

# APERFEIÇOAMENTO DE UMA CÂMARA EXPERIMENTAL PARA DETERMINAÇÃO DE CONDUTÂNCIAS TÉRMICAS

**Carina Furusho** ([carina@h8.ita.br](mailto:carina@h8.ita.br))

**Ezio Castejon Garcia** ([ezio@ita.br](mailto:ezio@ita.br))

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – Div. de Engenharia Mecânica-Aeronáutica  
Pça Marechal Eduardo Gomes, 50 - 12228-900 - São José dos Campos, SP, Brasil

**Rosemary P. Demori** ([demori@lit.inpe.br](mailto:demori@lit.inpe.br))

**Marcio Bueno dos Santos** ([bueno@lit.inpe.br](mailto:bueno@lit.inpe.br))

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)  
Lab. de Integração e Testes (LIT)

*Resumo. O projeto térmico de satélites artificiais possui um relevante fator gerador de incertezas relacionadas às regiões de montagens mecânicas dos equipamentos (sobre as plataformas) que o compõem. As determinações das condutâncias térmicas, sejam pela resistência térmica de contato dessas regiões ou pelo conhecimento da condutividade térmica dos materiais, são essenciais para os cálculos das transferências de calor que ocorrem no sistema. Propõe-se o aperfeiçoamento do instrumento medidor destes parâmetros de projeto no LIT (Laboratório de Integração e Testes) do INPE, realização de experimentos para sua calibração e, finalmente, realização de experimentos para validar modelos teóricos propostos em teses e artigos já publicados. Serão considerados os efeitos da pressão no contato, direcionalidade do fluxo de calor, dos materiais e da rugosidade das superfícies em contato.*

*Abstract. The thermal project of artificial satellites has a relevant uncertainty generator factor associated to the mechanical joining of two materials. Determining the thermal conductances (thermal contact resistance of these regions and thermal conductivity of the materials) are essential for compute the heat transfer that takes place in the system. The improvement of the measuring instrument of these design parameters in the LIT (Laboratory of Integration and Tests) of the INPE, has been made. Experiments for its calibration and, finally, accomplishment of experiments to validate theoretical models considered in latest works and published articles will be made. The effect of the pressure in the contact will be considered, as well as the direction of the flow of heat, the materials and the roughness of the surfaces in contact.*

## 1. INTRODUÇÃO

A difusão de calor em sólido, usualmente chamada de condução, ocorre por dois mecanismos principais:

- a) devido às "ondas de energia" originada das interações moleculares conhecida como "lattice waves", que estão sempre presentes;
- b) devido ao movimento livre de elétrons, presente em metais e semicondutores.

Esses dois mecanismos são afetados por várias outras componentes tais como forças moleculares, imperfeições dos cristais, etc.

Em um sistema térmico, as taxas de troca de calor por condução são calculadas através da equação de condução de Fourier, descrita pela eq.(1):

$$q = - K.A.dt/dx \tag{1}$$

onde:

$q$  = taxa de calor [ W ];

$A$  = área da seção transversal [  $m^2$  ];

$K$  = condutividade térmica do material [  $W/m^0C$  ];

$dt/dx =$  gradiente de temperatura [ $^{\circ}C/m$ ].

A *condutividade térmica* definida por esta equação, é usualmente determinada experimentalmente. Seus valores, para sólidos, variam muito, dependendo do material ser um bom condutor de calor, como os metais, ou um isolante térmico, como o asbesto.

Medidas de condutividade térmicas têm sido extensamente realizadas por diferentes técnicas experimentais. O "Thermophysical Properties Research Center (TPRC) Data Books" (1963) lista aproximadamente 800 referências sobre medições de condutividade térmica em sólidos, das quais, cerca de 600, empregam essencialmente fluxo de calor linear. Apesar do número elevado de trabalhos nesta área, a discrepância de resultados, para esta propriedade, é muito elevada. É necessário o esforço contínuo no desenvolvimento e melhoramento dos aparatos experimentais para medidas de condutividade térmica de materiais, particularmente de materiais novos ou de interesse para os quais não se obtêm valores na literatura.

Quando superfícies nominalmente planas são colocadas em contato e atravessadas por uma taxa de calor, observa-se no local a ocorrência de um salto de temperatura, atribuída à *resistência da interface do contato*, conforme mostrado na Fig. 1 (Garcia e Carjilescov, 1987).

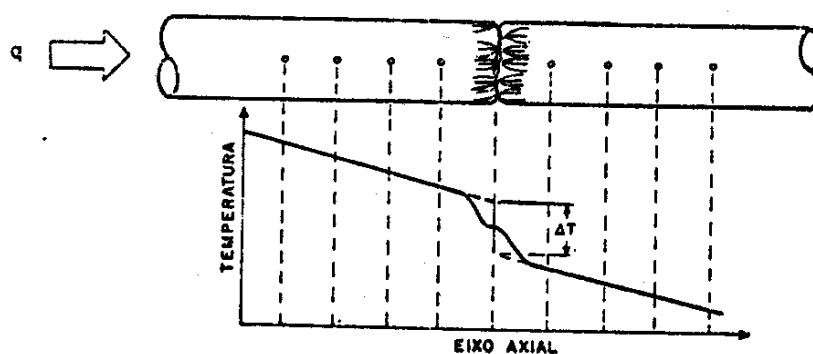


Fig. 1 – Salto de Temperatura no Contato.

Esta resistência térmica é função da área efetiva de contato, das propriedades físicas e térmicas dos materiais e do eventual fluido intersticial, e da pressão de contato (e conseqüentemente das propriedades mecânicas dos materiais envolvidos). Experimentalmente, a resistência térmica de contato é definida como [eq.(2)]:

$$Rt_c = \frac{\Delta T}{q} \quad (2)$$

ou sob a forma de condutância de contato específica [eq.(1)]:

$$h_c = \frac{q/A}{\Delta T} \quad (3)$$

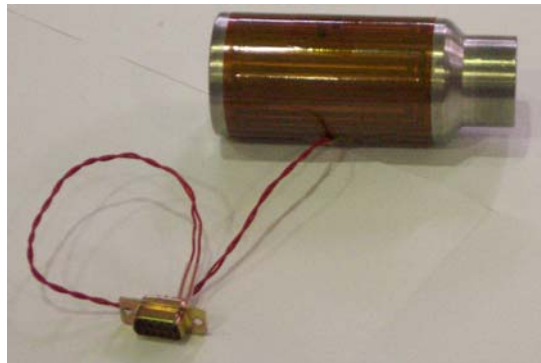
Esse trabalho visa o aperfeiçoamento de um aparato experimental desenvolvido (Garcia e Carjilescov, 1987), no Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Até esta data, não foi possível ainda realizar ensaios dos corpos de prova. Sendo assim, este artigo está apresentado apenas etapas das implementações destinadas ao futuro estudo da condutividade térmica e da resistência térmica de contato. Estas implementações estão sendo realizadas pela divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) em conjunto com o Laboratório de Integração e Teste (LIT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

## 2. OBJETIVO

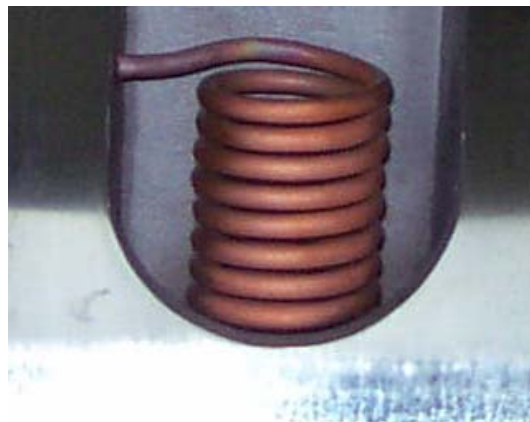
O presente trabalho consiste no aperfeiçoamento de um aparato experimental para determinações das condutâncias: resistência térmica de contato e condutividade térmica de materiais sólidos. As medições são realizadas em corpos de prova em ambiente de vácuo, colocados entre uma fonte e um sumidouro de calor, dentro de uma câmara. A superfície desta câmara termovácuo possui blindagens contra a radiação de calor. Os ensaios são realizados em regime permanente, com fluxo de calor unidimensional. As medições são dadas pelas leituras das temperaturas ao longo dos eixos axiais dos corpos de prova. A taxa de calor que atravessa os corpos de prova é dada pelo gradiente de temperatura em um material, denominado de fluxímetro, com condutividade térmica anteriormente calibrada. Uma formulação para este tratamento é descrita por Ozisik (1980). Nesta primeira fase deste projeto, este artigo apresenta as implementações da câmara termovácuo citada. O próximo passo será sua calibração.

## 3. APARATO EXPERIMENTAL

Os corpos de prova são colocados entre uma fonte de calor, Fig. 2, e um sumidouro, Fig. 3, dentro de uma câmara de vácuo que possui blindagens contra radiação térmica, Fig. 4, onde tais corpos de prova ficam envolvidos. Deste modo, perdas radiais de calor nos corpos de prova, Fig. 5, são desprezíveis e o fluxo de calor torna-se unidimensional. A distribuição de temperatura é obtida ao longo dos eixos axiais dos corpos de prova, obtendo-se, assim, os gradientes de temperatura. A taxa de calor é dada pelo gradiente de temperatura em um material padrão com condutividade térmica conhecida, denominado de fluxímetro, Fig. 6.



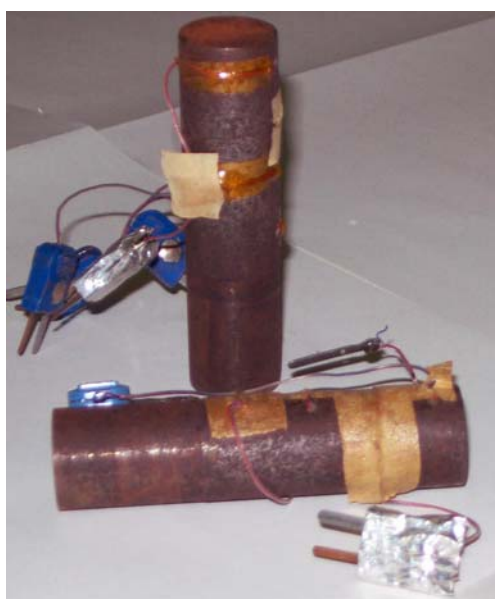
*Fig. 2 - Fonte de Calor: bloco de alumínio com "skin-heater".*



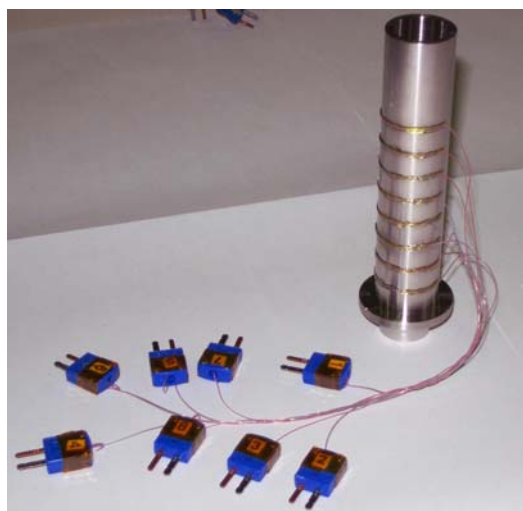
*Fig. 3 - Sumidouro: bloco de alumínio com serpentina para refrigerante (água fria ou nitrogênio líquido).*



*Fig. 4 - Blindagem: Tubo de alumínio bipartido revestido com filme de baixa emissividade térmica e “Multilayer Insulation –MLI” de 15 camadas.*

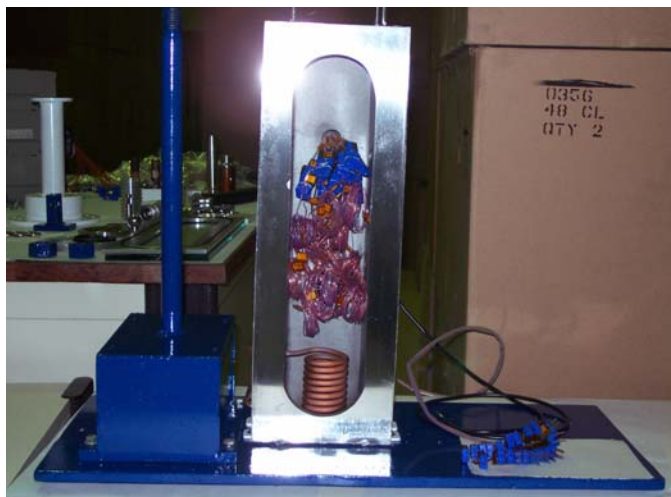


*Fig. 5 - Corpos de Prova.*



*Fig. 6 – Fluxímetro.*

As Fig. 7 e Fig. 8 apresentam a câmara de termovácuo preparada para receber a fonte de calor, corpo de prova e fluxímetro, e sistema de bombeamento. Foram realizadas várias detecções de fugas e corrigidas várias dessas fugas de tal forma que esta câmara, após os aperfeiçoamentos implementados com soldas e resinas, está com fugas inferiores à resolução de detector utilizador (“Spectrum 3000 – Edwards”, resolução de  $10^{-9}$  Torr.litros/seg).



*Fig. 7 - Vista frontal da câmara termovácuo*



*Fig. 8 - Vista posterior da câmara termovácuo. Detalhe das interfaces para o sistema de bombeamento e de aquisição de dados de temperatura e vácuo.*

O Sistema de Bombeamento de vácuo é feito em 2 estágios. O primeiro estágio é dado por uma bomba rotativa de palhetas: O segundo estágio dado pela bomba difusora para obtenção do alto

vácuo (pressão menor que  $1 \times 10^{-6}$  Torr). Nesta pressão, a convecção térmica pode ser totalmente desprezada, garantido ainda mais o fluxo de calor unidimensional. A Fig. 9 apresenta o sistema de bombeamento utilizado (sistema Edwards Diffstak MK2-100/30 com bomba mecânica E2M8).



*Fig. 9 - Sistema de bombeamento.*

Na instrumentação, são utilizados termopares tipo T de baixa bitola (36 AWG) para amenizar as perdas de calor por tais sensores. O equipamento de medida de temperatura é um sistema HP3497, com canais multiplexados com taxa de aquisição de 30 s.

#### **4. CONCLUSÃO**

Nesta primeira fase deste projeto, este artigo apresenta os incrementos necessários realizados em uma câmara termovácuo para a análise e estudo das condutâncias térmicas: resistência térmica de contato e condutividade térmica de materiais sólidos. Apesar de não estarem sendo apresentados ainda resultados sobre tais propriedades, o artigo apresenta a parte física já desenvolvida do projeto, que demandou custo apreciável e esforço conjunto do intercâmbio entre as equipes do ITA (IEM) e INPE (LIT).

#### **5. REFERÊNCIAS**

- Garcia, E. C., Carajilescov, P., “Medida Experimental de Condutividade Térmica de Sólidos e Resistência Térmica de Contato”, *COBEM87*, **1987**, Vol. I, Florianópolis, 263-266p
- Ozisik, M. N., “Heat Conduction”, *John Wiley & Sons*, **1980**, 687p.
- Thermophysical Properties Research Center Data Books*, Purdue University, Indiana, **1963**.