



# Construção de um condutímetro térmico para caracterização de líquidos

## *Construction of a thermal conductivity meter for liquid characterization*

Bruno Felipe Maihach\*, Gustavo Vinicius Bassi Lukasiewicz†

### RESUMO

Neste trabalho, foi desenvolvido um protótipo para medida de condutividade térmica em líquidos. Esse aparato usa o método de fio quente para aquecimento e determinação da condutividade térmica de amostras líquidas. Para isso, foi necessário construir um aparato físico com capacidade de comportar a amostra e ao mesmo tempo induzir um aquecimento do centro para as extremidades onde a temperatura é fixa e controlada. Nesse sentido, o aparato foi construído em duas partes: fixa (parte externa), onde é feito o controle de temperatura das extremidades, e a móvel (interna) que onde fica a amostra. O fio usado para aquecimento é de liga Ni/Cr na concentração 80/20, que possui propriedades térmicas e elétricas conhecidas. Além disso, foi necessário construir uma fonte de alimentação de corrente constante para realizar o aquecimento da amostra. Como resultado, o aparato físico foi construído com sucesso, porém a técnica do fio quente exigiu um sistema de medida de tensão e corrente mais estável do que foi usado.

**Palavras-chave:** Condutímetro térmico, Fio quente, Temperatura.

### ABSTRACT

In this work, a prototype for measuring thermal conductivity in liquids was developed. This apparatus uses the hot wire method for heating and determining the superior conductivity of liquids. For this, it was necessary to build a physical apparatus capable of holding the sample and at the same time inducing heating from the center to the ends where the temperature is fixed and controlled. In this sense, the apparatus was built in two parts: a fixed part (external part), where the temperature control of the extremities is carried out, and a mobile part (internal) where the sample is located. The wire used for heating is a Ni/Cr alloy in 80/20 concentration, which has relative thermal and electrical properties. In addition, it was necessary to build a constant power supply to heat up the sample. As a result, the physical apparatus was successfully built, but a hot wire technique required a more stable voltage and current measurement system than was used.

**Keywords:** Thermal conductivity meter, Hot wire, Temperature.

## 1 INTRODUÇÃO

A determinação do coeficiente de condutividade térmica de sólidos e líquidos é fundamental na maioria dos processos térmicos, como em estudos de dimensionamentos de equipamentos, otimização e conservação de energia.

A condução de calor é a forma que ocorre a transferência de calor de um corpo para outro ou no seu próprio interior, fluindo da região de alta temperatura para a de baixa temperatura. Analisando em nível atômico, as regiões mais quentes possuem em média uma energia cinética maior do que regiões mais frias, isso faz com que os átomos da região mais quente colidam mais que os outros. A propagação do calor está associada a

agitação de átomos e interação com átomos vizinhos e assim por diante, fazendo que o calor se propague à medida que a energia cinética flui pelo material.

É possível obter a condutividade térmica por métodos diretos e indiretos. Na forma direta, a condutividade é obtida diretamente através de resultados experimentais. Já na forma indireta, é medido alguma propriedade do material que seja possível estimar o valor da condutividade. Por exemplo, difusividade térmica ( $\alpha$ ), densidade ( $\rho$ ), calor específico ( $c$ ), através da relação ( $k = \alpha\rho c$ ) onde  $k$  é a condutividade térmica (Kreith *et al*, 2015).

Os métodos também podem ser classificados pela forma de realização das medidas, sendo eles estacionário e não estacionários (Santos, 2002). Os métodos estacionários realizam a medida da condutividade térmica em regime estacionário, por exemplo, o calorímetro de placa quente – placa fria. Os métodos não estacionários, medem em regime transiente de troca de calor, como exemplo, fio quente.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é estudar, analisar e desenvolver um sistema capaz de realizar medidas de condutividade térmica em líquidos utilizando a técnica de fio quente e que seja de fácil utilização.

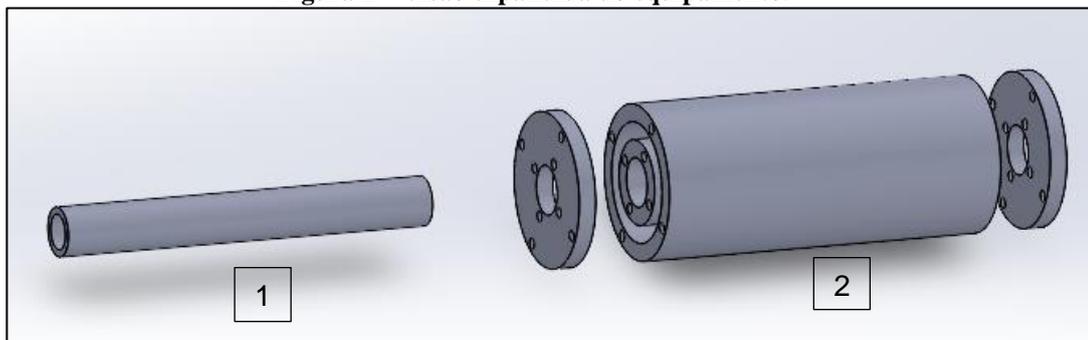
## 2 MÉTODO

Os equipamentos de medida de condutividade térmica em regime estacionário são desenvolvidos em conceitos de placas paralelas, cilindros concêntricos e esferas concêntricas. A vantagem dos equipamentos em placa paralela é a facilidade de construção física, porém necessita de um bom isolamento das extremidades para garantir o bom funcionamento. Os cilindros concêntricos possuem um grau de dificuldade maior de fabricação, entretanto somente as bases precisam de isolamentos. Já as esferas concêntricas não apresentam problemas com relação a isolamentos, porém precisam de um bom mecanismo de suporte, dificultando a fabricação.

Neste trabalho foi escolhido o sistema constituído por dois cilindros concêntricos. Como comentado acima, possui vantagens com o isolamento com relação ao modelo de placas paralelas, e a construção em comparação ao modelo de esferas concêntricas. Ainda para minimizar os efeitos da isolação é possível trabalhar a relação entre área das bases com o comprimento do cilindro.

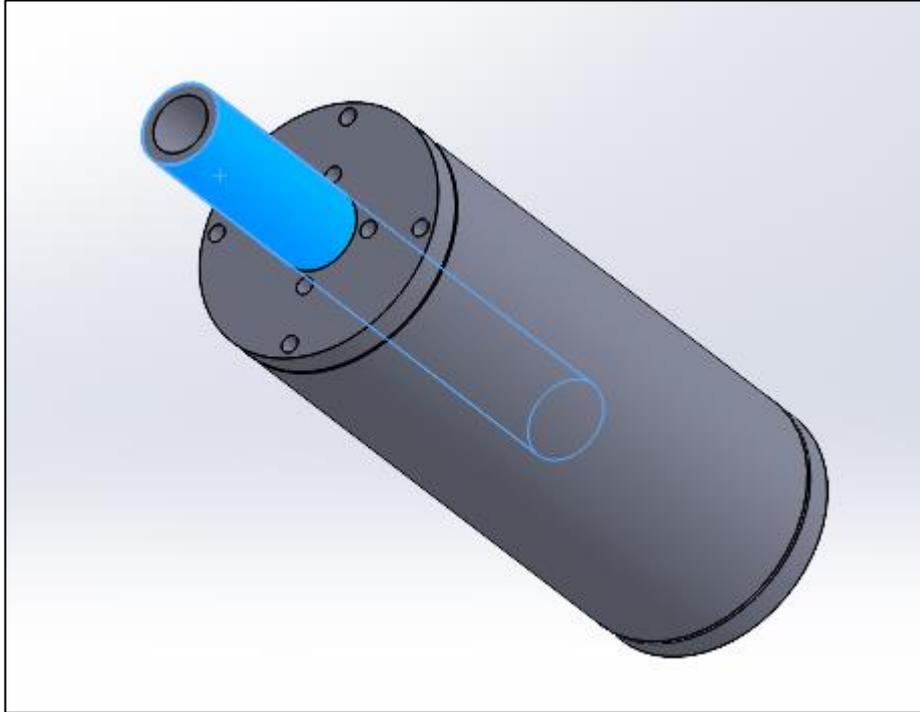
Na Fig. 1 é apresentada as peças que constituem o protótipo fabricado. A peça 1 é o porta amostra e o conjunto de peças 2 o sistema de aquecimento. O sistema de aquecimento conta com dois conectores, um para entrada e outro para a saída de água que circula entre os dois cilindros do sistema de aquecimento (não consta na figura). Outro detalhe é o material, o cilindro da amostra e o cilindro interno de aquecimento, onde ocorre a troca de calor, são de alumínio. Enquanto as demais peças foram confeccionadas em *nylon*. A Fig. 2 ilustra o sistema montado.

**Figura 1 – Visão expandida do equipamento.**



**Fonte: Autoria própria (2021).**

**Figura 2 – Equipamento montado.**



**Fonte: Autoria própria (2021).**

A equação que descreve a condutividade térmica ( $k$ ), no estado estacionário de temperatura, para dois cilindros concêntricos (Kreith *et al*, 2015) é dada pela Eq. (1):

$$k = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) Ri^2}{2\pi L(T_i - T_o)} \quad (1)$$

Onde  $r_o$ ,  $r_i$  e  $L$ , representam características físicas do cilindro sendo elas respectivamente raio externo, raio interno e comprimento,  $T_i$  e  $T_o$  a temperatura interna e externa do cilindro, e  $Ri^2$  é potência inserida no sistema pelo fio quente. Para o protótipo construído,  $r_o = 2,40 \text{ cm}$ ,  $r_i = 0,50 \text{ cm}$ ,  $L = 10,00 \text{ cm}$ . Portanto podemos reescrever a Eq. (1) da seguinte forma:

$$k = 2,49653 \frac{Ri^2}{(T_i - T_o)} \quad (2)$$

Para o cálculo da condutividade é necessário determinar a potência dissipada pelo fio e as temperaturas dos cilindros internos e externos. A temperatura externa é conhecida e controlada através de um banho térmico e a potência dissipada é obtida através da leitura de tensão e corrente aplicada no fio de aquecimento.

$$P = Ri^2 = Vi \quad (3)$$

Para determinar a temperatura interna (fio quente), será utilizada a relação entre resistividade e temperatura de condutores.

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{V}{i} \quad (4)$$

Onde L e A são respectivamente o comprimento e área da seção transversal do fio e  $\rho$  a resistividade elétrica do filamento que é obtido por meio de ensaios com o material. Nesse trabalho foi utilizado o filamento de Ni/Cr (Níquel/Cromo) na proporção de 80/20.

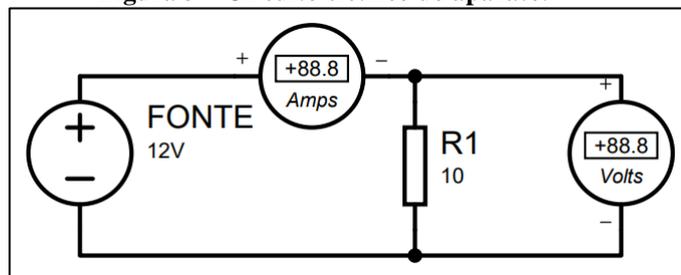
$$\rho = \rho_{20}(1 + \alpha_{20}(T - 20)) \quad (5)$$

$$T = \frac{\rho - \rho_{20}}{\rho_{20} \cdot \alpha_{20}} + 20 \quad (6)$$

Na qual  $\rho_{20}$  é a resistividade do material a 20°C e  $\alpha_{20}$  é o coeficiente térmico da resistividade.

O princípio de funcionamento desse aparato consiste na leitura da resistência do fio quente para determinar qual a sua temperatura. Para isso será necessário conhecer a tensão e corrente através de voltímetro e amperímetro para determinar a resistência do fio, conforme a Eq. (4). Os multímetros usados nesse trabalho são ICEL modelo MD6219 com auto escala, o esquema de ligação esta apresentado na figura abaixo onde R1 é a resistência a ser determinada.

Figura 3 – Circuito elétrico do aparato.



Fonte: Autoria própria (2021).

Com o valor da resistência, será possível encontrar a resistividade do material e temperatura do fio, conforme Eq. (4) e Eq. (6) respectivamente. Por fim, com todas as informações necessárias, basta utilizar a Eq. (1) para encontrar a condutividade térmica do material.

### 3 RESULTADOS

O aparato construído já com os conectores de entrada e saída de água é apresentado pelas figuras abaixo:

**Figura 4 – Aparato com vista lateral.**



Fonte: Autoria própria (2021).

**Figura 5 – Aparato com vista superior.**



Fonte: Autoria própria (2021).

Conforme comentado anteriormente, o aparato foi construído internamente em alumínio (parte onde ocorre a transferência de calor) e a parte externa em *nylon* para garantir baixa perda de calor para o meio. Para isolar a amostra na parte interna do aparato, foram construídas duas tampas em acrílico com um micro furo central para a passagem do fio resistivo.

Para verificar a variação de resistência conforme a diferença de temperatura do filamento, foi realizado um teste onde a resistência foi submetida a diferentes tensões, o resultado desse teste está na tabela abaixo:

**Tabela 1 – Dados colhidos sobre o fio resistivo**

Tensão (V)	Corrente (A)	Resistência ( $\Omega$ )
0,87	0,110	7,91
1,05	0,132	7,95
1,26	0,158	7,97
1,64	0,208	7,88
1,77	0,224	7,90
1,86	0,236	7,88
1,96	0,247	7,94
2,07	0,262	7,90
2,17	0,273	7,95
2,29	0,289	7,92
2,42	0,305	7,93
2,58	0,324	7,96
2,71	0,342	7,92

Fonte: Autoria própria (2021).

Conforme a Eq. (5) é possível observar que a resistividade elétrica aumenta com a temperatura. Portanto, o comportamento esperado seria da resistência aumentar o seu valor conforme a potência aplicada em cima do fio resistivo. Mas conforme indicado pela Tab. (1), a resistência não apresentou esse comportamento.



Em uma análise sobre o problema, foi observado que os aparelhos utilizados para medir tensão e corrente não tinham a precisão necessária para trazer informações coerentes sobre as medidas feitas, necessitando desenvolver um sistema eletrônico específico para essa aplicação.

#### 4 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foi proposto a construção de um condutivímetro térmico. No estudo sobre o tema, foi escolhido o formato de cilindros concêntricos por ser uma estrutura que reduz problemas de energia dissipada ao mesmo tempo que não possui uma estrutura tão complexa como o caso das esferas concêntricas. A parte interna do aparato, onde ocorre a transferência de calor, foi construída em alumínio, e parte externa que isola o sistema, em *nylon*.

Com relação a parte eletrônica, foi observado a necessidade de técnicas, mas sensíveis e com resultados menos flutuante para a medida da resistência, garantindo uma leitura mais confiante para essa variável que possui alteração em baixa ordem de grandeza.

#### AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

#### REFERÊNCIAS

- KREITH, F.; MANGLIK, R. M.; BOHN, M. S. **Princípios de transferência de calor**. Tradução da 7ª edição norte-americana. Cengage Learning Brasil, 2015. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522122028/>. Acesso em: 2021 set. 08.
- LUKASIEVICZ, G. V. B., PEDREIRA, P. R. B. **Medida de condutividade térmica: teoria e instrumentação**. Maringá, 2009.
- SANTOS, W. N.. **O método de fio quente: técnica em paralelo e técnica de superfície**. Cerâmica 48(306). 2002.