



## LABORATÓRIO ACESSÍVEL: CALORÍMETRO DE BAIXO CUSTO

Laura V. Mondin<sup>1</sup>; Diego Siqueira<sup>1</sup>; Milene S. de Freitas<sup>1</sup>; Tiago A. Chimenez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal Catarinense

[lveigamondin@gmail.com](mailto:lveigamondin@gmail.com)

Palavras-Chave: Termoquímica, Microcontrolador, Química verde.

### Introdução

A química é uma área do conhecimento que se enquadra dentro das ciências naturais, portanto, essencialmente baseada em evidências empíricas. As componentes curriculares lecionadas em cursos superiores relacionados à química, física, farmácia, engenharias, entre outras, preveem atividades experimentais. Existe um consenso de que a experimentação ocupa um lugar central no ensino de química, pois elucida conceitos por vezes abstratos de fenômenos que são abordados e explorados durante aulas teóricas e favorece a construção do raciocínio científico (FREITAS, 2023). Apesar da previsão de atividades laboratoriais em seus projetos pedagógicos, nem todas as universidades e institutos federais brasileiros possuem laboratórios com diversidade de equipamentos. Neste cenário, o ensino de tópicos relacionados a termodinâmica química costumam ser abordados sob perspectiva puramente teórica, o que dificulta a compreensão de termos como calor, entalpia, reações endotérmicas e exotérmicas (VILHENA et al., 2023).

Diante desse quadro cresce o apelo por uma instrumentação de laboratório de baixo custo, a qual é apoiada em conhecimentos de eletrônica básicos, controle e uma interface em código aberto. O *Arduino* é uma plataforma ideal para o uso no desenvolvimento de projetos didáticos. Seu princípio de funcionamento possibilita o acoplamento e controle de diferentes ferramentas, como sensores digitais de baixo custo, que são aplicados em medidas de parâmetros de interesse dentro da área de físico-química. Diversos trabalhos vêm sendo publicados nesta temática, como por exemplo uso de um calorímetro “que fala”, voltado para estudantes com deficiência visual (GOMES et al., 2020), conversão de recipientes térmicos de uso comercial em calorímetros de precisão a partir do uso de um sensor térmico (BENTANCOR et al., 2026). A mesma lógica aparece na montagem de equipamentos com materiais reaproveitados e no uso de smartphone como uma ferramenta de determinação fotométrica aplicada na educação básica (SOUZA et al., 2025).

As reações de neutralização envolvendo ácidos e bases fortes são sistemas relevantes no estudo de termodinâmica química, pois as reações são relativamente rápidas e razoavelmente seguras, com sua energia bem estabelecida. Por se tratar de um experimento clássico, é um ponto de partida ideal para ser adaptado a partir de uma premissa ambiental, com a diminuição das quantidades de reagentes e principalmente para processos de automatização no formato *DIY* (*Do it yourself*), previamente proposto por Prabowo (PRABOWO et al., 2023).

Essa abordagem pode ser valorizada também no ensino médio integrado dos institutos federais, os quais frequentemente oferecem cursos relacionados à informática, automação e

robótica. Portanto, reunindo em um mesmo experimento conceitos de instrumentação, programação e química. O estudante não apenas mede o valor de entalpia de uma reação a partir de um equipamento do tipo “caixa preta”, mas monta o circuito, compreende o princípio do sensor e acompanha o tratamento do sinal. Essa articulação conversa com a proposta dos institutos federais, que procuram aproximar a formação técnica da formação científica de base.

Este trabalho tem por objetivo desenvolver e validar um calorímetro de baixo custo assistido por *Arduino*, para a determinação da entalpia de neutralização, apresentando-o como recurso capaz de integrar instrumentação, programação e físico-química no ensino médio integrado e superior.

## Material e Métodos

### Construção do calorímetro

A montagem partiu de uma placa *Arduino UNO* e de um sensor digital de temperatura DS18B20 (resolução de 0,0625 °C), interligados em uma *protoboard* (Figura 1). Os três fios do sensor foram distribuídos assim: o vermelho no trilho de 5 V, o preto no trilho de terra (*GND*) e o amarelo, de dados, em uma linha livre. Nessa mesma linha ligou-se um resistor de 10 kΩ até o trilho de 5 V, o *pull-up* exigido pelo protocolo 1-Wire, e um jumper até o pino digital D2. Para desenvolvimento do *firmware* (programa embarcado no próprio *Arduino*, gravado em sua memória e executado pela placa) foi utilizado o *Arduino IDE*, com as bibliotecas *OneWire* e *DallasTemperature* para ler o sensor no pino D2.



Figura 1. Esquema de montagem do calorímetro: ligação do sensor DS18B20 ao *Arduino UNO* por uma *protoboard*, com o resistor de 10 kΩ (*pull-up*) e o jumper até o pino D2 (sequência 1 → 7).

Como interface de uso foi utilizado uma página em *HTML*, *CSS* e *JavaScript*, aberta no *Chrome*. Dessa maneira ocorreu a comunicação com a placa pela *API Web Serial* sem a necessidade de instalação de nenhum programa. Ela conduz as medidas pelas etapas (Figura 2), mostra a leitura e o gráfico em tempo real, detecta o pico de temperatura, extrapola a curva de resfriamento para corrigir a perda de calor e calcula os resultados. Os dados são exportados em formato CSV para posterior tratamento.

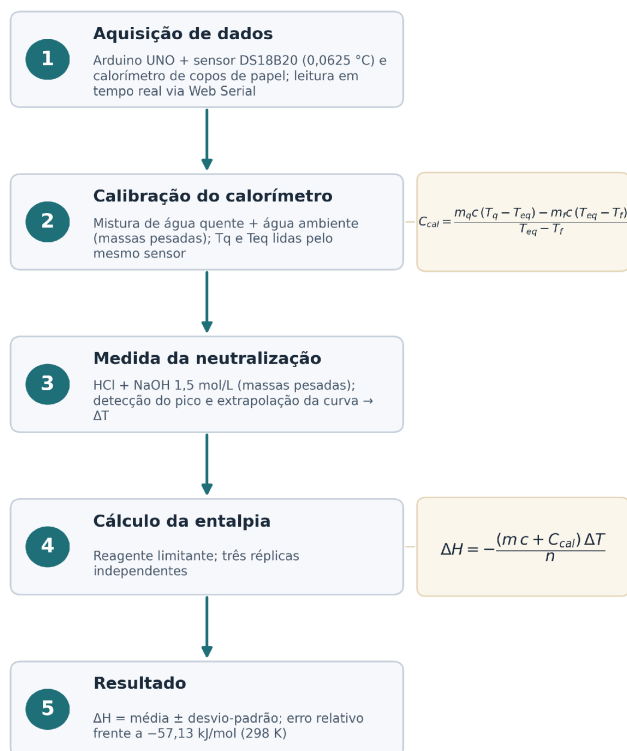


Figura 2. Fluxo das etapas conduzidas pela interface, da aquisição de dados ao cálculo da entalpia.

### Calibração do Calorímetro

A capacidade calorífica do calorímetro ( $C_{cal}$ ) foi obtida utilizando a temperatura de uma massa conhecida de água destilada em temperatura ambiente e a mesma massa de água destilada aquecida a 50°C. Foi medida a temperatura da primeira amostra e quando estabilizada foi adicionada a água previamente aquecida. O calorímetro foi imediatamente fechado e foi agitado por um curto período de tempo e foi medido até a temperatura final entrar em equilíbrio, permitindo o cálculo das perdas térmicas do sistema, por meio da equação a seguir:

$$C_{cal} = \frac{m_q \cdot c \cdot (T_q - T_{eq}) - m_f \cdot c \cdot (T_{eq} - T_f)}{T_{eq} - T_f}$$

Onde  $m_q$  = massa da água quente;  $c$  = calor específico da água (4,18 J.g<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>);  $T_q$  = temperatura da água quente;  $m_f$  = massa da água fria;  $T_{eq}$  = temperatura de equilíbrio;  $T_f$  = temperatura da água fria.

### Experimento da Reação de Neutralização

Para a medida, utilizou-se soluções de HCl e NaOH a 1,5 mol/L (a base foi previamente padronizada com biftalato de sódio) foram pesadas em massas equivalentes e misturadas no calorímetro, sob agitação padronizada. A entalpia foi calculada por:

$$\Delta H = - \frac{(m \cdot c + C_{cal}) \cdot \Delta T}{n}$$

Onde se utilizou a capacidade calorífica da água como  $c \approx 4,00 \text{ J.g}^{-1}\text{K}^{-1}$ ,  $m$  a massa total,  $\Delta T$  a variação extrapolada e  $n$  o reagente limitante. Realizaram-se três réplicas, com o resultado em média  $\pm$  desvio-padrão.

Resultados e Discussão

O sensor DS18B20 se mostrou um dispositivo estável, fornecendo medidas de temperatura com variação de  $\pm 0,06 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , com respostas rápidas e adequadas para o estudo de reações com pequenas variações de temperatura. O processo de calibração do calorímetro forneceu um valor médio de  $6,6 \text{ J.K}^{-1}$ . O resultado de calibração está de acordo com a estrutura do calorímetro obtido isolado a partir de isopor de copos térmicos para baixos volumes (em torno de 60 mL), os quais foram utilizados nos experimentos. Além disso, esse procedimento registrou para a mistura: água a  $41,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$  vertida sobre água a  $21,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , equilíbrio em  $31,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Portanto, contrastando com os  $63,4 \text{ J.K}^{-1}$  de um calorímetro de isopor de 200 mL (ASSUMPÇÃO et al., 2010) e com as dezenas de  $\text{J K}^{-1}$  de copos térmicos maiores instrumentados com o mesmo DS18B20 (BENTANCOR et al., 2026): quanto menor a massa e o volume do aparato, menos energia ele absorve por grau.

Para a reação de neutralização de ácido forte com uma base forte foi utilizado uma concentração relativamente alta, de  $1,5 \text{ mol.L}^{-1}$ . Os dados obtidos mostraram um salto exotérmico característico, com elevação de cerca de 9 K e resfriamento lento posterior, do qual se extraiu a temperatura de pico corrigida por extrapolação (Figura 3). As três réplicas desta validação preliminar convergiram para  $\Delta H = -54,37 \pm 0,75 \text{ kJ.mol}^{-1}$  (Tabela 1). O valor de referência para ácido e base fortes, porém, não é único na literatura: vai de  $-55,84 \text{ kJ.mol}^{-1}$ , calculado por entalpias de formação (ASSUMPÇÃO et al., 2010), a  $-57,13 \text{ kJ.mol}^{-1}$  a 298 K. Frente a esses extremos, o erro relativo fica entre 2,6 % e 4,8 %, com desvio entre réplicas inferior a  $1 \text{ kJ.mol}^{-1}$ .

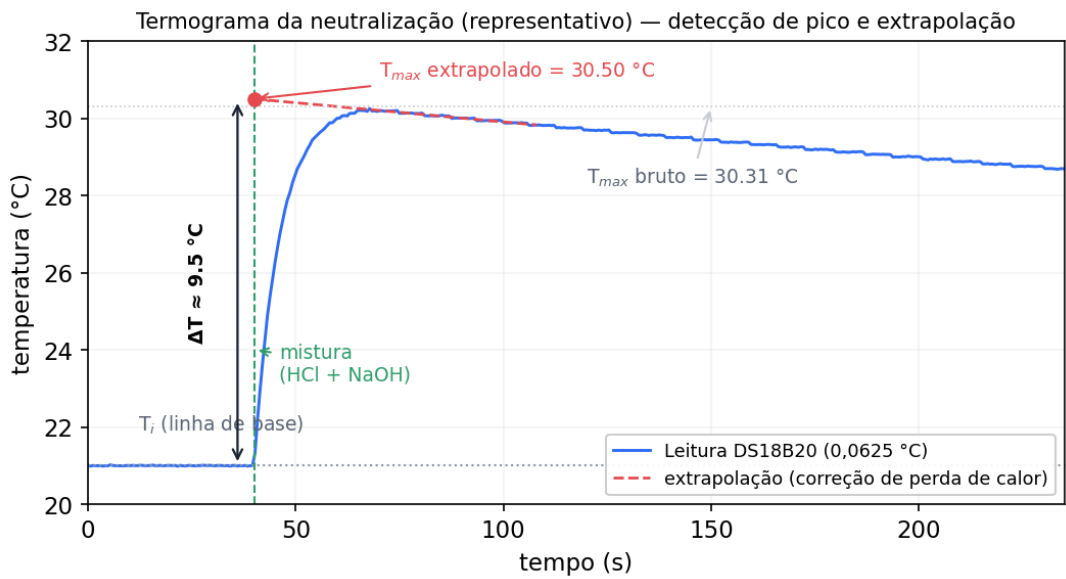


Figura 3. Termograma representativo da neutralização, com detecção do pico e extrapolação da curva de resfriamento para correção da perda de calor.

Tabela 1. Réplicas da neutralização (HCl + NaOH  $1,5 \text{ mol.L}^{-1}$ ) e entalpia obtida ( $C_{\text{cal}} = 6,6 \text{ J.K}^{-1}$ ).

| Réplica | T <sub>i</sub> (°C) | T <sub>max</sub> (°C) | ΔT (°C) | ΔH (kJ.mol <sup>-1</sup> ) |
|---------|---------------------|-----------------------|---------|----------------------------|
| 1       | 21,000              | 30,366                | 9,366   | -54,40                     |
| 2       | 20,940              | 30,100                | 9,160   | -53,60                     |

|              |        |        |       |               |
|--------------|--------|--------|-------|---------------|
| 3            | 21,060 | 30,550 | 9,490 | -55,10        |
| <b>Média</b> | —      | —      | —     | -54,37 ± 0,75 |

Os resultados obtidos, portanto, estão de acordo com aqueles registrados na literatura. Por exemplo, o trabalho proposto por Prabowo (PRABOWO et al., 2023) relata um resultado  $-56,87 \pm 1,9 \text{ kJ.mol}^{-1}$  e o trabalho elaborado por Assumpção (ASSUMPÇÃO et al., 2010) evidenciou um resultado de  $-57,5 \text{ kJ mol.L}^{-1}$ . O módulo de  $\Delta H$  aqui obtido é relativamente menor, o que é compatível com a maior perda de calor devido ao sistema de isolamento do calorímetro; em contrapartida, a dispersão entre réplicas ( $\pm 0,75 \text{ kJ.mol}^{-1}$ ) é bem inferior, o que atribuímos ao fluxo guiado da interface, ao travamento do C\_cal e à extrapolação automática do pico, que padronizam a medida e reduzem a variação de operador da medida.

Um aspecto metodológico reforça essa confiabilidade, pois em vez de anotar a maior temperatura observada, a interface desenvolvida neste trabalho ocorre a detecção do pico e a extrapolação da curva de resfriamento até o instante da mistura, corrigindo a perda de calor inevitável em um calorímetro. Esse tratamento, difícil de reproduzir à mão com termômetro e cronômetro, aproxima a leitura da temperatura ideal de mistura e é o que permite ao nosso calorímetro, de baixa inércia térmica, se equiparar com montagens em isopor. Somado ao travamento do C\_cal, o procedimento torna as medidas comparáveis ao longo do semestre e coerente com a busca por experimentos de termoquímica mais limpos e reprodutíveis em copo (BOPEGEDERA; PERERA, 2017). A utilização do sensor DS18B20, com  $0,0625 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , elimina erros eventuais atribuídos a medidas com termômetros analógicos, e a incerteza remanescente passa a ser dominada pela perda de calor e pela razão de massas (SANCHEZ, 2025). Dessa forma, a correção pela capacidade calorífica foi decisiva: sem o termo C\_cal, o calor que aquece as paredes e o sensor não é contabilizado e o módulo de  $\Delta H$  é subestimado; com ele, o valor se aproxima do teórico.

A resolução do sensor tem ainda um desdobramento ambiental. Em montagens com termômetro analógico, exigem-se volume e concentração altos para gerar um  $\Delta T$  legível; o microcontrolador permite medir variações menores e, com isso, reduzir reagentes e resíduos, o que é o argumento central do protocolo “mais verde” de Prabowo (PRABOWO et al., 2023), que registrou a neutralização em concentração relativamente baixa. Embora tenhamos usado  $1,5 \text{ mol.L}^{-1}$  para obter um  $\Delta T$  amplo ( $\sim 9 \text{ K}$ ), a margem de  $0,0625 \text{ }^{\circ}\text{C}$  abre caminho para versões em microescala do experimento, alinhadas à química verde no ensino.

Do ponto de vista instrumental e didático, validar um dispositivo lab-made frente a um instrumento ou a um valor de referência é a prática consagrada para ferramentas do tipo faça-você-mesmo (Pap; Stratton, 2024). A concordância dentro de  $\sim 5\%$  credencia o nosso dispositivo como recurso quantitativo, e não apenas demonstrativo: a aquisição automatizada entrega dados em tempo real, melhora a reprodutibilidade e reduz o erro de operação, enquanto montar o circuito e acompanhar o sinal agregam programação e instrumentação à físico-química. Essa medida experimental direta distingue a proposta das abordagens que trabalham termoquímica por jogos, sequências didáticas ou recursos táteis (ALMEIDA; SANTIAGO FILHO; FORTE, 2024; VIEIRA; BARRETO; RODRIGUES, 2025) e favorece o acesso em contextos de infraestrutura limitada.

Essas características de precisão e reprodutibilidade são evidenciadas na montagem final do protótipo, mostrada na Figura 4. O sistema combina o calorímetro isolado e devidamente selado junto a um microcontrolador *Arduino* e um mini motor DC acoplado a uma haste para agitação da solução, todos fixados a uma base feita em impressora 3D, assegurando estabilidade mecânica, praticidade no manuseio e contato direto do sensor com a solução sem comprometer a vedação. A organização dos componentes foi elaborada para maximizar a eficiência do fluxo de trabalho

experimental, possibilitando que a leitura das variações térmicas ocorra de maneira contínua e automatizada durante as medições.

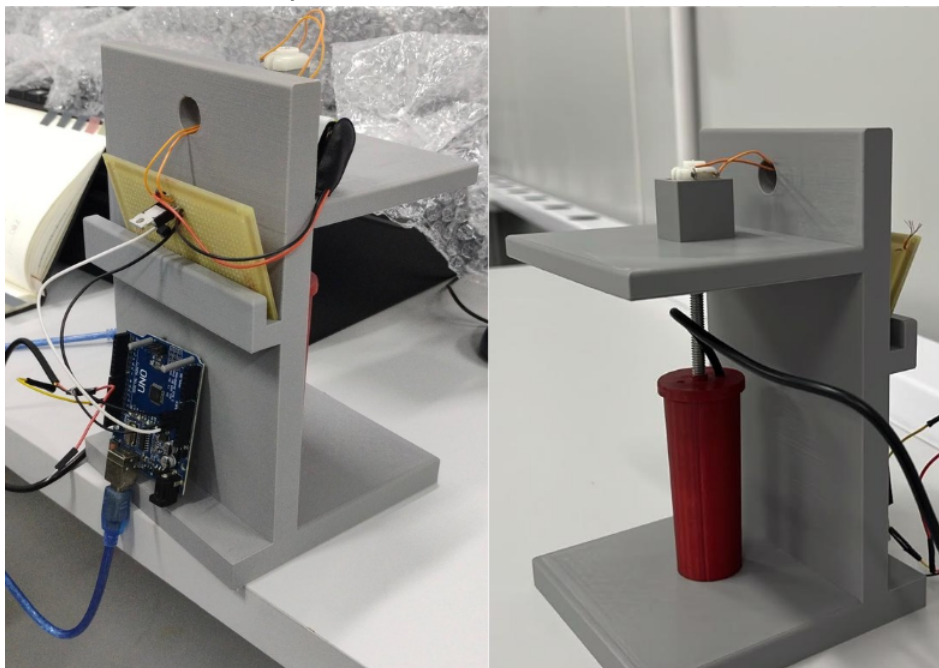


Figura 4. Protótipo do calorímetro isolado com sensor DS18B20, um microcontrolador *Arduino* e um sistema de agitação, montados sobre base impressa em 3D.

## Conclusões

O calorímetro desenvolvido neste trabalho determinou a entalpia de neutralização com erro inferior a 5 % frente ao valor teórico, empregando componentes de baixo custo e leitura automatizada. A calibração da capacidade calorífica mostrou-se indispensável à exatidão, e a interface guiada reduziu erros de operação ao registrar as temperaturas e corrigir as perdas. O conjunto confirma a viabilidade do dispositivo como recurso experimental quantitativo e, principalmente, como atividade integradora entre instrumentação, programação e química, adequada aos cursos técnicos integrados e às disciplinas experimentais do ensino superior. Trata-se de uma validação preliminar, onde as próximas etapas preveem testar a reação em microescala para reduzir reagentes, refinar o calorímetro para diminuir as perdas de calor e aplicar a atividade com turmas, avaliando a aprendizagem dos estudantes.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal Catarinense (IFC) pelo apoio financeiro e pela concessão da bolsa de ensino, pesquisa e extensão por meio do Edital nº 20/2025

## Referências

ALMEIDA, N. O. C. de; SANTIAGO FILHO, R. F.; FORTE, C. M. S. Bordado tátil como ferramenta de acessibilidade para alunos com deficiência visual no ensino de termoquímica: um relato de experiência. In: **63º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA**. Anais... Salvador: 2024.

ASSUMPÇÃO, M. H. M. T. *et al.* Construção de um calorímetro de baixo custo para a determinação de entalpia de neutralização. **Eclética Química**, v. 35, n. 2, p. 63–69, 2010.

BENTANCOR, M. *et al.* DIY Arduino calorimeter: converting commercial thermally insulated coffee-cups into precision isobaric calorimeters. **HardwareX**, v. 26, p. e00757, 2026.

BOPEGEDERA, A. M. R. P.; PERERA, K. N. R. “Greening” a familiar general chemistry experiment: coffee cup calorimetry to determine the enthalpy of neutralization of an acid–base reaction and the specific heat capacity of metals. **Journal of Chemical Education**, v. 94, n. 4, p. 494–499, 2017.

FREITAS, A. C. P. de. Oficina para a construção de equipamentos de laboratório com materiais de baixo custo: aplicabilidade em aulas experimentais no Ensino Médio. *In*: **62º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA**. Anais... Natal: 2023.

GOMES, V. V. *et al.* An Arduino-based talking calorimeter for inclusive lab activities. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 6, p. 1677–1681, 2020.

PAP, L. G.; STRATTON, J. A. A 3D-printed smartphone-based fluorescence spectrometer: a universal design for do-it-yourself experiments in education. **Journal of Chemical Education**, v. 101, n. 12, p. 5395–5401, 2024.

PRABOWO, N. K. *et al.* ChemDuino-calorimetry to determine the enthalpy change of neutralization of an acid–base reaction: making a familiar experiment “greener”. *In*: **AIP CONFERENCE PROCEEDINGS**. Anais... 2023.

SANCHEZ, J. M. Optimizing low-cost educational calorimeters: a quantitative analysis of experimental uncertainty. **Journal of Chemical Education**, v. 102, n. 12, p. 5376–5382, 2025.

SOUZA, P. Y. C. *et al.* Análise do teor de cloro ativo em água sanitária empregando smartphone: um experimento investigativo para a educação básica. *In*: **64º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA**. Anais... Belo Horizonte: 2025.

VIEIRA, S. V. S. A.; BARRETO, S. R. L.; RODRIGUES, B. S. F. Energia em jogo: elaboração e aplicação de um jogo didático para o ensino de termoquímica. *In*: **64º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA**. Anais... Belo Horizonte: 2025.

VILHENA, E. C. S. *et al.* O ensino de termoquímica mediante uma sequência didática investigativa: uma proposta de ensino. *In*: **62º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA**. Anais... Natal: 2023.