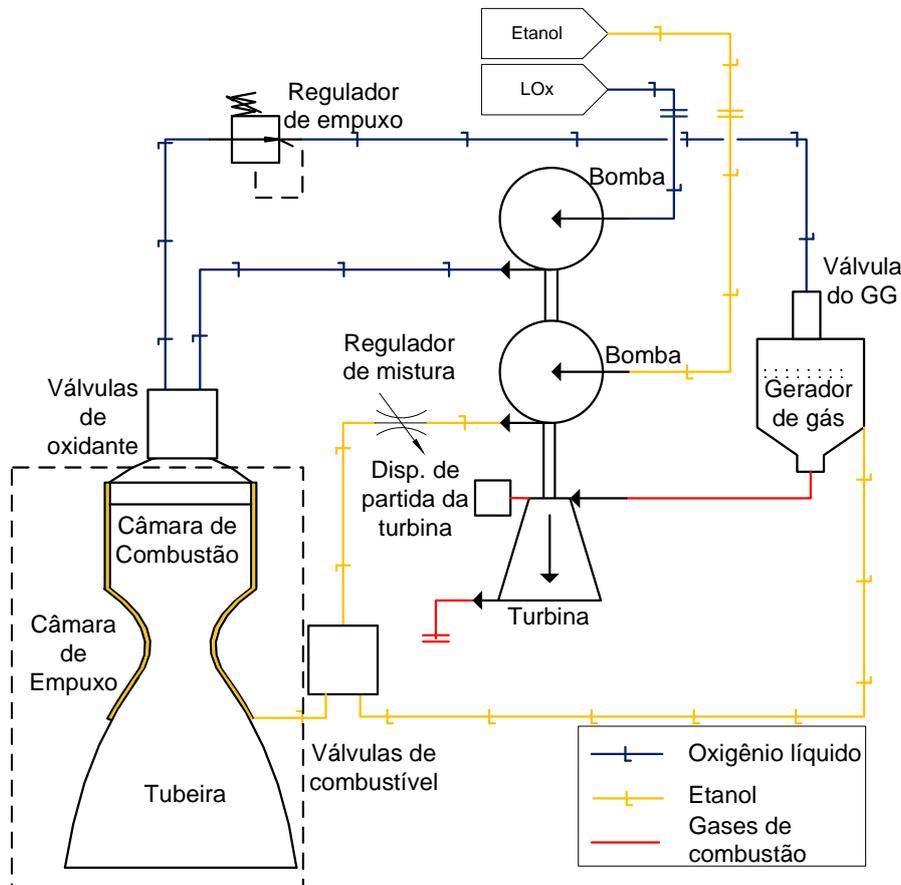


Figura 1: Diagrama dos componentes do Motor L75

Este trabalho foca na válvula do gerador de gás (BVGG), que fica à jusante do gerador de gás do motor L75, e realiza duas funções: anti-retorno de gases e interrupção de fluxo de LOx. Durante a partida do motor, o gerador de gás estará pressurizado pelos gases gerados pelo dispositivo de partida da turbina e pelo ignitor do gerador de gases. A BVGG deve impedir que esses gases, ricos em combustível, retornem para as linhas de oxidante, evitando uma explosão do motor durante a partida. A segunda função é interromper o fluxo de oxidante para o gerador de gás durante o desligamento do motor. Apenas a função de anti-retorno está sendo considerada neste trabalho. Uma vista em corte da BVGG pode ser vista na Figura 2.

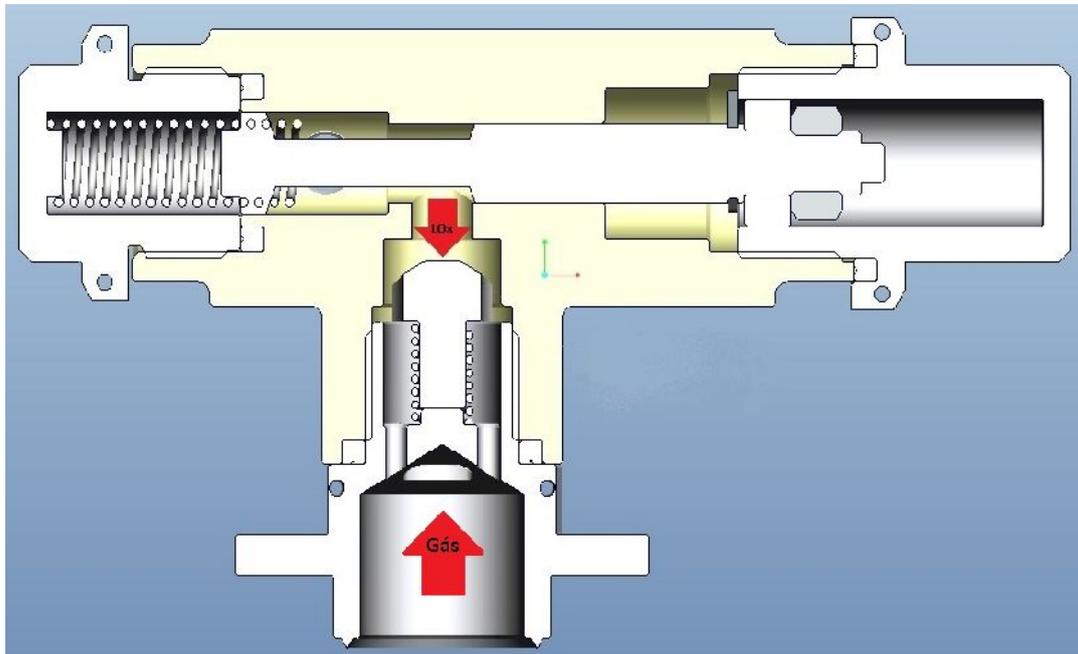


Figura 2: Vista em corte da BVGG

O comportamento típico de vazão versus queda de pressão de uma válvula anti-retorno é apresentado na Figura 3. A vazão é nula antes da pressão P_{crack} , pois a pressão do fluido não é suficiente para vencer a pré-carga que a mola exerce sob o êmbolo, que permanece fechado. Quando P_{crack} é atingida, o êmbolo começa a se deslocar, abrindo passagem para o fluxo de LOx. No intervalo entre P_{crack} e a pressão de fim de curso do êmbolo (P_s) a área de escoamento do fluido não é constante pois o êmbolo ainda se desloca em seu curso. A partir de P_s a área de escoamento máxima é atingida e o comportamento da válvula se altera novamente, para a curva de um orifício hidráulico de área constante.

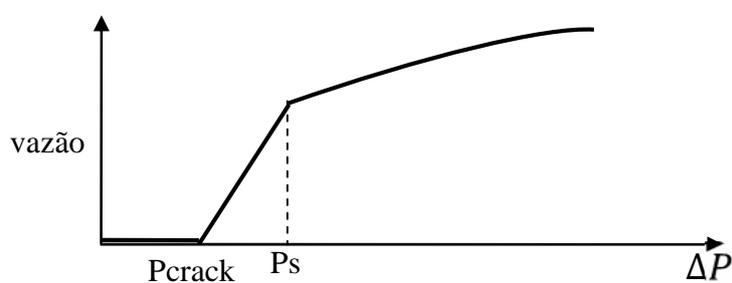


Figura 3: Curva típica de uma válvula anti-retorno

O objetivo do trabalho é obter um modelo que descreva o comportamento da válvula BVGG, de forma que seja possível verificar, por análise, seus requisitos de projeto definidos em [2], e utilizá-lo para propor modificações de projeto, caso necessário. Esse modelo poderá ser utilizado em futuras aplicações onde as válvulas anti-retorno disponíveis comercialmente não atendem necessidades específicas, como em válvulas de motores foguete a propelente líquido.

2. Materiais e métodos

Para a obtenção de uma curva característica tal qual a Figura 3, faz-se necessário conhecer dois pontos: a pressão P_{crack} e a pressão P_s , com suas respectivas vazões. A vazão em P_{crack} é conhecida e igual a zero, enquanto a vazão em P_s deve também ser determinada.

Para a determinação de P_{crack} , a força exercida pelo fluido acima do embolo é igualada à força exercida pela mola, tal qual Equação 1,

$$P_{crack} = F_0 / \pi R^2 \quad (1)$$

onde F_0 é a força exercida pela mola e R é o raio do orifício por onde o fluido escoar.

Para o cálculo de P_s , a mesma abordagem usada para determinar P_{crack} é utilizada. Porém, se faz necessário considerar que à medida em que o embolo se desloca para baixo, a força exercida pela mola aumenta, enquanto a área acima do embolo em que a pressão de entrada atua reduz. Dessa forma, P_s é dada pela equação 2,

$$P_s = \frac{K\Delta x + F_0}{\pi(R - \Delta x \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha)^2} \quad (2)$$

onde K é a rigidez da mola e α é o ângulo de inclinação do embolo, como representado na Figura 4.

A modelagem da evolução da área de abertura em função da posição do embolo e da queda de pressão na válvula foi apresentada no relatório parcial, e foi obtida em [3].

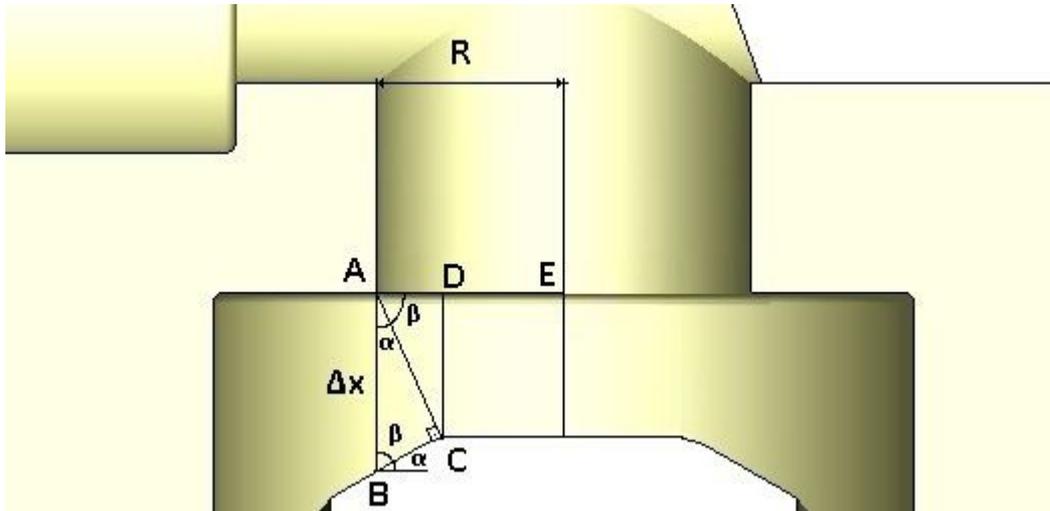


Figura 4: Geometria da passagem de LOx.

O deslocamento x se refere ao comprimento livre que o embolo tem para se deslocar, porém, caso a área de escoamento supere a área do orifício de raio R , qualquer deslocamento acima de tal valor não influencia de maneira significativa na determinação de P_s , logo, igualando a área de escoamento com a área do orifício, temos:

$$R^2 = 2 R x$$

$$x = R/2$$

Portanto, na determinação de P_s , caso x seja maior que $R/2$, é este último valor que deve ser utilizado para o cálculo.

A vazão em P_s , e em pontos além, é determinada pela equação do orifício hidráulico tal qual Equação 3 [4],

$$= Cd \cdot Ae \sqrt{(2 \cdot \Delta P \cdot \rho)} \quad (3)$$

onde:

Cd = Coeficiente de descarga

Ae = Área de escoamento

ΔP = Diferença de pressão entre entrada e saída da válvula

ρ = Massa específica do fluido



A área de escoamento é a lateral do cilindro definido pelo raio do orifício R e o deslocamento x , tal qual Equação 4,

$$A_e = 2\pi R \Delta x \quad (4)$$

O coeficiente de descarga C_d é obtido ajustando a previsão do modelo com os dados de ensaio.

3. Resultados

No relatório parcial foi mostrado que a válvula, em sua configuração original, não atende a um dos requisitos de projeto e, portanto, duas alterações foram propostas para que seu funcionamento estivesse de acordo com os requisitos: alteração da mola original por uma com rigidez de 140 N/m e 35mm de comprimento livre, e aumento de 2,5 mm no comprimento da haste do embolo. Aplicando-se tais modificações obtém-se a curva da Figura 5, que atende aos requisitos de projeto. Pode-se observar que a perda de carga na vazão de projeto de 313 g/s é menor que 3,5 bar, e que o ponto de transição para a curva de um orifício hidráulico ocorre em uma vazão inferior a 250 g/s de água, pois a figura indica 210,9 g/s de LOx, que é mais denso que a água.

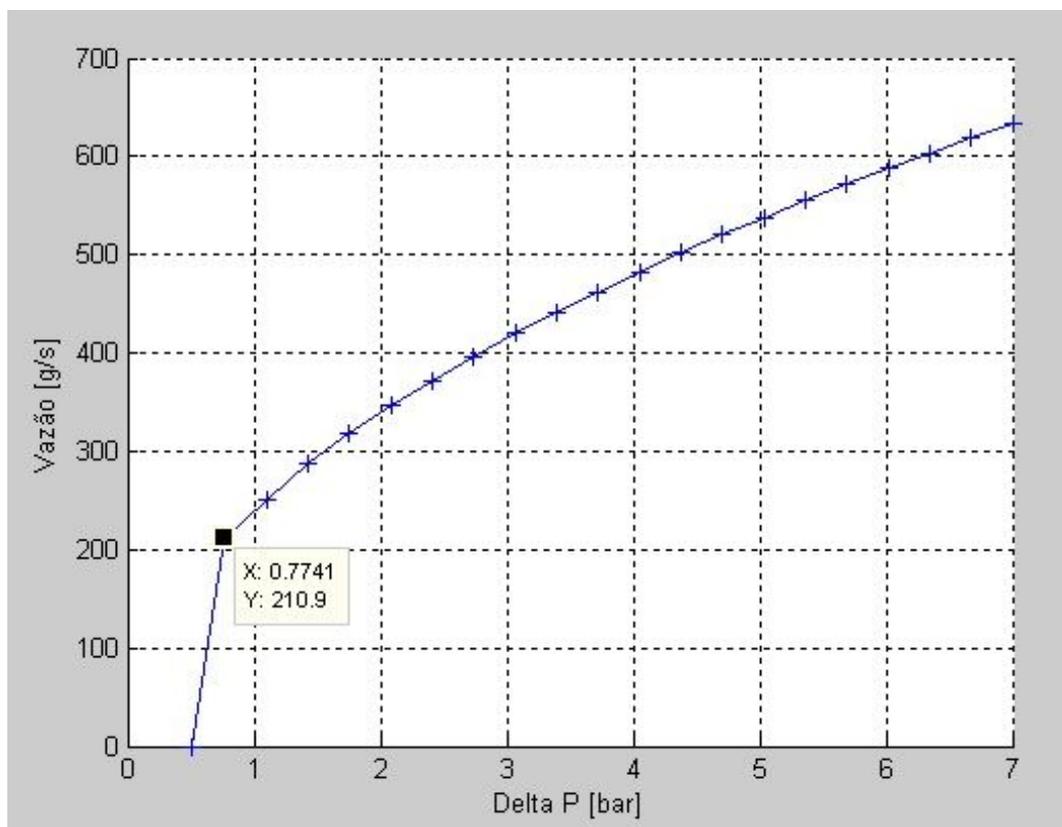


Figura 5: Curva característica da válvula modificada

Um novo ensaio foi realizado, também no Laboratório de Hidropneumática da Divisão de Propulsão Espacial do IAE, com uma mola de 140 N/m e haste do embolo aumentada de 2,4 mm, de modo a verificar se o método utilizado é capaz de prever o comportamento da válvula em diferentes configurações e assim validar as modificações propostas. Uma comparação entre os dados do ensaio e os valores previstos pela modelagem é exibida na Figura 6.

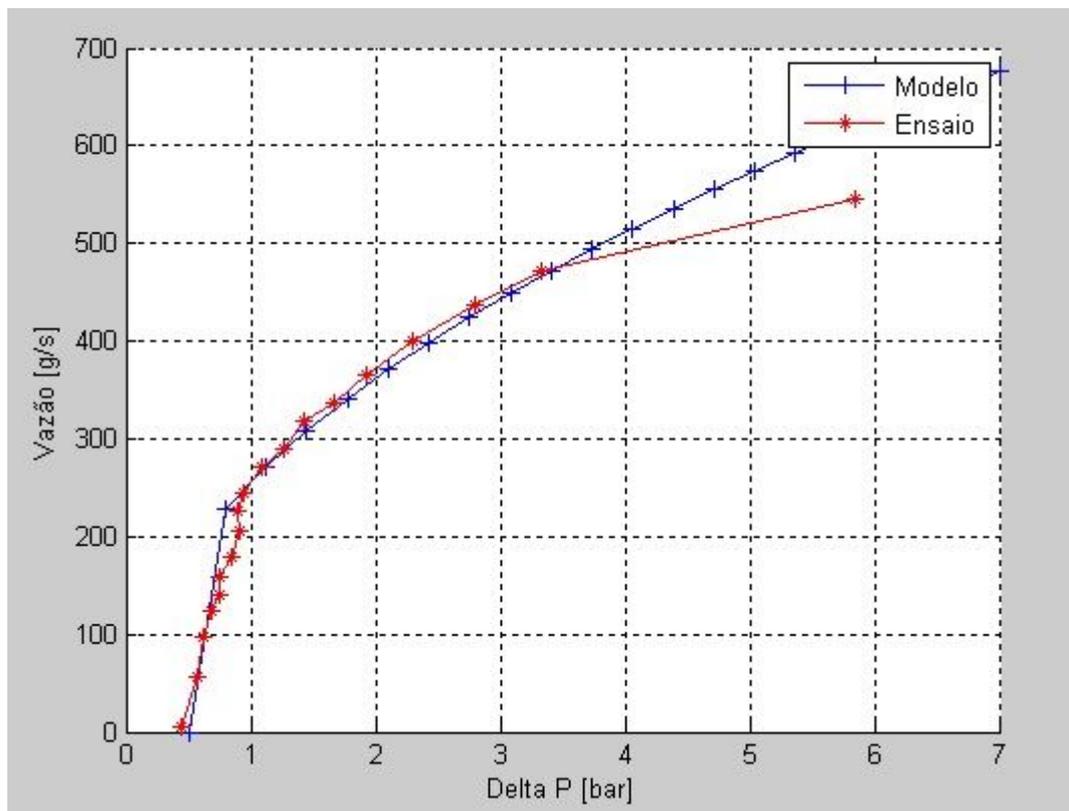


Figura 6: Comparação dados do ensaio e modelo

Pode-se observar que o método é eficaz para prever o comportamento do componente na faixa de trabalho.

4. Conclusões

Com base nos dados obtidos em dois ensaios, comparando com os valores previstos pelo modelo, é possível concluir que foi desenvolvida uma modelagem que representa adequadamente o comportamento da válvula do gerador de gás do motor L75, atingindo, dessa forma, o objetivo do trabalho. A técnica utilizada é capaz, após ajustada com um primeiro ensaio, de prever a curva característica da válvula em diferentes configurações. O modelo desenvolvido pode ser utilizado no desenvolvimento de novos componentes similares à BVGG, como em motores de maior ou menor capacidade de empuxo.

O reprojeto da BVGG, de modo a atender seus requisitos relacionados à função de anti-retorno, foi um resultado secundário obtido pelo trabalho, contribuindo para o desenvolvimento do motor foguete a propelente líquido L75.



Referências

- [1] Almeida, D. S., Pagliuco, C. M. M., *Development Status of L75: a Brazilian Liquid Propellant Rocket Engine*. J. Aerosp. Technol. Manag., São José dos Campos, Vol.6, No 4, pp.475-484, Oct.-Dec., 2014.
- [2] Souza, B. R. D., *Gas Generator Valves Assembly Technical Requirements Specification - Ethanol Version*. São José dos Campos: CTA/IAE, 2015.
- [3] Barbosa, F. I., *Modelagem dinâmica e simulação computacional de motores-foguete a propelente líquido*. Tese (Mestrado em engenharia aeronáutica e mecânica). São José dos Campos: CTA/IAE, 1999.
- [4] Merritt, H. E., *Hydraulic Control Systems*. New York: John Wiley & Sons, 1991.