
MEDIÇÃO DA CARGA ELEMENTAR POR ELETRÓLISE DA ÁGUA⁺*

João Bernardes da Rocha Filho

Marcos Alfredo Salami

Nara Regina de Souza Basso

Raquel Thomaz

Regina Maria Rabello Borges

Ricieri Andrella Neto

Faculdade de Física – PUCRS

Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática

Porto Alegre – RS

Resumo

Este artigo apresenta uma técnica didática recomendada para o Ensino Médio ou Superior de Física ou Química, que permite a medição da carga elementar por meio da eletrólise da água. O experimento proposto envolve material de fácil obtenção, os resultados são suficientemente precisos para os fins educacionais aos quais se destinam, e sua realização promove a interdisciplinaridade, pois envolve conhecimentos de áreas distintas. São também apresentados resultados obtidos por alunos em aulas de laboratório.

Palavras-chave: *Medição da carga elementar; Eletrólise; Ensino de Ciências.*

⁺ Elementary charge measurement by water electrolysis

* *Recebido: julho de 2008.
Aceito: fevereiro de 2009.*

Abstract

This article presents an educational technique recommended for High School students or undergraduates on Physics or Chemistry education, which allows the measurement of the elementary charge through water electrolysis. The proposed experiment wraps material of easy attainment, the results have sufficient precision for the education purposes, and its realization promotes interdisciplinarity, since it wraps knowledge of different areas. In addition, this article presents results obtained by pupils in laboratory classrooms.

Keywords: *Elementary charge measurement; Electrolysis; Science Education.*

I. Introdução

A experimentação no ensino de ciências é um recurso pedagógico recomendável, auxiliando na concretização dos conhecimentos e constituindo um elo importante na cadeia de eventos que leva à aprendizagem. Seja despertando o interesse pela ciência, seja materializando uma teoria, a experimentação oferece aos estudantes uma base sobre a qual podem construir significados e realizar aproximações com o saber científico. O contato com material concreto relacionado ao conteúdo conceitual permite que o estudante preveja o comportamento dos sistemas físicos e conheça o poder de explicação da teoria, ao mesmo tempo em que identifica suas possíveis limitações. Tudo isso contribui para a reconstrução do conhecimento e permite que o estudante elabore melhores argumentações sobre o conceito estudado, dependendo, é claro, das oportunidades que o professor proporcione para o acolhimento dessas manifestações.

Apesar disso, poucos experimentos são realizados no ensino de Física, e parte dos estudantes conclui o nível médio sem ter sequer entrado em um laboratório, participado de uma investigação experimental ou simplesmente visto uma demonstração nesta disciplina. As pesquisas que temos realizado ou orientado mostram que essa falha acontece tanto nas escolas das redes públicas municipais e estaduais quanto nas escolas privadas de Ensino Médio. Isso, apesar de o processo de autorização oficial de funcionamento das instituições particulares incluir

requisitos específicos relacionados com a existência de pelo menos uma sala adaptada ao uso como laboratório.

As causas para a não utilização do recurso da experimentação envolvem, principalmente, a indisponibilidade material nas escolas e a falta de preparo dos professores, já que a legislação educacional dá amplas liberdades para que ambos adaptem currículos e métodos às particularidades do ensino contextualizado que se pretende. Entre os efeitos dessa deficiência estão a matematização excessiva, o empobrecimento do ensino das ciências e a desmotivação dos estudantes em relação às carreiras científicas. Além das dificuldades próprias do Ensino Médio, esses fatos também produzem o esvaziamento dos cursos universitários de licenciatura em Física e Química, como mostram Rocha Filho, Basso e Borges (2007).

Tentativas não institucionais para solucionar o problema podem ser promovidas pelos professores que, ao longo da carreira, por exemplo, constroem laboratórios ambulantes autônomos ou optam pela realização de experimentos utilizando principalmente materiais recolhidos pelos estudantes em suas casas ou vizinhanças. Essa é uma ação que caracteriza um professor que decide tornar-se autor de sua própria ação educativa, e que, segundo Demo (1998), produz transformações e recusa centrar sua prática na simples repetição de conteúdos.

Seguindo essa linha de ação, o artigo sugere um experimento que pode ser realizado com baixo custo e materiais normalmente presentes nos laboratórios do Ensino Médio e Ensino Superior, e que permite determinar a carga elementar com incerteza aproximada de $\pm 10\%$, aceitável para aplicações didáticas. Apesar de simples, o experimento exige atenção e consideração de um bom número de variáveis, e seus resultados envolvem conhecimentos conceituais de Física e Química, o que incentiva a interdisciplinaridade. O procedimento é ideal para ser utilizado como atividade investigativa desde que seja proposto como tarefa para ser realizada além do contexto de uma única aula. Ao realizarem o experimento, os estudantes podem atuar sobre as variáveis intervenientes, verificando como isso se reflete no valor medido para a carga elementar, e essas descobertas podem ser trazidas para a escola para serem apresentadas e discutidas com os colegas, por exemplo, com base também em investigações bibliográficas e produções próprias.

II. A determinação da carga elementar e o contexto escolar

A carga elementar foi inicialmente medida por Thomson a partir da descoberta do elétron, em 1897, utilizando um método que envolvia uma câmara

de bolhas sob ação de raios X ou raios gama. Thomson chegou ao valor de $1,1 \times 10^{-19} \text{C}$, mas seu método foi modificado por Millikan, que passou a utilizar óleo em vez de água, pois a evaporação das gotículas de água tendia a produzir resultados subestimados, terminando por obter o valor de $1,59 \times 10^{-19} \text{C}$. O experimento de Millikan é geralmente apresentado nos livros de Física Moderna, e o método baseia-se na ionização por atrito de gotas de óleo muito pequenas, borrifadas entre duas placas paralelas de um capacitor. Conforme a diferença de potencial entre as placas, uma força elétrica maior ou menor atua sobre as gotas carregadas, de modo que, eventualmente, é possível compensar a força gravitacional, fazendo com que algumas gotas fiquem suspensas. Quando a força elétrica é removida, as gotas caem até atingir uma velocidade terminal, a partir da qual a intensidade da força viscosa equivale à força gravitacional. Essa velocidade é determinada com o auxílio de um microscópio, observando a distância percorrida pelas gotas num dado intervalo de tempo. A força viscosa atua segundo a Lei de Stokes e é dependente da viscosidade do meio, da velocidade terminal e do raio da gota. A partir dessas informações pode-se determinar a massa da gota e, posteriormente, a carga do elétron (EISBERG, 1979).

O equipamento laboratorial necessário para determinação da carga do elétron por esse método quase sempre está disponível nas faculdades e nos institutos que formam professores de Física, mas raramente é encontrado em escolas de nível médio devido aos elevados custos de aquisição e manutenção associados. Além disso, o método de Millikan envolve equipamentos de precisão, como fontes de altas tensões, variáveis e estáveis, e sistemas ópticos sensíveis, fazendo com que a realização do experimento se constitua em um processo delicado, que exige ambiente controlado e grande disponibilidade de tempo. Por tudo isso esse é um experimento que, via de regra, é abordado no Ensino Médio apenas teoricamente, sob o ponto de vista histórico do desenvolvimento da Física. Como há muitos outros experimentos igualmente educativos e interessantes que podem ser feitos com baixo dispêndio de recursos, é difícil argumentar em favor da realização do experimento de Millikan nas escolas. Em muitos casos, porém, mesmo sendo de baixo custo, nenhum experimento é realizado.

III. Eletrólise da água

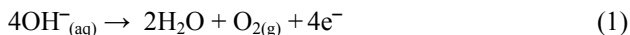
A eletrólise da água é um processo que consiste na quebra das ligações da molécula de H₂O com o auxílio de uma célula eletrolítica na qual ocorre uma reação de oxidação-redução não-espontânea, provocada por uma corrente elétrica introduzida no sistema por meio de um gerador externo. Nesse sistema, condutores elétricos ligam a fonte de alimentação à célula eletrolítica, que consiste em dois eletrodos mergulhados em uma solução aquosa que contém íons positivos e negativos provenientes tanto do soluto quanto da água. A passagem de corrente elétrica contínua pelo circuito induz a produção de oxigênio molecular, derivado da oxidação do cátodo, e hidrogênio molecular, derivado da redução do ânodo, na proporção de uma molécula de oxigênio para duas moléculas de hidrogênio.

Sendo isolante elétrica quando pura, a passagem da corrente elétrica pela água ocorre apenas na presença de substâncias dissociáveis, como sais, bases ou ácidos. A corrente elétrica é a responsável pela entrada de energia no sistema, sem a qual a molécula de H₂O não poderia ser rompida. Os eletrodos que formam o ânodo e o cátodo da célula eletrolítica também desempenham um papel importante no processo, pois reagem com os íons móveis da solução aquosa, produzindo substâncias que se dissolvem na solução ou se depositam nos próprios eletrodos ou no fundo da célula. O detalhamento da reação química da eletrólise da água na presença de hidróxido de sódio é apresentado no item a seguir.

IV. O experimento

O experimento consiste na captura e medição do volume de gás produzido durante a eletrólise de uma solução aquosa de hidróxido de sódio (NaOH), durante certo tempo, sob determinada corrente elétrica, em uma montagem semelhante à mostrada na Fig. 1.

A reação química da eletrólise da água em presença de hidróxido de sódio envolve a produção de oxigênio molecular (O₂) no ânodo, que pode ser representada por:



e hidrogênio molecular (H₂) no cátodo, que pode ser representada por:



A reação indica que, para cada dois elétrons que percorrem o circuito, teremos a produção de uma molécula de hidrogênio, por isso haverá um fator dois

a considerar no cálculo da carga elementar. Para simplificar o processo, optamos por não separar os tubos de captura gasosa dos eletrodos, então o gás armazenado no interior do tubo de ensaio é composto por hidrogênio e oxigênio, na proporção de duas moléculas de H_2 para uma molécula de O_2 . Isso se repete no volume total, isto é, 2/3 do volume de gás corresponde ao hidrogênio, enquanto 1/3 desse mesmo volume corresponde ao oxigênio. Como cada átomo de hidrogênio é liberado pela troca de um elétron com o íon hidroxila (OH^-) dissolvido na solução, pode-se determinar o número de elétrons que circularam no sistema pela quantidade de moléculas de hidrogênio contidas no volume de gás produzido.

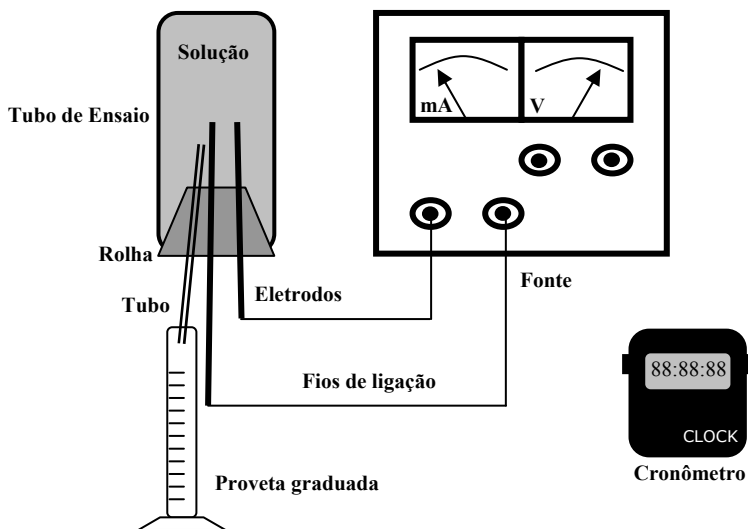


Fig. 1 - Diagrama da montagem do experimento.

Se a fonte de alimentação for substituída por pilhas ou baterias, ou não dispuser de miliamperímetro e possibilidade de ajuste de tensão, o professor deve providenciar um miliamperímetro separado, assim como um potenciômetro ou reostato, ligando-os de maneira que a corrente elétrica possa ser medida continuamente, e ajustada, quando necessário. Essa exigência relaciona-se ao fato de que a corrente tende a mudar lentamente durante o período de realização da

eletrólise em função da alteração da superfície dos eletrodos e da temperatura da solução, e o experimentador precisa corrigir frequentemente esse valor para que permaneça tão constante quanto possível. Bons resultados podem ser obtidos numa ampla gama de correntes e tensões. A Fig. 2 mostra o aspecto real de uma das montagens realizadas pelos estudantes.

Além da temperatura da solução, a corrente elétrica no processo eletrolítico depende da área imersa dos eletrodos, da concentração de hidróxido de sódio e da tensão aplicada. Nós dissolvemos, em 100 ml de água pura, dez gotas de uma solução de 50% (em peso) de NaOH, mas essa não é uma variável crítica no experimento, de maneira que o professor pode fazer a solução em concentrações diferentes, embora o tempo de realização da eletrólise possa aumentar se a concentração baixa mantiver a corrente elétrica em valores pequenos. Em números aproximados, cargas de 50 C produzem cerca de 10 ml de gás (hidrogênio mais oxigênio), que é um volume adequado para uma medição relativamente precisa em provetas pequenas. Se os 50 C forem obtidos sob corrente de 50 mA, será preciso cerca de 16 min de eletrólise, enquanto que, para 5 mA, esse tempo aumenta para quase 3 h, tornando o experimento difícil de ser realizado no contexto de uma aula de Física. Assim, é conveniente que o professor adapte os valores das grandezas de influência para adequá-las à situação pedagógica na qual pretende usar o experimento.

Os eletrodos consistem em minas de grafite de lápis ou lapiseiras comuns, com cerca de 10 cm de comprimento, introduzidas em dois condutos previamente perfurados em rolhas plásticas adequadas aos tubos de ensaio disponíveis. A maior parte das minas fica imersa na solução, e apenas uma pequena parte permanece do lado externo da rolha, para conexão elétrica à fonte de alimentação, tendo-se o cuidado de vedar com cola quente as eventuais folgas por onde o líquido possa escorrer. Na mesma rolha, um terceiro furo transpassante recebe um pequeno tubo responsável pelo escoamento da solução expulsa pela produção dos gases da eletrólise. Como esse gás ocupa certo volume, que antes era ocupado pela solução, esta escapa pelo tubo e é recolhida em uma proveta graduada. Se for utilizada uma proveta graduada invertida, em vez do tubo de ensaio, é possível medir o volume gasoso diretamente na proveta e não a partir do recolhimento da solução que escapa pelo tubo. É uma questão de escolha, e o professor pode fazer os ajustes que julgar convenientes, pois há grande flexibilidade nos procedimentos deste experimento.

As minas de grafite são opções adequadas para os eletrodos porque mantêm a solução limpa e transparente durante todo o experimento, além de serem

materiais de fácil obtenção, do cotidiano dos estudantes. Eletrodos feitos com fios de aço inoxidável produzem resultados igualmente satisfatórios, e são mecanicamente mais resistentes que as minas de grafite, sendo uma ótima opção se puderem ser obtidos com facilidade.

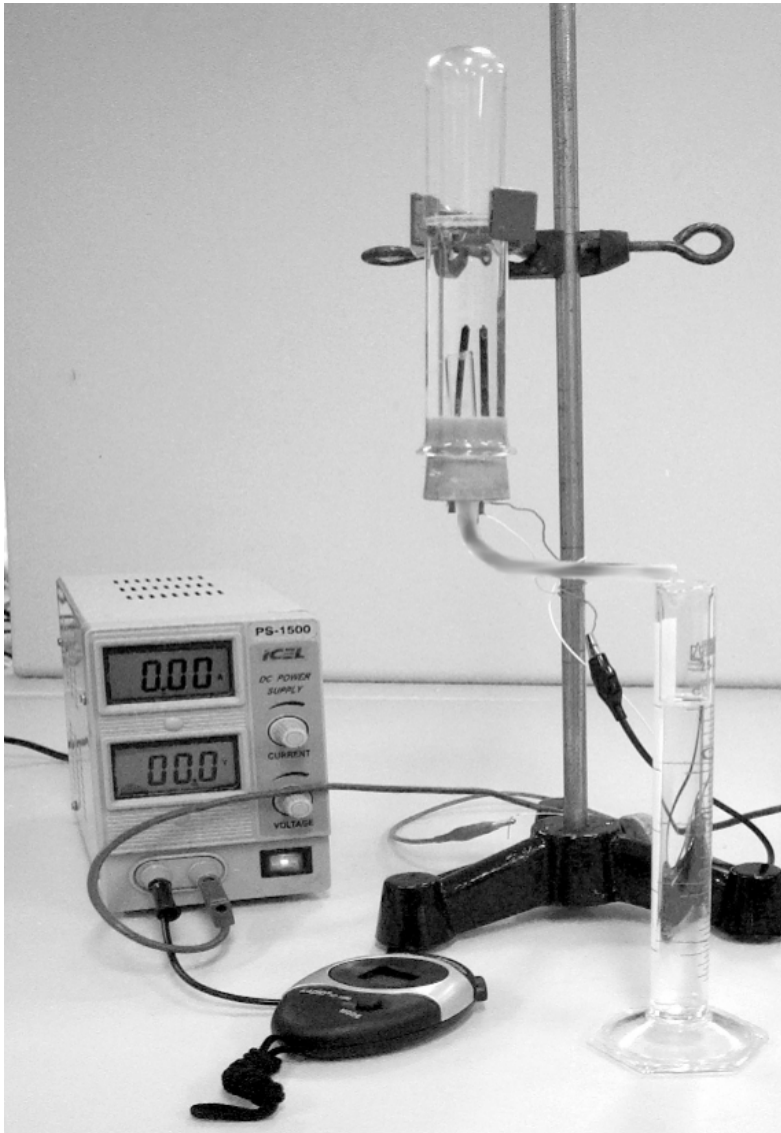


Fig. 2 - Aspecto da montagem do experimento.

V. Cuidados e recomendações

Como as medições de correntes elétricas e intervalos de tempo são realizadas com o auxílio de instrumentos digitais precisos, para garantir um resultado aceitável do ponto de vista didático, basta que o professor oriente seus alunos para que cuidem que a corrente não varie ao longo do intervalo de tempo da eletrólise, ajustando-a sempre que necessário, para que o cronômetro seja acionado corretamente no início e no final do processo, e para que a medição do volume gasoso seja feita com atenção. A não ser em situações especiais, envolvendo erros grosseiros ou defeitos nos instrumentos de medição, a incerteza do processo tende a ser pequena.

Uma forma prática de definir a duração da eletrólise é estabelecer certo volume de referência como objetivo a ser alcançado pelos estudantes (10ml ou 25ml, por exemplo). Quando esse volume é atingido, o cronômetro é travado e dá-se por encerrado o procedimento de coleta de dados. Medições de volume podem introduzir acréscimos importantes na incerteza do processo porque envolvem vidraria e comparação visual. É conveniente, assim, que o professor oriente especialmente seus estudantes sobre como realizar corretamente a leitura da indicação de volume em uma proveta graduada.

É recomendável, também, que as partes das minas de grafite que ficam para fora da rolha não sejam conectadas diretamente aos fios da fonte e do miliamperímetro, pois são frágeis, quebrando-se com facilidade. Para protegê-las de esforços podem-se enrolar nelas pequenos pedaços de fios rígidos finos, de telefonia, prendendo esses fios na haste de suporte, na rolha ou em outro ponto fixo, ligando-os, posteriormente, à fonte de alimentação. Dessa forma, os esforços mecânicos aplicados aos fios ligados ao circuito não são transmitidos às minas, protegendo-as de fraturas.

Após o preenchimento do tubo de ensaio com a solução de NaOH é necessário que se introduza a rolha suave e firmemente, de modo que não reste no tubo de saída qualquer bolha de ar, pois isso faria com que o volume de solução expulso fosse menor que o volume de gás produzido pela eletrólise, afetando o resultado de forma importante. O orifício do tubo de saída da solução deve ser mantido afastado da superfície interna da proveta e do líquido nela armazenado, para que a solução escoe por gotejamento do tubo para a proveta. Sem esse cuidado a solução pode escorrer, esvaziando parcialmente o tubo de saída, introduzindo erros na medição do volume.

O uso de hidróxido de sódio (NaOH) é conveniente, ao invés de outras bases, sais ou ácidos, pois pode ser obtido com facilidade e cada um de seus íons troca apenas um elétron com os eletrodos, resultando em um cálculo que conduz diretamente à carga elementar. Entretanto, outras substâncias podem ser utilizadas, desde que o professor esteja disposto a discutir com os alunos os resultados obtidos, que podem ser múltiplos inteiros da carga do elétron, como efeito das diferentes valências dos íons.

VI. Resultados experimentais

O experimento foi aplicado em uma turma de Instrumentação para o Ensino de Física, de um curso de Licenciatura em Física, e também em turmas de Ensino Médio que participam de um programa de integração escola-universidade. Nos testes iniciais usamos diferentes correntes elétricas, volumes variados, eletrodos metálicos e outros eletrólitos, porém nos testes didáticos optamos pela utilização de hidróxido de sódio dissolvido em água, com eletrodos de grafite, pelas razões explicitadas anteriormente. Além disso, propusemos recolhimento gasoso total de 10ml e 25ml, por serem valores adequados às provetas disponíveis, e correntes de 0,10A e 0,20A, aproveitando as escalas mais sensíveis dos multímetros comuns. Cada grupo de estudantes utilizou rolhas, grafites, provetas, fontes e multímetros diferentes, e preparou a própria rolha, fazendo nela a furação necessária para adaptação dos eletrodos e do tubo de saída da solução.

Também tivemos o cuidado de comparar a indicação de corrente dos diversos multímetros, para evitar o uso de instrumentos com desvios exagerados, e com o mesmo objetivo comparamos a indicação volumétrica das provetas com a massa correspondente da água nelas contida, com o auxílio de uma balança digital. Embora idealmente esses instrumentos pudessem ser calibrados, esse não é um procedimento usual no dia-a-dia escolar, então aceitamos nossos testes comparativos como suficientes para o uso que deles fizemos. Durante esta aplicação, os dados obtidos pelos diversos grupos foram armazenados e são mostrados na tabela 1.

Na tabela 1 a carga que circulou pela solução eletrolítica foi calculada pela multiplicação da corrente elétrica pelo tempo de realização do experimento.

$$Q = i \cdot t \quad (3)$$

Dois terços do volume gasoso total V correspondem ao volume do hidrogênio molecular V_H .

$$V_H = V \cdot \frac{2}{3} \quad (4)$$

Tabela 1 – Dados obtidos pelos diferentes grupos de estudantes.

Determinação da Carga Elementar por Eletrólise da Água						
Soluto: NaOH - Solvente: Água - Eletrodos: Grafite						
Corrente Elétrica	Intervalo de tempo de medição	Carga elétrica $Q = it$	Volume gasoso total	Volume de hidrogênio $V_H = \frac{2V}{3}$	Número de moléculas de hidrogênio $N = \frac{6,02 \times 10^{23}}{22,4} V_H$	Carga e- $e^- = \frac{-Q}{2N}$ lementar
i (A)	t (s)	Q (C)	V (l)	V _H (l)	N	e ⁻ (C)
0,10	547	54,7	0,010	0,0067	$1,8 \cdot 10^{20}$	$-1,52 \cdot 10^{-19}$
0,10	543	54,3	0,010	0,0067	$1,8 \cdot 10^{20}$	$-1,51 \cdot 10^{-19}$
0,10	535	53,5	0,010	0,0067	$1,8 \cdot 10^{20}$	$-1,49 \cdot 10^{-19}$
0,10	1533	153,3	0,025	0,0167	$4,5 \cdot 10^{20}$	$-1,70 \cdot 10^{-19}$
0,10	1588	158,8	0,025	0,0167	$4,5 \cdot 10^{20}$	$-1,76 \cdot 10^{-19}$
0,20	277	55,4	0,010	0,0067	$1,8 \cdot 10^{20}$	$-1,54 \cdot 10^{-19}$
0,20	278	55,6	0,010	0,0067	$1,8 \cdot 10^{20}$	$-1,54 \cdot 10^{-19}$

O número N de moléculas de hidrogênio (H₂) contidas no volume V_H foi calculado por uma proporção simples, supondo que o experimento foi realizado nas CNTP e, portanto, $6,02 \cdot 10^{23}$ moléculas ocupariam um volume de 22,4 litros.

$$N = \frac{6,02 \cdot 10^{23}}{22,4} V_H \quad (5)$$

E, finalmente, a carga elementar foi calculada dividindo-se a carga total circulante Q pelo dobro do número de moléculas de H₂ recolhidas. O fator 2 surge porque são necessários dois elétrons para produzir uma molécula de H₂.

$$e^- = \frac{Q}{2N} \quad (6)$$

VII. Incerteza do método

Como o experimento foi desenvolvido com o objetivo de ser um método simples de determinação da carga do elétron para turmas iniciantes no estudo da eletricidade, não foram feitas correções para as condições normais de temperatura e pressão (CNTP), ou para o volume de vapor de água gerado. Essas duas correções tendem a introduzir desvios de sinais opostos no resultado final, de

modo que a desconsideração simultânea de ambas produz erros menores do que se apenas uma delas fosse desprezada. Assim, foi feita uma aproximação supondo que um mol de hidrogênio molecular ocupa 22,4 litros *nas condições do experimento*. Essa aproximação introduziu um erro avaliado em até 7% no valor calculado para a carga elementar, que foi acrescentado à planilha de cálculo de incerteza como uma fonte não instrumental. A correção quanto às CNTP e quanto ao volume de vapor de água, entretanto, pode ser útil e interessante se os alunos envolvidos tiverem estudado previamente a teoria dos gases, ou estiverem às vésperas de fazê-lo. Sob critério do professor, portanto, a correção pode ou não ser feita.

Embora os licenciandos estivessem aptos a realizar a estimativa da incerteza associada a essa medição, esse procedimento não foi proposto porque a maior parte do grupo – os estudantes do Ensino Médio – não estava familiarizada com a determinação de incertezas em situações experimentais. Por outro lado, a correção dos erros sistemáticos dos instrumentos de medição utilizados teria que se valer de calibração, o que não é procedimento usual em se tratando de instrumentos didáticos. A incerteza global, por fim, não poderia ser associada à incerteza tipo A, resultante do cálculo do desvio padrão experimental da média dos valores, pois, para isso, os dados deveriam ter sido obtidos “... sob mesmas condições de medição...” (ABNT, INMETRO, SBM, 1998, p.10), o que não foi o caso. Entretanto, uma planilha de cálculo de incerteza pode ser útil para que se tenha uma estimativa da precisão e das limitações do método.

Uma estimativa da incerteza tipo B, baseada nas especificações gerais dos fabricantes dos instrumentos e das simplificações, pode ser calculada sem referência a médias de valores resultantes de medição. Assim, o cálculo mostrado na tabela 2 segue as recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas, da Sociedade Brasileira de Metrologia e do Instituto Nacional de Metrologia e Qualidade Industrial, explicitadas no Guia Para Expressão da Incerteza de Medição (ibid.). Os dados da tabela derivam de estimativas referentes à instrumentação e às simplificações utilizadas, então a distribuição de probabilidade pode ser considerada retangular, o que implica o divisor $\sqrt{3}$ e os graus de liberdade (GL) infinitos.

Na tabela 2, observa-se que a incerteza combinada (U_c) foi expandida (U) por um fator (k) igual a 2, para um nível de confiança de 95%, e que a maior fonte de incerteza instrumental provém da flutuação na corrente da fonte de alimentação. Em uma situação melhorada, o experimentador pode recorrer a uma fonte de corrente constante, reduzindo substancialmente esta parcela. Outra contribuição

expressiva é a decorrente da não correção volumétrica quanto ao experimento não ter sido realizado nas CNTP, e quanto ao valor de vapor de água contido no volume gasoso. Mas este item pode ser eliminado se estas correções forem feitas. Por fim, obtemos um valor próximo a 10%, que é razoável para aplicações didáticas, especialmente considerando a relativa simplicidade do experimento, que pode ser repetido com facilidade em diversos contextos escolares.

Tabela 2 – Estimativa da incerteza introduzida pela instrumentação e simplificações.

Índice	Tipo	Fonte	Valor	Distribuição de Probabilidade	Divisor	Fator	Incerteza Padronizada	GL
0	B	Miliamperímetro	$\pm 0,25\%$ do fundo de escala	Retangular	$\sqrt{3}$	1	$\pm 0,14\%$	∞
1	B	Proveta	$\pm 3\%$ da indicação	Retangular	$\sqrt{3}$	1	$\pm 1,7\%$	∞
2	B	Cronômetro	$\pm 1\text{ s}$ $\Delta t: 500\text{s}$	Retangular	$\sqrt{3}$	$(1/500).100\%$	$\pm 0,12\%$	∞
3	B	Flutuação da corrente	$\pm 5\%$	Retangular	$\sqrt{3}$	1	$\pm 2,9\%$	∞
4	B	Aproximação das CNTP e volume de vapor	$\pm 7\%$	Retangular	$\sqrt{3}$	1	$\pm 4,0\%$	∞
Uc	$U_c = \pm (0,14^2 + 1,7^2 + 0,12^2 + 2,9^2 + 4,0^2)^{1/2} \dots U_c = 5,2\%$							
GL	∞							
K	2							
U	$\pm 10,4\%$							

VIII. Considerações finais

Propor atividades experimentais é um gesto que tem potencial para despertar no professor o reconhecimento de seu papel revolucionário e urgente, e nos estudantes o interesse por uma ciência que permeia a vida cotidiana. O País sofre com um *déficit* de cinquenta e cinco mil professores de Física, segundo os dados governamentais apresentados por Rocha Filho, Basso e Borges (2007), em parte porque os jovens não tiveram chance de realizar investigações ou descobrir a ciência. Seus professores, pelos mais variados motivos, muitos deles justificáveis, porém passíveis de superação, perderam chances de despertar nos jovens a vontade de sondar o universo, insistindo em aulas teóricas que, sem o aporte experimental, perdem o sentido.

Se o professor desejar explicações suplementares sobre qualquer aspecto deste experimento, está convidado a entrar em contato conosco por meio dos endereços eletrônicos dos autores, disponibilizados na revista.

Referências

ABNT; INMETRO; SBM. **Guia para a expressão da incerteza de medição**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998. 121p.

DEMO, P. **Educar pela Pesquisa**. Campinas: Autores Associados, 1998. 129 p.

EISBERG, R. M. **Fundamentos da Física Moderna**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1979. 643 p.

FELTRE, R. **Fundamentos de Química**. São Paulo: Moderna, 1996. v. único. 646 p.

ROCHA FILHO, J. B.; BASSO, N. R. S.; BORGES, R. M. R. **Transdisciplinaridade: a natureza íntima da educação científica**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. 131 p.