



RELATÓRIO FINAL

Título do projeto de pesquisa	Estudo experimental do processo de combustão em motor foguete utilizando lasers
Bolsista:	Allan Cremasco Morgado
Orientador(a):	Wladimir Mattos da Costa Dourado
Período a que se refere o relatório:	Abril de 2015 a Julho de 2015

RESUMO

Duas atividades foram feitas pelo aluno bolsista dando continuação ao projeto do antigo aluno, uma das atividades foi a troca da câmara de combustão por uma nova e a outra atividade foi a instalação do medidor de vazão. O Banco de Estudos de Instabilidade de Combustão visa o estudo da interação combustão, acústica e turbulência da queima não pré-misturada de propano/ar e/ou GNV/ar. Neste período, foi realizado a instalação de um medidor de vazão tipo coriolis e a substituição da câmara de combustão no banco de estudos de instabilidade de combustão. A instalação do medidor de vazão se dá devido a necessidade de controlar os níveis de vazão mássica, condição necessária para obter uma referência nos dados experimentais obtidos no BEIC. A substituição da câmara de combustão foi realizada por questões geométricas. A nova câmara possibilita a análise de dados experimentais em regiões as quais não eram permitidas anteriormente. Tanto no medidor de vazão quanto na câmara de combustão houve a necessidade de elaboração e instalação de suportes para fixação e apoio.



1. INTRODUÇÃO

Para entender o experimento em questão é primordial a compreensão da termodinâmica que consiste na ciência dos processos energéticos. O conteúdo mais importante para o entendimento são as três leis da termodinâmica (VAN WYLEN et al, 1998):

- **Lei Zero:** Se dois corpos A e B estão em equilíbrio térmico com C, conseqüentemente A e B estão em equilíbrio térmico entre si;
- **Primeira lei da termodinâmica:** A energia interna de um sistema se for acrescentado energia em forma de calor irá aumentar e se retirar energia em forma de trabalho, o sistema perderá energia;
- **Segunda lei da termodinâmica:** Que a entropia nunca diminui ela aumenta em processos irreversíveis e permanece constante em processos reversíveis.

O Banco de Estudos de Instabilidade de Combustão (BEIC) localizado na Divisão e Propulsão Espacial (APE) do Instituto Aeronáutica e espaço (IAE) tem como principal objetivo o estudo da interação combustão, acústica e turbulência da queima não pré- misturada de propano/ar e/ou GNV/ar (TREVISAN, 2013).

O Banco de Estudos de Instabilidade de Combustão (BEIC) é dividido em 7 partes, que consiste em: soprador, tanque de tranquilização, medidor de vazão, duto de admissão de ar, cabeçote com injetores de combustível, câmara de combustão e dutos de exaustão. O duto de admissão possui um tubo de seção circular, seguido por um divergente e segue por um duto retangular no qual tem aberturas cuja a finalidade é a instalação de ressonadores e microfones para a indução, amortecimento, e/ou captação de ondas de pressão acústica . O cabeçote possui 3 (três) injetores, de combustível em estado gasoso, que é injetado na câmara de combustão. O duto de exaustão tem como objetivo a exaustão dos produtos recorrentes da combustão (TREVISAN, 2013).



Um das peças mais importantes no BEIC é a câmara de combustão porque, é onde se realiza o estudo dos processos citados. Outro instrumento adicionado recentemente ao BEIC foi o medidor de vazão de ar.

Foram realizado a instalação do medidor de vazão colocando-o no BEIC entre duas flanges sempre levando em consideração a inclinação em que o medidor estava para que não haja conflito de dados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Medidor de Vazão do tipo coriolis

Medidor de vazão tem como objetivo fazer a medição a vazão dos fluidos que podem ser líquidos ou gasosos, certos tipos de medidores permitem que se tenha partículas sólidas ou líquidas afim de, obter a quantidade de fluido e a taxa de vazão que passa por um processo.

Vazão volumétrica é volume do fluido (V) que escoar por unidade de tempo (t);

$$\dot{Q} = \frac{V}{t}, \quad (1)$$

Vazão mássica: é a relação da quantidade de massa do fluido (m) que escoar por unidade de tempo;

$$\dot{M} = \frac{m}{t}, \quad (2)$$

Efeito Coriolis consiste na tendência de um corpo em movimento que está na superfície terrestre em mudar seu curso devido a direção rotacional e a velocidade da terra. Um corpo em movimento que está no hemisfério norte tem tendência a se mover para o sentido horário e um corpo em movimento no hemisfério sul tem tendência a se mover para o sentido anti-horário.



A medição de vazão no medidor do tipo coriolis ocorre pela vibração dos tubos internos em sua frequência de ressonância. Devido essa vibração a força de coriolis é notada e gera-se uma defasagem entre os movimentos dos braços que, através de sensores de proximidade, medem a angulação e fornece de maneira eletrônica uma leitura direta de vazão mássica . Após condicionamento consegue-se obter uma tensão proporcional a vazão conforme a Eq.(3).(FILARDI,2012) :

$$Q_{real} = \frac{k_p \cdot \theta t}{2 \cdot \omega \cdot L t \cdot da}, \quad (3)$$

onde Q_{real} é a vazão mássica(kg/s), k_p é a constante de proporcionalidade, θt é o ângulo de torção (radianos), ω é a velocidade angular (Hz), $L t$ é o comprimento do tubo (m) e da é o afastamento do tubo (m).

Uma das grandes vantagens deste tipo de medidor de vazão é fornecer diretamente o fluxo mássico, não importando se o produto está em uma única fase ou se partículas solidas estão misturadas com as liquidas, sem a necessidade da compensação de pressão, temperatura ou viscosidade (FILARDI, 2012).

O medidor de vazão acoplado no BEIC (Fig. 1) possui 581mm de comprimento, 174mm de altura e 144mm de largura. Suas especificações técnicas podem ser visualizadas na tabela abaixo:



Tabela 1: Especificações Medidor de vazão e densidade Coriolis ELITE
 (FONTE: EMERSON).

Precisão de fluxo de massa (Líquido)	±0.10% de taxa (padrão) ±0.05% de taxa(opcional)
Repetibilidade de fluxo de massa (Líquido)	±0.05% de taxa (padrão) ±0.025% de taxa(opcional)
Precisão fluxo de volume (líquido)	±0.10% de taxa (padrão) ±0.05% de taxa (opcional)
Repetibilidade fluxo de volume (líquido)	±0.05% de taxa (padrão) ±0.025% de taxa (opcional)
Precisão de fluxo de massa (Gás)	±0.35% de taxa
Repetibilidade de fluxo de massa (Gás)	±0.20% de taxa
Precisão densidade (líquido)	±0.0005 g/cm ³ (±0.5 kg/m ³) (padrão) ±0.0002 g/cm ³ (±0.2 kg/m ³) (opcional)
Densidade repetibilidade (Líquido)	±0.0002 g/cm ³ (±0.2 kg/m ³) (padrão) ±0.0001 g/cm ³ (±0.1 kg/m ³) (opcional)
Precisão de temperatura	±1 °C ±0.5% de leitura

A instalação do medidor de vazão se dá devido a necessidade de controlar os níveis de vazão mássica do ar, condição necessária para servir de referência os dados

experimentais obtidos no BEIC.



Figura1: Medidor de vazão.

Para que a instalação do medidor de vazão fosse possível foi necessária a elaboração e instalação de flanges e suportes (Fig. 2) no BEIC afim de fixar e suportar o peso para evitar que ocorresse qualquer tipo de deformação nas peças ligadas ao medidor de vazão como, por exemplo, a união elástica. Outra finalidade dos suportes é evitar vibrações que possam prejudicar a obtenção dos dados ou os instrumentos ligado a ele.

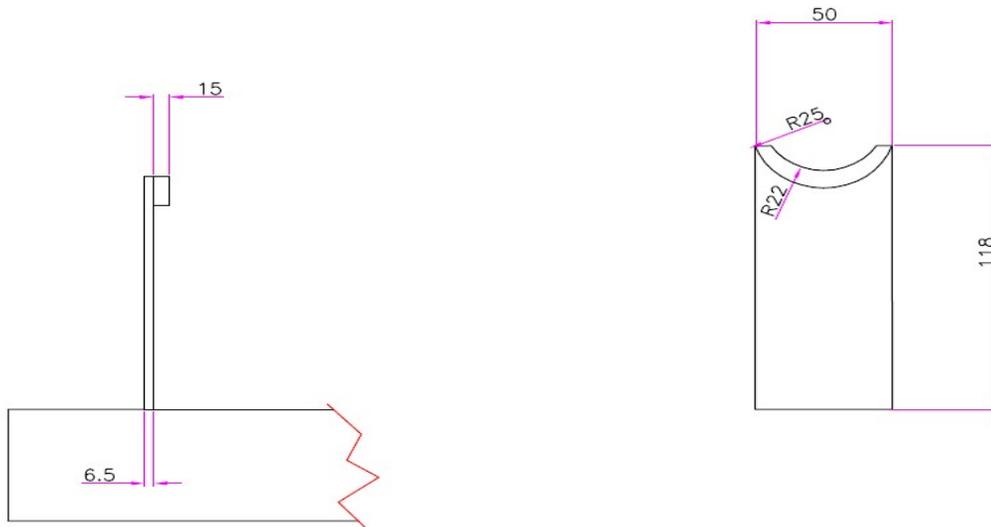


Figura 2: Suporte do medidor de vazão.

2.2. Câmara de combustão

A principal finalidade da câmara de combustão é estudar o processo de combustão, e sua interação com a turbulência e acústica.

A troca da câmara de combustão foi realizada por questões geométricas. A antiga possuía dois desníveis que levavam a situação desfavorável, modificando assim a condição real de escoamento e prejudicando os estudos. A nova câmara possui as seguintes dimensões: 200mm de largura, 550mm de comprimento e 200mm de altura.

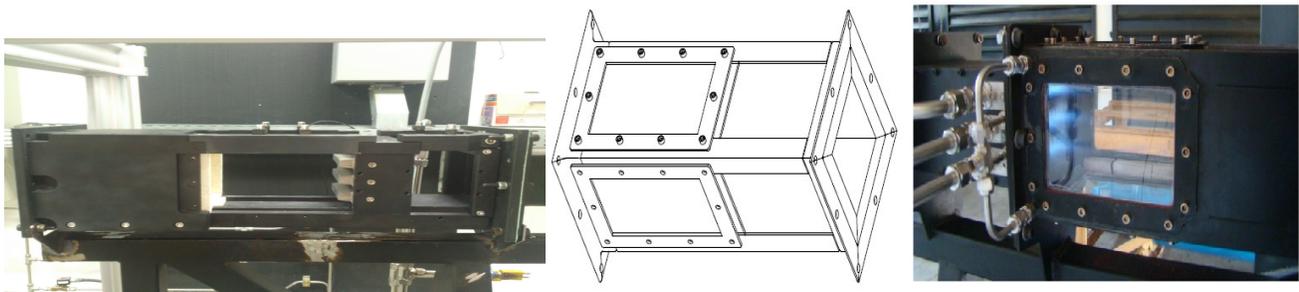


Figura 3: Câmara de combustão. A esquerda a nova câmara e a direita a antiga.

Devido a modificação na câmara de combustão, os suportes fixados no BEIC que se situa entre o cabeçote e o duto de exaustão tiveram que sofrer adaptações (Fig. 4) para a fixação da nova câmara.

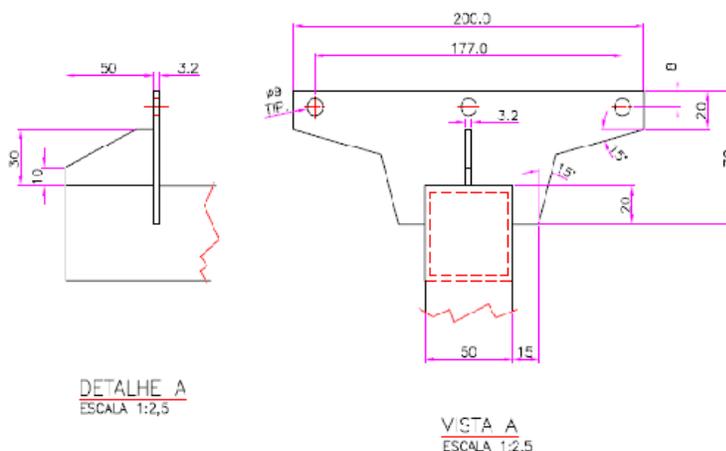


Figura 4: Suporte câmara de combustão.

3. CONCLUSÃO

A instalação do medidor de vazão é importante devido a necessidade de obter uma referência dos valores de entrada de vazão e velocidade do escoamento. A adaptação realizada no BEIC para a instalação desse medidor de vazão teve o cuidado de colocar o medidor numa condição estável e segura. A montagem se mostrou bastante rígida e com a possibilidade de montar medidor com outras dimensões.

A substituição da câmara de combustão também demonstrou um trabalho de modificação do banco. Esse trabalho necessitou medidas e estudos dos desenhos de modo a ser fixado no banco. A avaliação desses desenhos e peças permitem uma adaptação que conciliasse as versões novas e antigas.



4. REFERENCIAS

EMERSON Process Management,
[https://businessapps.emrsn.com/OA_HTML/ibeCCtpltmDspRte.jsp?
&qty=1&tmpx=100&tmpy=100&item=7563447§ion=10141&isPreConfigItem=false&senso
rName=CMF200M&sensorItemId=1323962&transmitterName=5700&transmitterItemId=1208
4334](https://businessapps.emrsn.com/OA_HTML/ibeCCtpltmDspRte.jsp?&qty=1&tmpx=100&tmpy=100&item=7563447§ion=10141&isPreConfigItem=false&sensorName=CMF200M&sensorItemId=1323962&transmitterName=5700&transmitterItemId=12084334), acessado em 21 de Julho de 2015.

FILARDI, M.; **Medição de vazão em tubos de pequeno diâmetro utilizando orifícios de integrais**; Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica); Universidade Estadual Paulista, Faculdade de engenharia de ilha solteira, Área de conhecimento: Mecânica dos Fluidos, 178p, 2012.

TREVISAN, B.P.; **Estudo experimental de interação turbulência, combustão e acústica aplicada a motores aeroespaciais**; Proposta (Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espacial), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013 (Não Publicado).

VAN WYLEN, G. J.; SONNTAG, R.E.; BORGNAKKE, C.; **Fundamentos da Termodinâmica Clássica**, 5 Edição, São Paulo: Ed. Edgard Blucher Ltda, 1998.