



# ESTUDANDO A PROPAGAÇÃO DE CALOR EM METAIS

## 1. Objetivos

Construir um experimento para o estudo da propagação de calor em barras metálicas usando o Arduino e sensores de temperatura.

São utilizadas duas barras metálicas, uma de alumínio (Al) e outra de cobre (Cu) que serão aquecidas simultaneamente por uma mesma fonte de calor. A temperatura em três diferentes pontos de cada barra será monitorada por sensores de temperatura, permitindo obter o gráfico de aquecimento e de resfriamento de cada uma das barras nesses três pontos.

Os dados originados pelo Arduino serão transmitidos em tempo real para a planilha eletrônica Excel, permitindo que seja observada a dinâmica de aquecimento das barras à medida que a fonte de calor as aquece pelas extremidades. Após as barras já aquecidas, a dinâmica de resfriamento poderá ser observada desligando-se a fonte de calor, deixando que as barras fiquem sujeitas apenas às trocas de calor com o ambiente.

Após montado, o experimento tem duração de aproximadamente 40 minutos, sendo 20 minutos para cada etapa.

## 2. Requisitos

Para desenvolver este experimento, os estudantes já devem ter estudado:

- 💡 Termometria: conhecimento de escalas termométricas e medidas de temperatura.
- 💡 Calorimetria: propagação de calor por condução, radiação e convecção. Trocas de calor e equilíbrio térmico.

## 3. Materiais

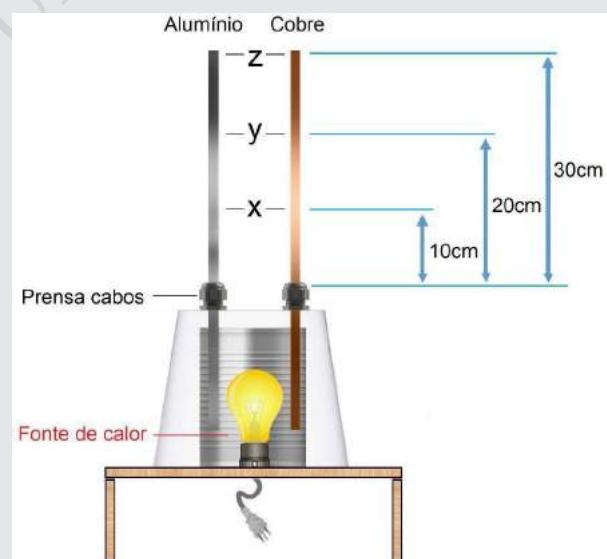
- 💡 1 Arduino.
- 💡 6 sensores de temperatura LM35.
- 💡 2 barras chatas (seção transversal retangular) de metal (Al e Cu).
- 💡 1 lâmpada alógena de 70W.
- 💡 1 receptáculo para lâmpada devidamente cabeado para ligação a uma tomada.

- 💡 1 balde plástico de aproximadamente 3L.
- 💡 1 recipiente metálico (lata de leite em pó, por exemplo).
- 💡 Cabos para conexão.

## 4. Montagem experimental

Primeiramente, é necessário fixar as barras metálicas de alumínio e de cobre conforme indicado na figura 1. Nessa ilustração são usados dois conectores do tipo prensa cabos fixados ao fundo de um balde de plástico. Nas barras são colocados, nas alturas indicadas por X, Y e Z, seis sensores de temperatura (um par de sensores em cada altura indicada) que devem ser conectados ao Arduino conforme exemplificado na figura 2.

A lâmpada deve ser montada dentro do recipiente metálico de modo que sobre espaço para acomodar as extremidades das barras metálicas. A posição da lâmpada deve ser tal que as barras fiquem em posições diametralmente opostas e a uma mesma distância da lâmpada. Com isso, a absorção de calor pelas extremidades inferiores das barras será mais eficiente e uniforme. As partes externas das barras serão aquecidas por condução térmica.



**Figura 1:** Representação esquemática da montagem experimental mostrando a disposição das duas barras metálicas em relação à lâmpada que as aquecerá.



A lâmpada, já dentro do recipiente metálico, deve ser acomodada no centro do balde colocado de cabeça para baixo, evitando o contato com a lâmpada aquecida.

A figura 2 mostra a conexão de um sensor LM35 ao Arduino bem como uma ampliação (à direita) mostrando a configuração dos pinos do LM35. O pino 1 do LM35 deve ser conectado à porta VCC (+5V) do Arduino, o pino 2 à porta A0 e o pino 3 ao GND. Os pinos 2 dos demais sensores devem ser conectados às portas analógicas restantes (A1 a A5).



**Figura 2:** Ilustração das conexões do sensor de temperatura LM35 (mostrado em destaque à direita) ao Arduino.

## 5. Conexão com o Excel

Para que seja possível observar em tempo real a construção dos gráficos de aquecimento e resfriamento no Excel, utilizaremos a ferramenta gratuita PLX-DAC. Para isso, é necessário acessar a página da Parallax através do link <https://www.parallax.com/package/plx-daq/>, baixar o arquivo PLX-DAC-ALL.zip e descompactá-lo. Em seguida, descompacte o arquivo PLX-DAC.zip e instale o arquivo plx\_daq\_install.exe. Feito isso, descompacte a pasta plx-daq-release2b.zip e abra o arquivo PLX-DAQ\_R2 do Excel.

Seguidos os passos anteriores, o Excel estará pronto para a aquisição automática de dados através da porta serial na qual o Arduino está conectado.

Para que os dados sejam lidos no formato correto pelo Excel, é necessário uma pequena implementação no código do Arduino. O código completo é apresentado no quadro ao final deste material.

## 6. Sugestões de aplicação e avaliação

O experimento pode ser aplicado junto a turmas do ensino médio, permitindo o desenvolvimento da habilidade de construir dispositivos térmicos e fazer previsões relacionadas a ações sustentáveis que envolvam questões de temperatura e outras variáveis termodinâmicas.

A montagem do sistema pode ser feita junto com os estudantes, permitindo o desenvolvimento das habilidades relacionadas à criação, teste e aplicação de protótipos que envolvam sensores de temperatura com a respectiva coleta e análise dos dados.

A atividade também pode ser aplicada no contexto do estudo de propriedades de materiais, permitindo que os estudantes compreendam a propriedade física da condutividade térmica em diferentes metais, por exemplo, permitindo analisar as diferentes possibilidades de aplicações tecnológicas de cada um deles.



### Código para o Arduino

```
const int S1 = A0, S2 = A1, LABEL = 1;           //Definição de algumas variáveis.
float aux = 10, t = 0.0, Temp1 = 0.0, Temp2 =
0.0, , Temp3 = 0.0, Temp4 = 0.0, Temp5 = 0.0,
Temp6 = 0.0;

void setup()                                     //Configurações iniciais.

{
    Serial.begin(19200);
    Serial.println("CLEARDATA");
    Serial.println("LABEL,Hora,t,Temp1,Temp2,
Temp3,Temp4, Temp5,Temp6");
}

void loop()
{
    Temp1 = 100*analogRead(S1) * 5 / 1023;
    Temp2 = 100*analogRead(S2) * 5 / 1023;
    Temp3 = 100*analogRead(S3) * 5 / 1023;
    Temp4 = 100*analogRead(S4) * 5 / 1023;
    Temp5 = 100*analogRead(S5) * 5 / 1023;
    Temp6 = 100*analogRead(S6) * 5 / 1023;
    Serial.print("DATA,TIME,");
    Serial.print(t * 5);
    Serial.print(",");
    Serial.print(Temp1);
    Serial.print(",");
    Serial.print(Temp2);
    Serial.print(",");
    Serial.print(Temp3);
    Serial.print(",");
    Serial.print(Temp4);
    Serial.print(",");
    Serial.print(Temp5);
    Serial.print(",");
    Serial.print(Temp6);
    Serial.println(",");
    Serial.println("ROW, SET");
    t++;
    delay(5000);
}
```

//Limpa os dados.  
//Escreve o cabeçalho (header) da tabela.

//Loop principal.

//Leitura do valor das seis portas e conversão para temperatura. O sensor LM35 apresenta tensão de saída linear igual a 10mV/°C, daí a multiplicação por 100.

//Impressão serial dos resultados de cada sensor. Isso é necessário para que o Excel, ao ler a porta serial, reconheça cada um dos dados coletados e crie as colunas.

//Delay de 5 segundos (tempo entre duas leituras consecutivas dos sensores LM35).

## 7. Informações adicionais

Esta proposta experimental foi desenvolvida no contexto do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF)<sup>1</sup>. Mais informações e resultados do experimento podem ser obtidos na dissertação de mestrado<sup>2</sup> de Jefferson Buonafina Pinheiro Junior desenvolvida, defendida e aprovada junto ao MNPEF [1].

[1] Jefferson Buonafina Pinheiro Junior,  
"Experimentos com o Arduino no ensino de Física: estudando conceitos científicos da Termologia," Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, Sorocaba-SP, Dissertação de Mestrado 2022.

<sup>1</sup> Programa de Mestrado em Ensino de Física coordenado pela Sociedade Brasileira de Física (SBF). O campus Sorocaba da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) sedia o polo de número 42.

<sup>2</sup> <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/15546>.