

DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO PARA MEDIR A VELOCIDADE DE MODELOS HIPERSÔNICOS UTILIZANDO FIOS DE COBRE

Bruno Amoedo Barcia Paiva da Silva, brunoamoedo@ieav.cta.br¹
Marcos de Melo Borges, mborges@ieav.cta.br¹
Marco Antonio Sala Minucci, sala@ieav.cta.br¹
Sidney Bariani Cruzelles, sidneybariani@hotmail.com¹
Oseas Domingos de Abreu, oseas@ieav.cta.br¹
Paulo Gilberto de Paula Toro, toro@ieav.cta.br¹
Alberto Monteiro dos Santos, alberto@ieav.cta.br¹

¹Instituto de Estudos Avançados (IEAv) – Rod. dos Tamoios, km 5,5 – Putim – CEP 12.228-001 – São José dos Campos – SP – Brasil – Tel. +55 (12) 3947-5360 – Fax +55 (12) 3944-1177

Resumo: *O presente trabalho aborda um método alternativo, não-intrusivo e economicamente viável para medir a velocidade de modelos hipersônicos que viajam no interior do Lançador Hipersônico de Massa do Instituto de Estudos Avançados. O método consiste em posicionar fios de cobre perpendicularmente à trajetória do modelo, cujas extremidades estão conectadas a um circuito de alta velocidade. São descritos resumidamente detalhes técnicos e operacionais do sistema e é feita uma comparação com outros métodos convencionais utilizados para medir a velocidade de modelos hipersônicos.*

Palavras-chave: *Lançador Hipersônico de Massa, Compressor a Pistão Livre, Hipersônica*

1. INTRODUÇÃO

O Lançador Hipersônico de Massa, desenvolvido e construído no Instituto de Estudos Avançados (IEAv), é um dispositivo utilizado para acelerar modelos a velocidades hipersônicas, com o propósito de investigar escoamentos hipersônicos.

No desenvolvimento deste dispositivo optou-se por utilizar o “Two Stage Light Gas Gun” (“Two Stage LGG”) associado a um “Ram Accelerator”. Esse conjunto foi denominado Lançador Hipersônico de Massa (LHM).

Para que se consiga acelerar modelos a velocidades hipersônicas utilizando a técnica do “Ram Accelerator”, é preciso utilizar dois dispositivos: um para lançar ou injetar os modelos a velocidades supersônicas (“Two Stage LGG”) no interior de um tubo contendo uma mistura energética (propelentes em fase gasosa), e outro que irá acelerar esses modelos a velocidades hipersônicas através de um processo de combustão/detonação (“Ram Accelerator”).

A tecnologia do “Ram Accelerator”, para acelerar modelos a velocidades hipersônicas, foi primeiramente desenvolvida pelos professores da Universidade de Washington, Abe Hertzberg, Adam Bruckner e David Bogdanoff (1986, 1988). Nesta instituição, eles conseguiram atingir velocidades próximas a 2700 m/s. Diversos outros institutos, de vários países, iniciaram pesquisas sobre esta tecnologia, incentivados pelo sucesso obtido na Universidade de Washington.

Na medida em que a tecnologia aeroespacial foi sendo aprimorada, as velocidades de interesse para modelos hipersônicos aumentaram cada vez mais, atingindo velocidades próximas a 8000 m/s, velocidade próxima à de satelitização.

No começo dos anos 90, o Brasil apresentou sua contribuição para o desenvolvimento das pesquisas nesta área (Salvador et al, 2000). Por sua vez, ainda no final desta década, o IEAv, com Minucci (Morales et al, 1997), inicia seus trabalhos, desenvolvendo programas computacionais, bem como a montagem de um túnel de choque para a realização de experimentos. Mais recentemente, uma dissertação de mestrado intitulada “Estudo Experimental do Lançador Hipersônico de Massa”, de autoria de Borges (2009), procurou desenvolver a aplicabilidade experimental do LHM, com a realização de diversos ensaios.

Os princípios gerais de funcionamento do LHM têm como fundamento sua estrutura, que é constituída, principalmente, por um longo tubo, pressurizado com uma mistura energética composta por combustível, oxidante e diluente (“Ram Accelerator”). Um modelo é lançado no interior deste tubo com velocidade supersônica, empurrado pela expansão de um gás a alta pressão (“Two Stage LGG”). A onda de choque formada no nariz do veículo é refletida nas

paredes do tubo e concentra-se na sua traseira, produzindo um aumento de temperatura suficiente para detonar a mistura energética, criando uma onda de detonação que empurra o modelo e aumenta a sua aceleração (Bruckner, 1997). Os gases mais utilizados neste processo são: o metano como combustível, o oxigênio como oxidante e o nitrogênio como diluente.

O LHM pode ser dividido em duas seções principais: a Seção de Compressão, que é composta por um Compressor a Pistão Livre (CPL) (Borges et al, 2008) e um estágio de aceleração em ambiente a baixa pressão ("Two Stage LGG"), e a Seção de Aceleração, que é composta por um "Ram Accelerator". Na Fig. (1) observa-se uma ilustração do LHM.

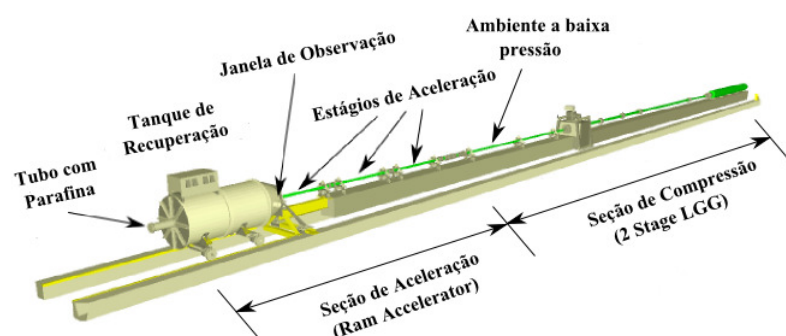


Figura 1. Vista geral do Lançador Hipersônico de Massa.

A Seção de Aceleração é composta de vários estágios de aceleração, cada um deles com uma mistura energética diferente, e um tanque de recuperação que é utilizado para desacelerar o movimento do modelo e serve também para que sejam efetuadas algumas medições através de técnicas não-intrusivas de coleta de dados experimentais.

O tanque de recuperação possui uma área controlada por pressão contendo duas janelas de observação. O controle da pressão é importante para simular a altitude de voo do modelo. Para a desaceleração do modelo é utilizado um tubo contendo parafina.

O LHM é um dispositivo essencial para quem deseja investigar escoamentos hipersônicos, sendo objeto de estudo por várias potências mundiais. Este dispositivo possui inúmeras aplicações, dentre as quais podemos citar: a) o estudo de escoamentos hipersônicos; b) o teste de parâmetros de impactos em velocidades hipersônicas; c) o lançamento de um satélite em órbita; d) o lançamento de uma carga útil ao espaço; além de aplicações aeroespaciais.

2. MÉTODO UTILIZADO PARA MEDIR A VELOCIDADE DO MODELO

2.1. Utilizando sensores de fios de cobre

A velocidade com que o modelo viaja no interior das seções do LHM é um parâmetro de grande importância para a análise dos fenômenos físicos e químicos ocorridos nos experimentos. Então, o desenvolvimento de uma técnica alternativa, não-intrusiva e economicamente viável é assunto de interesse dos pesquisadores envolvidos com essa tecnologia.

O trabalho aqui apresentado procura demonstrar um método simples e confiável para medir a velocidade média adquirida pelo modelo, utilizando como sensor de velocidade fios de cobre finos colocados ao longo das seções do LHM.

A técnica desenvolvida para medição de velocidades hipersônicas consiste em colocar fios de cobre finos perpendicularmente à trajetória do modelo, como ilustrado na Fig. (2), cujas extremidades estão conectadas a um circuito eletrônico que responde a uma alta velocidade, de modo que o modelo, ao atingir o fio, provoque sua ruptura, ocasionando uma resistência infinita e fazendo com que o circuito eletrônico responda com uma transição positiva. Como os fios foram posicionados a intervalos conhecidos ao longo do LHM, é possível saber a velocidade média

conhecendo o tempo gasto no deslocamento do modelo entre esses sensores. Esse intervalo de tempo é fornecido por um equipamento de medida (osciloscópio).

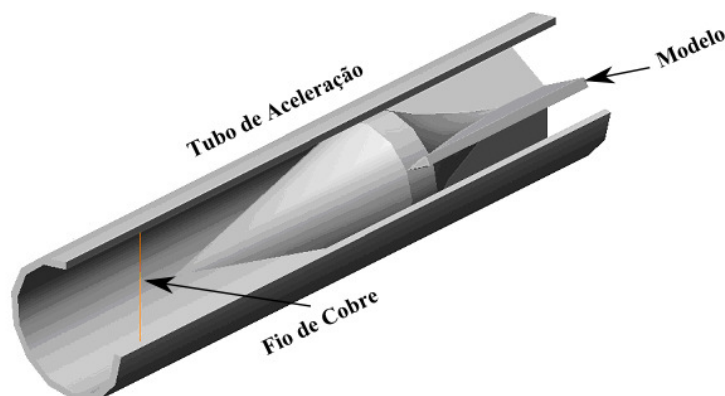


Figura 2. Posição do modelo em relação ao fio de cobre dentro do tubo de aceleração.

2.2. Métodos convencionais

Existem vários métodos convencionais utilizados para a medição de velocidade na prática da tecnologia do “Two Stage LGG/Ram Accelerator”. Dentre vários, podemos citar: transdutores de pressão, sensores de infravermelho, câmeras de alta velocidade e métodos ópticos. Todos esses métodos convencionais vêm sendo empregados com eficiência comprovada, mas tratam-se, na maioria, de componentes sensíveis e de alto custo, ou de componentes que requerem o emprego de outros equipamentos de medida que inviabilizam qualquer projeto.

2.3. Funcionamento do circuito eletrônico

O circuito eletrônico, que é conectado aos sensores de fios de cobre, possui uma eletrônica simples e com velocidade suficiente para suprir as necessidades do LHM.

O seu funcionamento fundamenta-se numa transição positiva quando o fio for partido pelo modelo, indicada pelo acendimento de um LED. O dispositivo também apresenta uma opção de simular a ruptura do fio, utilizando uma chave de acionamento momentâneo.

Uma bateria de 9 volts é utilizada pelo circuito, de modo a minimizar a ocorrência de ruídos provenientes da rede elétrica. A Fig. (3) mostra o esquema do circuito elétrico utilizado.

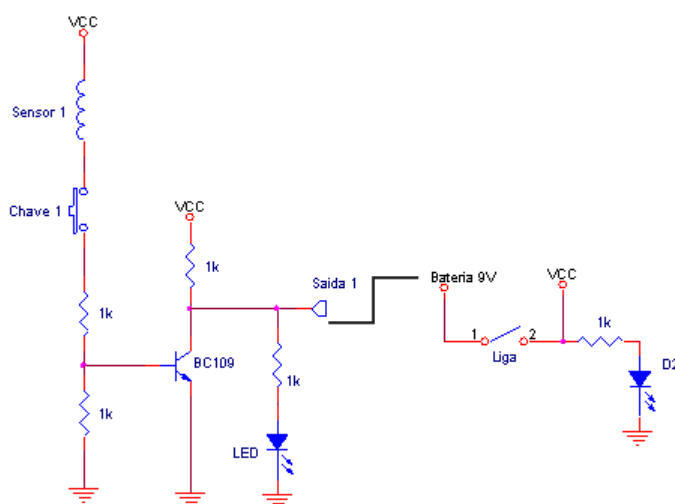


Figura 3. Esquema elétrico do circuito do Sensor de Fio de Cobre.

Na Fig. (4), pode-se observar o dispositivo em sua forma final, o qual consiste de seis circuitos independentes.



Figura 4. Sensor de Fio de Cobre em sua forma final.

Para o cálculo da velocidade v do modelo, utiliza-se a Eq. (1), onde Δs é a distância entre dois fios de cobre consecutivos, posicionados no interior do tubo de aceleração, e Δt é o tempo decorrido entre a ruptura dos fios de cobre pelo deslocamento do modelo.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1)$$

Tendo como referência a Fig. (5), que mostra uma simulação do funcionamento deste dispositivo, são observados dois pulsos, em forma de onda quadrática, registrados no osciloscópio da marca Tektronics, modelo TDS 2014. O período é determinado pela diferença entre as duas ondas, no eixo das abscissas, a partir da transição positiva dos sinais.

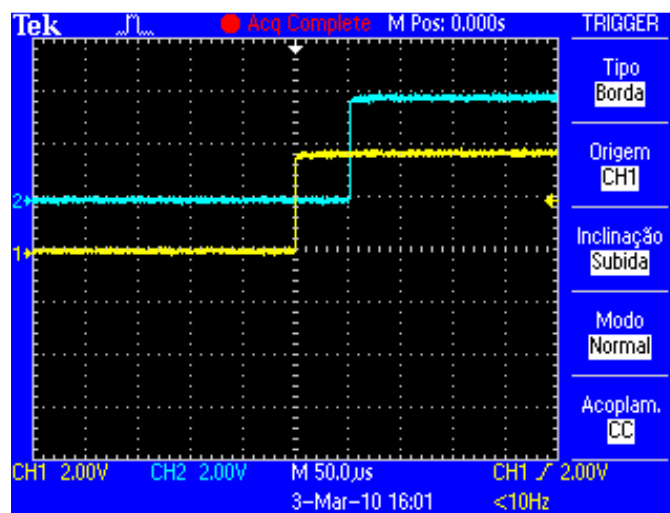


Figura 5. Simulação do funcionamento do dispositivo.

Para fins de cálculo desta simulação, utiliza-se Δt (o período entre os dois pulsos registrados no osciloscópio) igual a $50 \mu s$, e adota-se Δs (a distância entre os dois sensores de fio de cobre) como sendo $0,1 m$.

Deste modo, a partir da Eq. (1), determina-se a velocidade do modelo:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0,1}{0,00005} = 2000 m/s$$

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

O fio de cobre é posicionado, de modo que possa ser rompido, perpendicularmente ao modelo. A localização deste no interior do tubo de aceleração é ilustrada na Fig. (6).

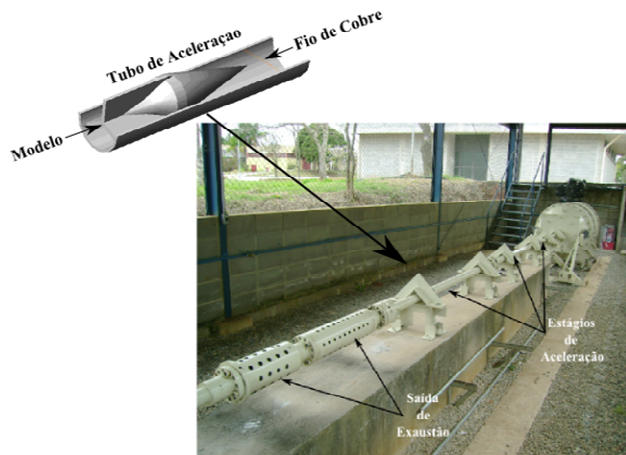


Figura 6. Localização do modelo e do fio de cobre dentro do tubo de aceleração.

A Fig. (7) mostra os resultados experimentais do disparo do LHM. Os pulsos do canal 1 (amarelo) e canal 2 (azul) representam os sinais obtidos pelo rompimento do par de fios de cobre posicionado no interior do tubo de aceleração, onde a velocidade observada é de $1180 m/s$. Os pulsos do canal 3 (violeta) e canal 4 (verde) mostram os sinais obtidos pelos transdutores de pressão PCB, que estão fixados no tubo de aceleração, onde a velocidade observada é de $1250 m/s$.

A comparação dos resultados experimentais obtidos pelos dois métodos demonstrou excepcional concordância entre os valores médios das velocidades encontradas, apresentando um erro relativo inferior a $5,6\%$.

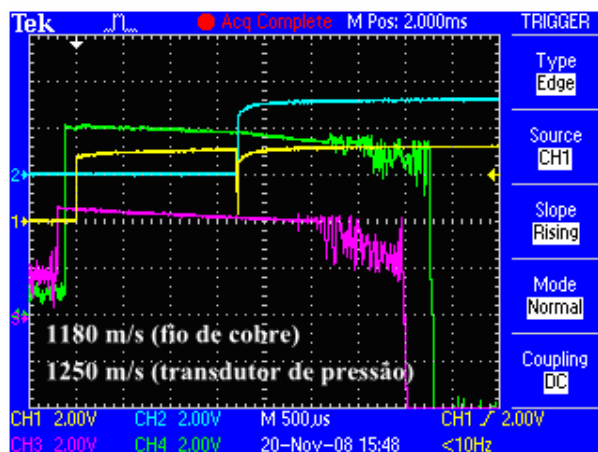


Figura 7. Resultados experimentais obtidos durante a operação do Lançador Hipersônico de Massa.

4. CONCLUSÕES

Em virtude dos resultados empíricos previamente demonstrados, pode-se afirmar que o método para medição de velocidades hipersônicas, no Lançador Hipersônico de Massa do Instituto de Estudos Avançados, utilizando o Sensor de Fios de Cobre, atende perfeitamente às necessidades por dados experimentais confiáveis, de um modo simples e econômico, quando comparado aos métodos convencionais.

5. AGRADECIMENTOS

À Divisão de Suporte Tecnológico (EST), do Instituto de Estudos Avançados (IEAv), pelo efetivo apoio prestado no desenvolvimento deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Borges, M.M., “Estudo Experimental do Lançador Hipersônico de Massa”, Dissertação de Mestrado, INPE, São José dos Campos, 2009.
- Borges, M.M.; Minucci, M.A.S.; Burger, D.; Ferraz, E.O.; Toro, P.G.P.; Santos, A.M., “Compressor a Pistão Livre para Tubos e Túneis de Choque”, In: V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - 18 a 22 de agosto de 2008 - Salvador - Bahia - Brasil.
- Bruckner, A.P., “The ram accelerator: overview and state of the art”, In: Third International Workshop on Ram Accelerators, 1997, Sendai. Proceedings of the Third International Workshop on Ram Accelerators. Berlin: Springer-Verlag, p. 3-23, 1997.
- Hertzberg, A.; Bruckner, A.P.; Bogdanoff, D.W., “The ram accelerator: A new chemical method of achieving ultrahigh velocities”, Proc. 37th Meeting of the Aeroballistic Range Association, Quebec, Canada. September 9-12, 1986.
- Hertzberg, A.; Bruckner, A.P.; Bogdanoff, D.W., “Ram accelerator: A new chemical method for accelerating projectiles to ultrahigh velocities”, AIAA J., v. 26, p.195-203, 1988.
- Morales, M.M.; Minucci, M.A.S.; Chanes Júnior, J.B.; Ramos, A.G.; Bastos Netto, D., “Numerical investigation on subdetonative mode ramjet-in-a-tube”, In: Third International Workshop on Ram Accelerators, 1997, Sendai. Proceedings of the Third International Workshop on Ram Accelerators. Berlin. Springer-Verlag, p.135-142, 1997.
- Salvador, N.M.C.; Morales, M.M.; Migueis, C.E.S.S.; Bastos - Netto, D., “Numerical Simulation of a Liquid Propellant Rocket Motor”, In: Millenium International Symposium on Thermal and Fluid Sciences (Thermal&Fluid2000), 2000, Xi 'An. Collected Abstracts. Beijing: Institute of Engineering Thermophysics, v. 1, p.198-199, 2000.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

DEVELOPMENT OF A METHOD TO MEASURE THE SPEED OF HYPERSONIC MODELS USING COPPER WIRES

Bruno Amoedo Barcia Paiva da Silva, brunoamoedo@ieav.cta.br¹

Marcos de Melo Borges, mborges@ieav.cta.br¹

Marco Antonio Sala Minucci, sala@ieav.cta.br¹

Sidney Bariani Cruzelles, sidneybariani@hotmail.com¹

Oseas Domingos de Abreu, oseas@ieav.cta.br¹

Paulo Gilberto de Paula Toro, toro@ieav.cta.br¹

Alberto Monteiro dos Santos, alberto@ieav.cta.br¹

¹Instituto de Estudos Avançados (IEAv) – Rod. dos Tamoios, km 5,5 – Putim – CEP 12.228-001 – São José dos Campos – SP – Brasil – Tel. +55 (12) 3947-5360 – Fax +55 (12) 3944-1177

***Abstract:** The present work approaches an alternative, non-intrusive and affordable method to measure the speed of hypersonic models that travel inside the Hypersonic Mass Launcher's acceleration tube of the Institute for Advanced Studies. The method consists of positioning copper wires perpendicularly to the model's trajectory, whose extremities are connected to a high-speed circuit. The technical and operational details of the system are concisely described, and a comparison with other conventional methods, used to measure the speed of hypersonic models, is shown.*

***Keywords:** Hypersonic Mass Launcher, Free Piston Compressor, Hypersonics*

1. RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.