

## DESENVOLVIMENTO DE MÓDULOS EXPERIMENTAIS PARA O ENSINO DE ENGENHARIA – CALORÍMETRO E SENSOR DE PRESSÃO

Carolina Rosini Amorim (PIC/CNPq/FA/UEM), Monica Ronobo Coutinho (Orientadora), Wagner André dos Santos Conceição (Co-Orientador), e-mail: ra117140@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia/Maringá, PR.

**Engenharia Mecânica, Fenômenos de Transporte.**

**Palavras-chave:** Arduino, Temperatura, Pressão.

### Resumo:

Arduino é uma plataforma que foi criada com o objetivo de facilitar o aprendizado e possibilitar a prototipagem e desenvolvimento de projetos com um custo relativamente baixo, além de não exigir um vasto conhecimento em eletrônica. Considerando que os recursos institucionais são cada dia mais escassos, a utilização de equipamentos de baixo custo, como o Arduino e sensores compatíveis podem suprir a necessidade de instalação ou renovação de bancadas para aulas experimentais nos cursos de engenharia. Neste contexto, foram desenvolvidos dois módulos experimentais didáticos. No primeiro, foi desenvolvido um calorímetro para um experimento de transferência de calor, no qual se calcula o calor específico do chumbo. O segundo experimento foi relativo a uma calibração do sensor de pressão HX710B por meio de um pequeno circuito hidráulico em que um êmbolo deslocava uma coluna de água e, por meio de cálculos envolvendo hidrostática, foi possível calcular a variação de pressão e calibrar o sensor. Em ambas as partes, foi possível ter bons resultados tanto em relação ao calor específico do chumbo quanto à calibração do sensor de pressão.

### Introdução

Com o desenvolvimento das novas tecnologias, ampliou-se a utilização de métodos de automação para otimizar processos industriais. Dessa forma, a utilização de componentes como o Arduino UNO e o software Arduino IDE, bem como “uma aplicação de tecnologias em sala de aula como vídeos ou softwares seria uma boa opção [...]” (SANTOS, 2011) e um recurso interessante para o ensino de técnicas de automação no ensino médio e superior por serem instrumentos didáticos e acessíveis.

Considerando que os recursos institucionais são cada dia mais escassos, a utilização de equipamentos de baixo custo, como o Arduino, sensores e impressão 3D podem suprir a necessidade de instalação ou renovação de bancadas para aulas experimentais nos cursos de engenharia.

Buksman e colaboradores (2019) apresentaram a construção de um dispositivo de baixo custo projetado para a realização de experiências na área de propagação de calor, baseadas na tecnologia Arduino e no ambiente gráfico Xcos do Scilab. Os pesquisadores destacaram que o equipamento pode ser facilmente adaptado em experimentos de laboratório de ensino de física.

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver dois módulos experimentais didáticos de baixo custo, sendo eles um calorímetro para um experimento de transferência de calor e um módulo de calibração de sensor de pressão.

## Materiais e Métodos

### *Calorímetro:*

Os materiais utilizados no experimento de troca de calor foram água, Arduino UNO, cabos de conexão, garrafa térmica, cinco esferas de chumbo, termopar tipo K e DS18B20. Primeiramente, foram feitas as montagens dos termopares. Foi feito um sistema em que o termopar tipo K foi ligado ao módulo MAX6675 e ao Arduino UNO. Para o termopar DS18B20, a montagem foi feita utilizando uma protoboard para a ligação com o Arduino. Em seguida, realizou-se a montagem do calorímetro (Figura 1a) que consistia numa garrafa revestida de isopor com uma tampa de mesmo material e internamente de alumínio, possuindo orifícios para inserção dos termopares. Logo após, deu-se início ao experimento: misturou-se 100 ml de água em temperatura ambiente com 170 ml de água em ponto de ebulição dentro do calorímetro. As temperaturas da água em temperatura ambiente, da água quente e do ponto de equilíbrio foram medidas e anotadas, calculando-se assim, a capacidade térmica do calorímetro. Na segunda parte do experimento, adicionou-se 50 ml de água em temperatura ambiente no calorímetro, em outro recipiente foi aquecido 300 ml de água até o ponto de ebulição, colocando então as 5 esferas de chumbo e deixando-as por 2 minutos, de forma que atingissem a mesma temperatura da água. Por fim, colocou-se tais esferas no calorímetro junto da água em temperatura ambiente e mediu-se a temperatura de equilíbrio. Dessa forma, através da Lei de Conservação de Energia (Equação 1) e considerando que o sistema é isolado e a substância é incompressível, podemos calcular o calor específico do metal ( $\Delta U = mc\Delta T$ ).

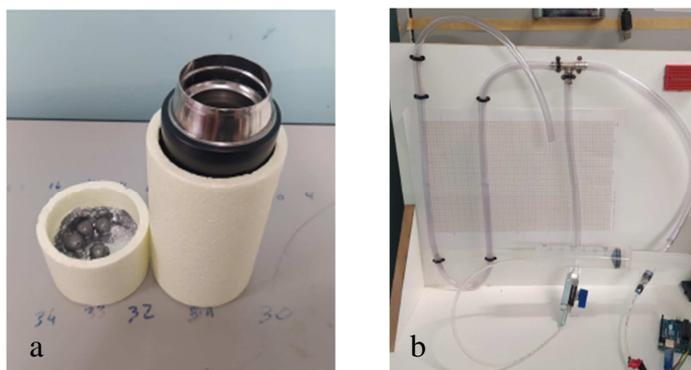
$$\Delta U_{\text{água}} + \Delta U_{\text{metal}} + \Delta U_{\text{calorímetro}} = 0 \quad (1)$$

Em que  $m$  é a massa,  $c$  o calor específico,  $U$  a energia interna e  $T$ , a temperatura.

### *Calibração do sensor de pressão:*

Foram utilizados neste experimento (Figura 1b) água, Arduino UNO, conector em T, fios conectores, fita adesiva, papel milimetrado, sensor de pressão HX710B, seringa, suporte, tubos e uma válvula. Em primeiro lugar, conectou-se o sensor no Arduino e ao tubo em U (contendo água) utilizando um conector em T. Uma das saídas do

conector estava conectado com uma válvula de vedação total e a seringa. Colocou-se um papel milimetrado atrás do circuito, para se medir a diferença de altura da coluna de líquido. Pressionou-se o êmbolo com a válvula aberta para deslocar a coluna de líquido, obtendo as diferenças de altura para a coluna de líquido, esses valores foram anotados, bem como os registrados pelo sensor no software Arduino IDE. Tal procedimento foi repetido cinco vezes.



**Figura 1** – Módulos desenvolvidos (a) calorímetro; (b) calibração de pressão

Com diferença de altura ( $\Delta z$ ) lida no tubo em U é possível determinar a variação da pressão ( $\Delta P$ ), obtida pela Equação 2 (Çengel e Cimbala, 2007):

$$\Delta P = \rho g \Delta z \quad (2)$$

Em que  $\rho$  é a massa específica da água e  $g$  a aceleração da gravidade.

## Resultados e Discussão

Pelo experimento envolvendo troca de calor, usando o balanço de energia e os dados da Tabela 1, chegou-se que a capacidade térmica do calorímetro, usando os dados do termopar tipo K, foi de 0,226 kJ/K e 0,208 kJ/K para o termopar DS18B20. Já para o calor específico do chumbo, chegou-se a um valor de 0,197 kJ/kgK para o termopar tipo K e 0,121 kJ/kgK para o DS18B20. Para ambas as partes do experimento em questão, utilizou-se o valor de 4,184 kJ/kgK para o calor específico da água e encontrou-se como valor teórico do calor específico do chumbo 0,129 kJ/kgK (Moran et al., 2018). Dessa forma, o erro relativo encontrado foi de 52,71% e 6,20% para os termopares tipo K e DS18B20, respectivamente. Nota-se, então, que o termopar DS18B20 apresentou resultados melhores em relação ao tipo K e tais erros se devem às variações das condições presentes no ambiente em que se deu o experimento e às limitações dos equipamentos.

**Tabela 1** – dados experimentais obtidos por cada termopar para o primeiro experimento.

Termopar	Temperaturas Aferidas (1ª Parte)			Temperaturas Aferidas (2ª Parte)		
	$T_1$ (°C)	$T_2$ (°C)	$T_{eq}$ (°C)	$T_1$ (°C)	$T_2$ (°C)	$T_{eq}$ (°C)

<b>Tipo K</b>	24,50	100,25	64,25	24,00	100,25	27,75
<b>DS18B20</b>	22,75	98,94	63,25	23,60	98,95	26,00

Para o experimento de pressão, após a coleta de dados foram feitas cinco curvas de calibração e por meio do método de linearização encontrou-se as equações de calibração presentes na Tabela 2, em que  $P$  é a pressão em Pascal e  $x$  o valor lido pelo sensor. Com o valor de  $R^2$ , notou-se que a melhor curva de calibração é a quinta curva.

**Tabela 2** – Equações de calibração para cada curva e fator  $R^2$  para cada equação.

Curva	Equação de Calibração	Fator $R^2$
1	$P = 2,9134x - 12502$	0,9991
2	$P = 2,8626x - 12288$	0,9990
3	$P = 2,8674x - 12291$	0,9981
4	$P = 2,8381x - 12134$	0,9991
5	$P = 2,8533x - 12224$	0,9997

## Conclusões

Conclui-se que os experimentos forneceram bons resultados e foi possível analisar os efeitos de transferência de calor e diferença de altura de uma coluna de líquido decorrente da variação de pressão. Para o primeiro experimento, encontrou-se resultados parecidos com o esperado na literatura para o calor específico do chumbo, sendo o resultado obtido pelo termopar DS18B20 mais próximo do valor teórico. Já no segundo experimento, foi possível encontrar uma curva de calibração que se ajustasse bem aos valores coletados pelo sensor e aos valores calculados utilizando a fundamentação teórica do assunto. Além disso, os módulos já estão sendo utilizados em aulas práticas no departamento de Engenharia Mecânica da UEM.

## Agradecimentos

Agradecimentos ao CNPq e à comunidade acadêmica da Universidade Estadual de Maringá.

## Referências

- BUKSMAN, E.; OLIVEIRA, A. L. F.; BARBIERI, L.; FERREIRA, C. Experimentando con Arduino y Scilab: propagación de calor en una barra metálica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 41, n. 4, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/kcZCMQfCkFTJTsDRJmNzC4d/?lang=es>. Acesso em: 28 ago. 2022.
- ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e Aplicações**. 1.ed, São Paulo: McGraw-Hill, 2007.
- MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N.; BOETTNER, D. D.; BAILEY, M. B. **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

31º Encontro Anual de Iniciação Científica  
11º Encontro Anual de Iniciação Científica Júnior



10 e 11 de novembro de  
**2022**

SANTOS, Davi do Nascimento. **Calorimetria no Ensino de Física com Materiais de Baixo Custo**. Orientador: Dr. Robinson Viana Figueroa Cadillo. 2011. 72 p. Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Física) - Universidade Federal de Rondônia, Rondônia, 2011.