

## **MEDINDO A RAZÃO CARGA-MASSA DO ELÉTRON: MÉTODOS CLÁSSICOS E NOVOS ARRANJOS DIDÁTICOS MAIS ACESSÍVEIS**

WILLIAM LIMA CAIANO<sup>1</sup>; RAFAEL OLIVEIRA ALVES<sup>2</sup>; HENRIQUE SGNORELLI KAPPAUN<sup>3</sup>; ALEXANDRA GOUVÊA LUCATELLI<sup>4</sup>; WAGNER TENFEN<sup>5</sup>

<sup>1</sup> *Universidade Federal de Pelotas – gowthercaiano27@gmail.com*

<sup>2</sup> *Universidade Federal de Pelotas – rafael\_alvescnt@hotmail.com*

<sup>3</sup> *Universidade Federal de Pelotas – henrique\_kappaun@hotmail.com*

<sup>4</sup> *Universidade Federal de Pelotas – alexandra.lucatelli@ufpel.edu.br*

<sup>5</sup> *Universidade Federal de Pelotas – wtenfen@ufpel.edu.br*

### **1. INTRODUÇÃO**

No final do século XIX e nas primeiras décadas do século XX, experimentos com descargas em tubos e aparelhos de raios catódicos foram decisivos para a consolidação da Física Moderna: a descoberta do elétron e as primeiras medições da razão carga/massa surgiram a partir desses arranjos experimentais, e métodos clássicos — como o procedimento de compensação de J. J. THOMSON (1897) e suas variantes discutidas em compêndios didáticos — tornaram-se peça central nos laboratórios de óptica e física moderna por sua clareza conceitual e valor pedagógico. Essas montagens históricas funcionam como pontes diretas entre teoria e prática, expondo como grandezas medidas (raio de curvatura, deflexão, potencial acelerador, intensidade de campo) se conectam às leis mecânicas e eletromagnéticas fundamentais (THOMSON, 1897; SERWAY; JEWETT, 2010).

A proposta deste trabalho é demonstrar que os mesmos princípios físicos podem ser reproduzidos de modo tecnicamente simples e pedagogicamente eficaz com dispositivos historicamente comuns e facilmente reaproveitáveis — um tubo de osciloscópio (CRT), um “magic eye” e um diodo a vácuo — que exploram fenômenos elementares como emissão termiônica, deflexão por campos magnéticos e fluorescência de ânodos.

Além da redução das barreiras técnicas, a adoção desses arranjos promove benefícios pedagógicos significativos: amplia o acesso prático ao experimento, multiplica o número de iterações possíveis pelos estudantes e estimula abordagens criativas de modelagem e diagnóstico de incertezas. Transformar instrumentos simples em plataformas de investigação devolve ao laboratório seu papel epistemológico — não apenas demonstrar um fenômeno, mas oferecer um espaço acessível de investigação onde história, teoria e técnica convergem em aprendizagens profundas — conforme discutido na literatura sobre metodologias ativas e democratização do ensino experimental (MILLER; JUNGER, 2010; LEE et al., 2011).

### **2. ATIVIDADES REALIZADAS**

As atividades desenvolvidas ao longo do projeto tiveram como objetivo principal a definição e a implementação de novas maneiras para a determinação experimental da razão carga/massa do elétron ( $e/m$ ). O ponto de partida foi o método clássico,

inspirado nas variantes do arranjo de J. J. Thomson, adaptado a um tubo de raios catódicos (CRT). Nesse caso, um feixe de elétrons, acelerado por uma diferença de potencial  $V$ , é desviado por um campo magnético aproximadamente uniforme  $B$ , descrevendo uma trajetória circular de raio  $r$ . Da relação  $evB = mv^2/r$  obtém-se  $\frac{e}{m} = v/(Br)$ ; substituindo-se a velocidade pela condição  $\frac{1}{2}mv^2 = eV$ , chega-se à forma  $\frac{e}{m} = 2V/(B^2r^2)$ . O arranjo prático consistiu em um CRT reaproveitado, bobinas para gerar o campo magnético e fontes simples de tensão, permitindo visualizar o feixe e medir diretamente as deflexões.

Um segundo método explorado utilizou tubos do tipo “magic eye”, aproveitando o padrão luminoso característico como indicador do desvio eletrônico. Inserido em um solenóide, o tubo apresenta distorções no visor quando submetido a campos magnéticos, que podem ser registradas fotograficamente e quantificadas em pixels mediante software de análise de imagem. A calibração geométrica possibilita associar as distorções a valores de raio efetivo  $r$ , e um ajuste linear de  $1/r^2$  em função de  $B^2/(2V)$  fornece experimentalmente a razão  $e/m$ . Esse procedimento destaca-se pela simplicidade instrumental, pelo baixo custo e pela possibilidade de análise estatística a partir de múltiplos registros fotográficos.

Por fim, investigou-se o uso de um diodo a vácuo como elemento de diagnóstico, no qual as variações de trajetória do feixe de elétrons afetam a distribuição de impacto no ânodo. As correntes coletadas em diferentes regiões podem ser interpretadas como resultado da curvatura eletrônica e, portanto, relacionadas à determinação de  $e/m$  pelas mesmas relações físicas discutidas anteriormente. Esse método, ao converter informação espacial em sinais elétricos, abre caminho para maior automação e para integração com sistemas de aquisição de dados digitais.

Em síntese, as atividades realizadas mostraram que diferentes dispositivos — o CRT, o tubo “magic eye” e o diodo a vácuo — permitem implementar alternativas acessíveis e didáticas ao método tradicional de Thomson. Cada abordagem apresenta características distintas em termos de clareza visual, facilidade de análise ou potencial de automação, mas todas partilham a mesma lógica fundamental de equilíbrio entre força magnética e força centrípeta. Assim, o projeto demonstrou que arranjos experimentais simples, historicamente disponíveis e de baixo custo podem sustentar a determinação de  $e/m$  com qualidade suficiente para atividades didáticas e de iniciação científica, ampliando significativamente a acessibilidade dos experimentos em física moderna.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades desenvolvidas ao longo do projeto evidenciaram que é possível determinar a razão carga/massa do elétron ( $e/m$ ) por meio de arranjos experimentais alternativos, acessíveis e de baixo custo, sem perda do rigor conceitual e matemático. A implementação dos métodos com tubos CRT, tubos do tipo “magic eye” e diodos a vácuo demonstrou que a essência física do experimento clássico — baseada no equilíbrio entre força magnética e força centrípeta — pode ser preservada, ao mesmo tempo em que se ampliam as possibilidades pedagógicas e a democratização do acesso a experimentos de física moderna.

Os resultados mostraram que cada abordagem apresenta vantagens específicas: o CRT mantém maior clareza visual e proximidade histórica com os experi-

mentos originais; o “magic eye” introduz uma via simples de registro e análise digital, com potencial para exploração estatística de dados; e o diodo a vácuo oferece uma forma alternativa de leitura baseada em sinais elétricos, que facilita processos de automação. Em conjunto, tais arranjos reforçam a ideia de que a diversidade metodológica enriquece a experiência didática, permitindo que estudantes compreendam os mesmos princípios físicos sob diferentes perspectivas instrumentais.

Durante o processo, os principais desafios envolveram a adaptação dos propostos componentes a novas finalidades experimentais, a calibração precisa das medidas e a análise das incertezas associadas a dispositivos não originalmente projetados para experimentos quantitativos. Essas dificuldades, por sua vez, revelaram-se parte do aprendizado: exigiram reflexão crítica sobre a validade das aproximações, incentivaram a criatividade na solução de problemas e reforçaram a importância da análise de erros como elemento estruturante do método científico.

Em um contexto mais amplo, este trabalho contribui para a discussão sobre acessibilidade no ensino de ciências, mostrando que experimentos fundamentais podem ser realizados de modo econômico e criativo, sem comprometer sua profundidade conceitual. A experiência vivida sugere que investir em metodologias alternativas não apenas torna o laboratório mais inclusivo, como também fortalece a formação dos estudantes, que passam a experimentar a ciência não como repetição de protocolos caros e prontos, mas como construção ativa de conhecimento.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SILVA, L. C. M.; SANTOS, W. M. S.; DIAS, P. M. C. **A carga específica do elétron: um enfoque histórico e experimental.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, p. 1601, 2011.

TIPLER, P. A. **Física moderna.** Reverté, 1994.

ANGIOLILLO, P. J. **On thermionic emission and the use of vacuum tubes in the advanced physics laboratory.** American Journal of Physics, v. 77, p. 1102, 2009.

HULL, A. W. **The effect of a uniform magnetic field on the motion of electrons between coaxial cylinders.** Physical Review, v. 18, p. 31, 1921.

PRUTCHI, D. **Exploring Quantum Physics Through Hands-on Projects.** Wiley, 2012.

SILVA, C. C.; PIMENTEL, A. C. **As atmosferas elétricas de Benjamin Franklin e as interações elétricas no século XVIII.** In: MARTINS, R. de A.; SILVA, C. C.; FERREIRA, J. M. H.; MARTINS, L. A. C. P. (org.). *Filosofia e história da ciência no Cone Sul: seleção de trabalhos do 5º encontro.* Campinas: Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul (AFHIC), 2008. p. 117–124.