

Atividade experimental como uma proposta investigativa: a produção de gás hidrogênio a partir de ácido e materiais de alumínio

Experimental activity as an investigative proposal: the production of hydrogen gas from acid and aluminum materials

Lizandra Maria Zimmermann,^{a,*} Daniela Cristina Horst Pereira Metz,^a Francielle Schmitz,^a Bianca de Souza Alves,^a Ivonete Oliveira Barcellos^a

^a Fundação Universidade Regional de Blumenau, Campus I, Departamento de Química, CEP 89010-150, Blumenau-SC, Brasil

*E-mail: lmz@furb.br

Recebido: 23 de Março de 2023

Aceito: 20 de Outubro de 2023

Publicado online: 13 de Novembro de 2023

This article presents a proposal for an experiment as an investigative activity for a chemical reaction between aluminum and hydrochloric acid, using aluminum-based materials in daily use, such as packaging seals and discarded aluminum foil. The purpose of the experiment is to collect the hydrogen gas produced to explore basic concepts of General Chemistry and Physical Chemistry. Using low-cost materials that are easily accessible to schools or universities, the experiment instigates chemical thinking and relevant practical skills. The experimental development took place from three moments of didactic-pedagogical intervention, which were evaluated and discussed throughout the text, with emphasis on student's participation and conceptual evolution. From the experimental data obtained, it was possible to determine the work produced by the system at constant external pressure, given the variation in the volume of a gas collecting syringe, to explore the stoichiometric relations, the mathematical treatment and other properties related to the behavior of gases. The social contribution of the experiment is also considered through the perspectives generated around the valuation of disposable packaging materials and the didactic importance that the experimental activity has in the construction of chemical concepts.

Keywords: Investigative experimentation, study of gases, reuse of materials, hydrogen gas.

1. Introdução

A forma gasosa da matéria tem, entre suas propriedades, a capacidade de se expandir, ocupando todo o volume do recipiente. No estado gasoso as moléculas mantêm-se em movimento, de forma permanente e aleatória, com velocidades que aumentam com o aumento da temperatura.¹

Destacam-se três motivos para o estudo dos gases. Primeiramente, alguns compostos e substâncias simples existem no estado gasoso, sob determinadas condições de pressão e temperatura. Muitos líquidos (água, solventes orgânicos, bebidas) podem ser vaporizados e, então, apresentam propriedades e aplicações importantes.

O segundo motivo é que o gás tem comportamento simples, em nível molecular, que favorece a compreensão de conceitos.² Nesse sentido, sabendo-se da natureza de um gás, um determinado sistema pode ser completamente descrito, em nível macroscópico, pelas quantidades mensuráveis de pressão, volume e temperatura. Essas quantidades estão relacionadas na equação dos Gases Ideais, assumindo-se que átomos e moléculas não interagem entre si e que podem ser considerados como pontos de massa.³

O terceiro motivo é que a atmosfera gasosa terrestre fornece uma maneira de transferir matéria e energia ao redor do globo, sendo assim, uma fonte indispensável para a vida. O gás nitrogênio, por exemplo, que representa aproximadamente 78% da atmosfera, é assimilado por certas bactérias que fixam o nitrogênio nas raízes de plantas leguminosas para a formação das proteínas e outros compostos orgânicos. Já o oxigênio participa de vários processos vitais no planeta, principalmente da respiração dos seres vivos, auxilia em processos medicinais e em fundição de peças metálicas. O gás hélio, por sua vez, é utilizado para enchimentos de balões e, na sua forma condensada, como líquido refrigerador de materiais condutores.^{4,5}

Metais mais reativos que o hidrogênio reagem com ácido produzindo gás hidrogênio e um sal em meio aquoso, em reações de oxirredução, suscitando para o tratamento de temas importantes que podem contribuir no processo de ensino e de aprendizagem do conhecimento Químico. O alumínio, um forte agente redutor, com um potencial padrão de redução de $E^\circ \text{Al}^{3+}/\text{Al}^0 = -1,662$

V, reage com o ácido clorídrico produzindo o gás hidrogênio e o sal cloreto de alumínio. Interessante destacar que, em consequência dessa alta tendência de oxidação, o alumínio é um metal que é passivado por uma camada de óxido, que atua como barreira para a ação redutora do metal.⁶

O alumínio é obtido a partir do minério bauxita e o Brasil figura-se como terceiro produtor mundial do minério, com produção aproximada, em 2020, de 31 milhões de toneladas, representando 8,4% da produção mundial de 371 milhões de toneladas.⁷ O alumínio, devido a sua resistência à corrosão, tem várias aplicações no mercado: na estrutura de aviões, barcos e bicicletas, esquadrias de janelas e portas e em embalagens de papel alumínio, latas e lacres.⁸

Costa *et al.* (2006) descrevem sobre o histórico da produção de alumínio em laboratório, as propriedades e a oxidação do metal em meio ácido e básico (evidenciando seu caráter anfotérico) para produzir gás hidrogênio.⁹ Em outro trabalho, foi reportado a utilização do alumínio e NaOH, em meio aquoso, para a formação de gás hidrogênio e aluminato de sódio, através de reações de oxirredução. Os autores também discutem a temática da inclusão de deficientes visuais nas atividades experimentais a partir das vivências sensoriais, dadas as propriedades que podem ser avaliadas do gás hidrogênio produzido, como a inflamabilidade e a densidade em relação a outros gases.¹⁰

Reações que envolvem a produção de gás hidrogênio são muito visadas na atualidade, já que o gás é considerado fonte de energia limpa, pois libera apenas vapor de água durante sua combustão. Assim, estudos e pesquisas visam compreender o mecanismo, a viabilidade econômica, prática e de segurança para produzir e armazenar hidrogênio em larga escala.¹¹ Meroueh *et al.* discutem que o alumínio, quando não passivado pela camada de óxido, reage prontamente com água para produzir gás hidrogênio. Por isso, estratégias vêm sendo desenvolvidas para que a reação do alumínio com a água aconteça em condições de uma superfície limpa (não passivada).¹²

Considerando a alta densidade energética do alumínio, em 29 MJ/kg,¹² a importância da reciclagem e reuso deste metal já são bem estabelecidos na sociedade. Desta forma, o material explorado neste estudo, o alumínio, pode ser obtido facilmente a partir de sobras de folhas de alumínio de uso cotidiano ou até mesmo dos lacres de embalagens de café, geleias, sucos, medicamentos, entre outros, conforme a Figura 1. Além disso, a proposta de um experimento, como uso de materiais de baixo custo, não dependendo, necessariamente, de um laboratório, pode contribuir para a assimilação e construção de conceitos fundamentais da Química.¹³

As aulas baseadas na abordagem da experimentação como prática investigativa permitem o exercício da problematização, da construção de conceitos, da proposição de argumentos e hipóteses, aumentando a aprendizagem cognitiva, podendo ser uma estratégia eficiente no processo de formação de estudantes com maior autonomia, pensamento crítico e participativos. Nesta abordagem, os



Figura 1. Fotografia de alguns materiais comerciais do cotidiano a base de alumínio

estudantes são colocados frente a uma proposta de atividade experimental investigativa, sendo conduzidos, pelo professor mediador, à reflexão, discussão, aplicação de conhecimentos prévios e à construção de novos conceitos.¹⁴⁻¹⁸

A execução de roteiros pré-estabelecidos, sem a devida mediação e problematização, não exige habilidades cognitivas complexas ou mais elevadas e, por conseguinte, limitando a aprendizagem, o estabelecimento das relações entre conceitos, explicações e fenômenos, bem como a capacidade de argumentação.¹⁹ Em contraponto, a experimentação como prática investigativa deve permitir que o estudante revele habilidades cognitivas mais elevadas. Para atingir tal feito, o estudante precisa ser participante do processo e que o conjunto de atividades didáticas, mediadas pelo professor, promova as condições para a compreensão de situações-problema, para o levantamento de hipóteses, coleta e análise de dados, na formulação de conclusões, soluções e argumentação na hora de comunicar os resultados ou na tomada de decisões.²⁰

Além disso, a proposição de experimentos constitui-se em uma ferramenta pedagógica importante para a cooperação entre os estudantes, na atividade em grupo e na definição de papéis, no tratamento dos dados, no estabelecimento do diálogo entre professor e estudantes sobre os conceitos teóricos e experimentais envolvidos.²¹ Sob esta ótica, uma atividade experimental baseada na prática investigativa deixa de ser um trabalho exclusivamente prático para tornar-se um processo rico, integrando vários aspectos essenciais a uma investigação científica.^{14,22,23}

Dentro desse contexto, o presente trabalho procurou avaliar os impactos da execução de uma atividade experimental, com enfoque na prática investigativa, na construção de conhecimentos científicos básicos que podem atender às ementas de Química Geral e Físico-Química no estudo dos Gases e das Leis da Termodinâmica (especialmente, a Primeira Lei). Para isso, propôs-se montar um sistema reacional entre o alumínio e o ácido clorídrico para obtenção do gás hidrogênio, um gás inodoro, incolor,

inflamável e não tóxico, empregando-se materiais simples disponíveis no cotidiano dos estudantes, muitas vezes como descarte doméstico. A metodologia proposta foi avaliada no ano de 2022 na Universidade Regional de Blumenau.

2. Conceitos Básicos a Serem Trabalhados na Atividade Experimental

Segundo Luiz Pilla,²⁴ a definição para gás ideal pode ser dada tanto pelo ponto de vista termodinâmico como do cinético. Termodinamicamente, como um gás cujas variáveis de estado estão relacionadas na Equação 1.

$$P V = n R T \quad (1)$$

Cineticamente, como um gás ideal, cujas moléculas estão totalmente livres de forças de atração e de repulsão, possuindo apenas energia cinética translacional. Para gases reais não se aplicam estes critérios. Entretanto, o conceito de gás ideal mantém a sua utilidade no estudo dos gases reais porque o comportamento destes pode ser interpretado como um “desvio” em relação ao modelo ideal. Para estabelecer, seja por via cinética ou empírica, uma equação de estado para os gases reais, é necessário examinar o comportamento dos gases reais, ou seja, descrever os estados de equilíbrio mediante as variáveis, pressão, volume e temperatura.²⁴

Na Termodinâmica, a Primeira Lei é frequentemente expressa pela Equação 2, que mostra que a capacidade de um sistema de realizar trabalho está relacionada com seu conteúdo total de energia, chamada de Energia Interna (U). Esta energia interna de um sistema pode ser alterada pela realização de trabalho (w) e calor (q) que são transferidos entre o sistema e a vizinhança. Assim, a energia não pode ser criada e nem destruída, por isso a U de um sistema isolado é constante, em que ΔU é a variação da energia interna de um sistema físico.³

$$\Delta U = q + w \quad (2)$$

Quando $w = 0$, por exemplo em uma expansão no vácuo, a energia interna será equivalente ao calor. Quando $q = 0$, expansão adiabática, a Equação 2 dará $\Delta U = w$, significando que, em toda transformação adiabática, o trabalho recebido pelo sistema resulta em aumento de sua energia interna. O trabalho deve ser considerado como uma quantidade de energia transferida através da fronteira, entre sistema e vizinhança, e capaz de gerar movimento, ou como resultado de uma força que age diante de uma distância. Usando a definição de pressão como força por unidade de área, o w pode ser representado pela massa movida na vizinhança,³ segundo a Equação 3,

$$w = \int_{x_i}^{x_f} F dx - \int_{x_i}^{x_f} P_{op} A dx = - \int_{V_i}^{V_f} P_{op} dV \quad (3)$$

em que F = força, P_{op} = pressão oposta que se opõe ao movimento de expansão, x = distância, A = área e V = volume. O sinal negativo aparece porque F e dx são vetores que apontam para direções opostas e o ângulo é 180° , logo $\cos 180^\circ = -1$. Na expansão e na compressão ocorre a variação de U devido ao trabalho envolvido na variação de volume do gás. Numa expansão em vários estágios, o trabalho produzido é a soma das pequenas quantidades de trabalho produzidas em cada estágio. A interpretação do sinal, a partir da equação acima, é que, se w for positivo, trabalho é realizado pela vizinhança sobre o sistema. Do contrário, se w for negativo, trabalho é realizado pelo sistema sobre a vizinhança.

De acordo com a Lei de Dalton, a pressão total (P_t) de uma mistura gasosa é igual a soma das pressões parciais de cada gás. Assim, um sistema contendo gás 1, gás 2 e gás 3 a P_t será obtida pela Equação 4.

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 \quad (4)$$

3. Metodologia

3.1. Contexto da pesquisa

A presente pesquisa foi realizada com um grupo de acadêmicos do curso de Química (quarta fase), na disciplina de Físico-Química I.* Inicialmente, o experimento foi concebido pelos professores e executado pelo monitor da disciplina, com o intuito de verificar, coletar e tratar os dados. Os dados experimentais obtidos estão apresentados e discutidos na sessão 4.1 deste artigo. Após este estudo, a proposta experimental, com o enfoque na prática investigativa, foi desenvolvida pelos graduandos a partir de três diferentes momentos de intervenção didático-pedagógica. A análise dos resultados baseou-se na avaliação de questionários aplicados aos estudantes no início e no fim da atividade experimental.

3.2. Tipo de pesquisa e momentos de intervenção didático-pedagógica

A presente pesquisa baseia-se na abordagem da experimentação como prática investigativa, uma ferramenta didática importante para as intervenções pedagógicas em diversos momentos da construção e sistematização dos conceitos científicos, que advém de teorias educacionais já bem difundidas no ensino de Química.^{14,15,20,22} Para que a atividade experimental tivesse o enfoque na experimentação como prática investigativa, a sistematização

* A disciplina de Físico-Química I é composta por 3 créditos teóricos e 3 créditos práticos e, durante a realização desta pesquisa, a regência da disciplina foi compartilhada entre dois professores, no qual um ficou responsável pela parte teórica e o outro pela parte experimental.

e o desenvolvimento por parte dos estudantes se deram a partir de três momentos de intervenção didático-pedagógica.

O primeiro momento de intervenção didático-pedagógica iniciou-se com a apresentação de dois vídeos para a discussão coletiva de conceitos pertinentes à Lei Zero²⁵ e à Primeira Lei da Termodinâmica.²⁶ Esta etapa teve como objetivo apenas contextualizar tais conceitos em relação aos temas que seriam abordados durante a execução do experimento, visto que estes conceitos teóricos estavam sendo estudados paralelamente na parte teórica da disciplina de Físico-Química I. Neste momento, o professor mediou um diálogo colocando os estudantes frente a questões-problema, estimulando o raciocínio lógico e a criatividade dos graduandos para a construção de hipóteses e argumentos. Após a discussão em grupo, um questionário, com questões dissertativas e objetivas, foi aplicado com o intuito de verificar o conhecimento prévio dos estudantes em relação aos conceitos a serem explorados e aprofundados durante a execução do experimento.

Posteriormente à resolução do questionário, os estudantes foram conduzidos ao laboratório de Físico-Química para a realização do experimento de obtenção do gás H₂, o que constituiu o segundo momento de intervenção didático-pedagógica. Nesta etapa, os estudantes seguiram as instruções para a execução da atividade experimental (material suplementar) e foram direcionados ao exercício da problematização, coleta e tratamento de dados e discussão dos conceitos teóricos e práticos envolvidos. Como parte do tratamento de dados, foi solicitado aos graduandos a representação da equação balanceada da reação de formação do H₂, além de cálculos estequiométricos para previsão teórica do volume e quantidade de matéria de H₂ produzida, baseando-se no tratamento de dados realizado pela monitoria, conforme apresentado no item 4.1 deste artigo.

Por fim, para avaliar a construção dos conhecimentos científicos a partir do experimento, coleta e tratamento de dados, bem como das discussões teóricas e práticas realizadas, um questionário final com questões dissertativas e objetivas foi novamente lançado aos estudantes. Após a entrega do questionário preenchido, foi realizada uma discussão final a respeito do conhecimento prévio dos estudantes, bem como da evolução conceitual percebida durante a execução do experimento, mediada pelo professor. Esta etapa correspondeu ao terceiro e último momento de intervenção didático-pedagógica.

A Figura 2 ilustra os três momentos de intervenção didático-pedagógica convergindo para a construção do conhecimento científico dos estudantes.

3.3. Construção do aparato experimental

Óculos de proteção; ácido clorídrico a 6 mol L⁻¹; seringa de vidro de 20 mL; kitassato de 125 mL; rolha; fita veda-rosca; pinça; pipeta volumétrica; vidro de relógio; mangueiras para conexão; garras; elevador; suporte

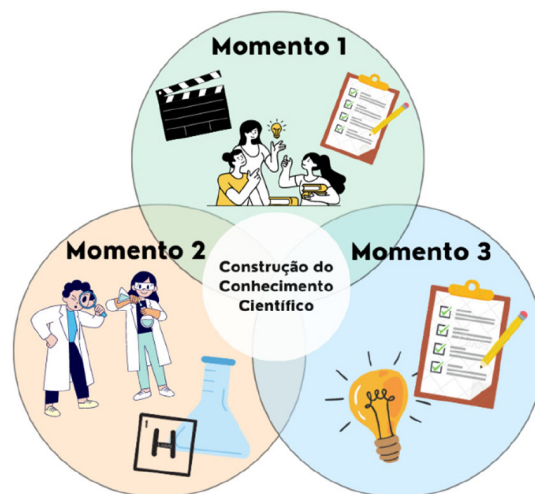


Figura 2. Ilustração dos três momentos de intervenção didático-pedagógica

universal; termômetro; cronômetro e materiais de alumínio de uso cotidiano (lacres, folhas, etc).

3.4. Procedimento

Para a realização da atividade experimental foi necessário que os estudantes montassem um sistema utilizando um kitassato de 125 mL, conectado através de uma mangueira a uma seringa de vidro, conforme Figura 3. Para não haver perda de gás durante o experimento, recomendou-se o uso de fita veda-rosca em todas as conexões. A massa das amostras (três pedaços de folha de alumínio, lacres de embalagens de aproximadamente 10 mg) foi determinada com balança analítica com o auxílio de uma pinça para evitar contato com as amostras. Por meio de uma pipeta volumétrica, 10 mL de ácido clorídrico a 6 mol L⁻¹ foi transferido ao kitassato, que foi imediatamente bem fechado, para evitar qualquer perda de gás formado pela reação, representada pela Equação 5. Ressalvou-se que, quanto maior a superfície de contato da amostra de alumínio com o ácido clorídrico, mais rápida seria a reação. É importante destacar que um retardo inicial na produção de H₂ deveria ser esperado, já que a superfície de alumínio fica recoberta pelo óxido de alumínio.



A evolução da reação pôde ser observada pelo deslocamento do êmbolo da seringa. Ao término da reação foi possível determinar o volume, em mL, que foi proporcional à quantidade de gás hidrogênio produzido durante o experimento. Além disso, a temperatura inicial e final da reação pôde ser monitorada a fim de retomar aspectos sobre processos que absorvem e liberam calor à pressão constante. Recomendou-se a realização do procedimento em triplicata para obter a média aritmética e o desvio padrão dos dados de volume de gás obtido.

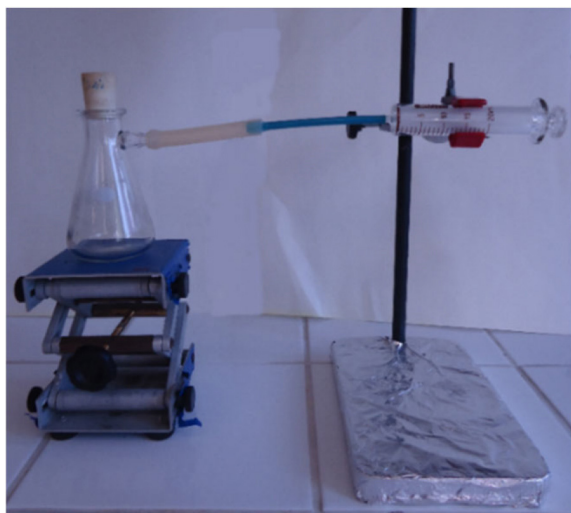


Figura 3. Fotografia da montagem do aparato para o experimento

4. Resultados e Discussão

4.1. Tratamento de dados obtidos pela monitoria

Na Tabela 1 estão apresentados os dados experimentais da massa do alumínio e o volume coletado do gás hidrogênio em uma seringa acoplada ao sistema reacional entre o alumínio e o ácido clorídrico (Equação 5) e o tempo de reação. A partir dos volumes obtidos experimentalmente, foi calculado o trabalho (w) em J para este processo, aplicando-se a Equação 3, utilizando a pressão em atm e a variação do volume em L, para posterior transformação do resultado em J, pois $1 \text{ atm L} = 101,325 \text{ J}$. Com a realização do experimento em triplicata, estão demonstrados os valores de média e desvio padrão do volume do gás e o trabalho realizado pelo sistema.

Tabela 1. Dados experimentais de volume (V), massa (m), tempo (t), temperatura (T) e trabalho (w) com a amostra de alumínio à pressão constante de 762 mmHg, temperatura ambiente de 21,9 °C e pressão de vapor da água de 19,83 mmHg

Experimento	V de H_2 produzido (mL)	m de Al (g)	t de reação (s)	w (J)
1	14,0	0,010	37	-1,42
2	13,5	0,010	40	-1,37
3	14,0	0,010	45	-1,42
Média	$13,8 \pm 0,3$	0,010	-	$-1,40 \pm 0,03$

Tabela 2. Quantidade de matéria (n_{exp}) de H_2 e os valores de rendimento da reação com o uso de folha de alumínio

Experimento	n_{exp} de H_2 ($\times 10^{-4}$ mol)	Rendimento (%)
Teórico (n_{teo})	5,56	-
1	5,64	101,44
2	5,44	97,84
3	5,64	101,44
Média	$5,57 \pm 0,11$	$100,24 \pm 2,08$

Para calcular o valor teórico da quantidade de matéria de H_2 , em mol (n_{teo}), foi utilizada a estequiometria da reação, mostrando que para 0,010 g ($3,70 \times 10^{-4}$ mol) de Al produz-se $5,50 \times 10^{-4}$ mol de H_2 , uma vez que 2 mol de Al geram 3 mol de H_2 .

Para determinar a quantidade de matéria experimental de H_2 produzido (n_{exp}), utilizou-se a pressão de H_2 pela equação das pressões parciais ($P_i = P_{H_2} + P_{\text{vapor de água}}$), considerando P_i igual a pressão atmosférica medida com o barômetro, e a $P_{\text{vapor de água}}$, a ser buscada nos valores tabelados,²⁷ para cada temperatura. O valor do volume é aquele encontrado experimentalmente. Em seguida, a Lei dos Gases ($P_{H_2}V = nRT$) precisa ser aplicada. A Tabela 2 apresenta a quantidade de matéria obtida nos três experimentos, bem como os valores calculados de rendimento de cada experimento. As condições experimentais de T e $P_{\text{vapor de água}}$ estão informadas na legenda da Tabela 1. O valor médio obtido, da quantidade de matéria de H_2 , mostrou um rendimento de 100,2%. Ou seja, todo o Al foi convertido em H_2 e $AlCl_3$. Este excesso de 0,2% pode ser devido ao deslocamento do êmbolo, que ocorre com certas irregularidades, principalmente a quantidade de $H_{2(g)}$ produzido, além de outros erros experimentais associados.

O monitoramento da temperatura, no início e fim da reação, também se apresenta como critério importante para a discussão em torno de processos que absorvem e liberam calor à pressão constante. Nesse experimento, pôde-se constatar um aumento da temperatura, conforme mostrado na Tabela 3, indicando uma liberação de calor para o meio e, portanto, um processo exotérmico ($\Delta H < 0$).

As Tabelas 4-6 mostram os resultados obtidos com lacres, sendo identificados com o símbolo do alumínio reciclável. Nesse caso, vale comparar os resultados com as Tabelas 1-3, na respectiva ordem, para observar as diferenças experimentais entre os dados obtidos com a folha de alumínio

Tabela 3. Temperatura inicial e final da reação com o uso de folha de alumínio

Experimento	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	ΔT (°C)
1	21,9	23,1	1,2
2	21,9	23,9	2,0
3	21,9	23,5	1,6

e com os lacres. Nessa comparação, é possível notar que o tempo da reação mudou drasticamente. O rendimento da reação foi menor e a quantidade de matéria teórica e experimental teve uma variação maior. A justificativa para essas diferenças pode ser dada à luz de uma observação experimental, ao final do experimento. Enquanto que os ensaios realizados com a folha de alumínio não deixaram nenhum resíduo adicional, aqueles realizados com os lacres deixaram um resíduo insolúvel de algum tipo de filme plástico. Entretanto, os valores de trabalho (w) e a variação da temperatura não tiveram variações tão pronunciadas. Assim, essas diferenças incitam outras discussões, a ressaltar: a necessidade de uma camada polimérica protetora para não deixar o alumínio diretamente em contato com o alimento, mas que diante de meios bastante ácidos, essa proteção não impediria a reação do metal alumínio, dentre outras questões. Ainda, que o rendimento teórico pode ser corrigido, se determinada a massa do resíduo de plástico que sobra ao final da reação. Por fim, vale salientar que, ainda

que sejam usados materiais com o símbolo de alumínio reciclável, o experimento consegue atender aos propósitos conceituais elencados no início desse texto.

4.2. Momentos de intervenção didático-pedagógica

Previamente a resolução do questionário inicial, vídeos sobre a Lei Zero²⁵ e a Primeira Lei da Termodinâmica²⁶ foram apresentados aos estudantes. Em seguida, o professor mediu um diálogo em grupo problematizando os fenômenos físico-químicos evidenciados nos vídeos e buscou instigar o desenvolvimento de argumentos e hipóteses, à luz de conhecimentos científicos prévios adquiridos ao longo das aulas teóricas de Físico-Química I, bem como durante todo o percurso formativo dos graduandos. Após este momento, um questionário inicial com quatro perguntas foi aplicado e os resultados obtidos estão apresentados e discutidos nos parágrafos que seguem.

Tabela 4. Dados experimentais de volume (V), massa (m), tempo (t), temperatura (T) e trabalho (w); com lacre de lata de leite em pó à pressão constante de 762 mmHg

Experimento	V de H_2 produzido (mL)	m de embalagem (g)	t de reação (min)	T ambiente (°C)	P_v (mmHg)	w (J)
1	12,0	0,010	6,43	20,2	17,80	-1,22
2	12,5	0,010	6,97	20,2	17,80	-1,27
3	10,0	0,010	6,82	20,1	17,80	-1,01
Média	$11,5 \pm 1,3$	0,010	-	-	-	$-1,17 \pm 0,14$

Tabela 5. Quantidade de matéria (n) de H_2 e os valores de rendimento da reação com o uso de lacre de lata de leite em pó

Experimento	n de H_2 ($\times 10^{-4}$ mol)	Rendimento (%)
Teórico	5,56	-
1	4,97	89,39
2	5,19	93,34
3	4,15	74,64
Média	$4,77 \pm 0,55$	$85,79 \pm 9,86$

Tabela 6. Temperatura inicial e final da reação com o uso de lacre de lata de leite em pó

Experimento	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	ΔT (°C)
1	20,2	22,1	1,9
2	20,2	21,4	1,2
3	20,2	21,3	1,1

Questão 1: Assuma que a bomba cilíndrica contém um mol de gás ideal, a fricção entre o pistão as paredes do cilindro é desprezível e o pistão é móvel diante de uma pressão externa constante.

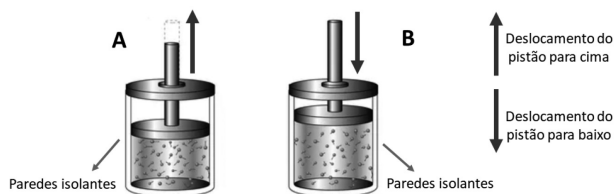


Figura 4. Bomba cilíndrica com 1 mol de gás ideal (adaptado da referência 28).

Considere duas situações com base nas legendas e informações da Figura 4:

A) o pistão move-se para cima. Explique o que acontece no sistema em termos da 1ª Lei da Termodinâmica. Na presença de um sensor de temperatura dentro da bomba, você esperaria um aumento, diminuição ou manutenção da temperatura? Explique.

B) o pistão move-se para baixo. Explique o que acontece no sistema em termos da 1ª Lei da Termodinâmica. Na presença de um sensor de temperatura dentro da bomba, você esperaria um aumento, diminuição ou manutenção da temperatura? Explique.

A primeira questão evidenciou uma diferença considerável no entendimento dos conceitos pertinentes à Primeira Lei da Termodinâmica. Enquanto os estudantes 1 e 3 fizeram a interpretação da Equação 2 de maneira coerente, relacionando a variação da energia interna com o trabalho, os estudantes 2 e 4 apresentaram dificuldades na relação destes conceitos teóricos com o problema apresentado. Em relação à temperatura, alguns estudantes interpretaram equivocadamente o sistema adiabático ($q=0$) como um sistema que tem a capacidade de manter a temperatura constante, enquanto os outros justificaram o aumento ou diminuição da temperatura com base na energia cinética das moléculas, como evidencia os recortes abaixo:

- Estudante 3 – a) [...] *Diminuição da temperatura, pois a energia cinética das moléculas diminuiria, pois teria mais espaço para elas se moverem, diminuindo as colisões entre as moléculas.*
- Estudante 4 – b) [...] *Como é um sistema isolado não terá variação de calor, então somente a manutenção da temperatura.*

As respostas obtidas para a Questão 1 estão sumarizadas na Figura 5, com base na porcentagem de acerto em relação a resposta padrão esperada.

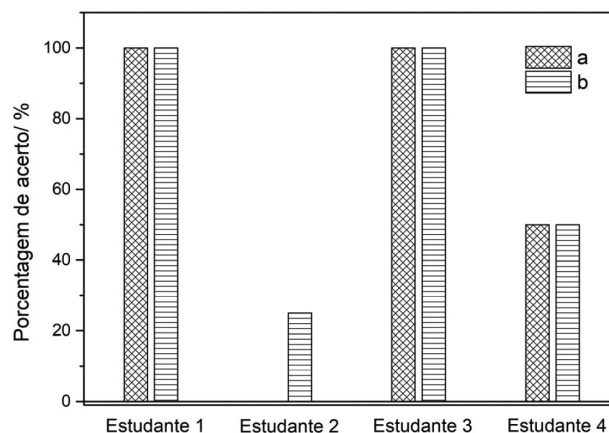


Figura 5. Dados da porcentagem de acerto das respostas obtidas dos estudantes para a Questão 1

Questão 2: Uma força exercida sobre o sistema gasoso que sofre compressão define _____ e contribui _____ para a _____. Quando o calor é nulo é dito que as fronteiras são _____ e com a pressão externa constante é dita condição _____.

A) trabalho, positivamente, energia interna, adiabáticas, isobárica.

B) calor, negativamente, entalpia, diatérmicas, isovolumétrica.

C) trabalho, positivamente, energia interna, adiabáticas, isotérmica.

D) calor, negativamente, energia interna, adiabáticas, isovolumétrica.

E) trabalho, negativamente, energia interna, isobaricamente, diatérmica.

Questão 3: (FAM-SP)²⁹ Se a energia cinética média das moléculas de um gás aumentar e o volume permanecer constante:

A) a pressão do gás aumentará e a sua temperatura permanecerá constante.

B) a pressão permanecerá constante e a temperatura aumentará.

C) a pressão e a temperatura aumentarão.

D) a pressão diminuirá e a temperatura aumentará.

E) a temperatura diminuirá e a pressão permanecerá constante.

As Questões 2 e 3 apresentaram um percentual de acerto de 100%, o que demonstra que os estudantes possuíam uma base teórica decorrente das discussões realizadas em grupo, da construção do conhecimento científico na disciplina de Físico-Química I e do percurso formativo como um todo, que iniciou-se com os componentes curriculares de Química Geral no curso de graduação. As Questões 2 e 3, ainda que sejam questões que possibilitem o método de tentativa e erro, abordaram

conceitos e fenômenos importantes para a execução e entendimento do experimento.

Questão 4: (UFMG 2004)³⁰ Um cilindro é fechado por um êmbolo que pode se mover livremente. Um gás, contido nesse cilindro, está sendo aquecido. Com base nessas informações, é correto afirmar que, nesse processo:

A) a pressão do gás aumenta e o aumento da sua energia interna é menor que o calor fornecido.

B) a pressão do gás permanece constante e o aumento da sua energia interna é igual ao calor fornecido.

C) a pressão do gás aumenta e o aumento da sua energia interna é igual ao calor fornecido.

D) a pressão do gás permanece constante e o aumento da sua energia interna é menor que o calor fornecido.

Em relação à Questão 4, nenhum estudante assinalou a resposta esperada, o que evidenciou uma lacuna no entendimento de questões pontuais, a destacar: os estudantes 1, 3 e 4, que assinalaram a alternativa “B”, desconsideraram o conceito de trabalho (w) que o sistema realiza ao deslocar o êmbolo diante do aquecimento. O estudante 2, que assinalou a alternativa “A”, desconsiderou um conceito importante da pressão constante diante do aumento do volume com o deslocamento do êmbolo na seringa.

Após a devolução do questionário preenchido, os graduandos receberam as instruções para a execução da atividade experimental (material suplementar) e foram conduzidos ao laboratório de Físico-Química. Durante o desenvolvimento do experimento os estudantes puderam debater a respeito dos conceitos teóricos e práticos envolvidos, propor hipóteses para o fenômeno em estudo, além de exercitar o trabalho em equipe. Diante da finalização do experimento, a representação da equação balanceada da reação e cálculos estequiométricos para previsão teórica do volume e quantidade de matéria de H_2 produzida foram cobrados na forma de relatório.

Posteriormente à execução do experimento, coleta e tratamento de dados, além das discussões e reflexões realizadas em grupo, um questionário final com duas perguntas foi aplicado aos estudantes. Os resultados obtidos demonstraram um conjunto de respostas mais uniforme e estão apresentados e discutidos nos parágrafos a seguir.

Questão 5: A partir do experimento realizado, considerando-se que o processo de deslocamento do êmbolo da seringa foi rápido e não houve troca de calor com o meio (seringa comportando-se adiabaticamente), responda:

A) Houve mudança na energia interna do sistema? Justifique.

B) Qual a diferença entre uma expansão realizada à pressão constante (condição do experimento) e uma expansão livre?

Diferente do questionário inicial, na Questão 5 todos os estudantes apresentaram argumentos coerentes, apropriando-se de conceitos e de equações contempladas no experimento para justificar suas respostas, conforme evidencia os recortes abaixo:

- Estudante 1 – a) *Sim. Como adiabático, $q=0$ e $\Delta U=\Delta w$. Como foi expansivo o êmbolo realiza trabalho. $\Delta U=+w$*
- Estudante 3 – a) *Sim. Pois como o sistema é adiabático, a energia interna é assumida pelo trabalho, e conforme foi calculado no experimento, ocorre sim uma variação no trabalho.*
- Estudante 4 – b) *Expansão realizada a pressão constante: o sistema realiza trabalho e dependendo, se for adiabático, a energia [interna] é igual ao trabalho. Mas se for um sistema com troca de calor a mesma é somada com o trabalho. Expansão livre (vácuo): o sistema não realiza trabalho. Pela equação $\Delta U=q$, a energia fica igual ao calor.*

O conjunto de respostas da Questão 5 está sumarizado na Figura 6, baseando-se na porcentagem de acerto em relação à resposta padrão esperada.

Questão 6: (ENADE 2014)³¹ A Termodinâmica é a área da Química que se dedica ao estudo das transformações de energia. O entendimento da primeira lei da Termodinâmica envolve a compreensão de algumas formas de energia, tais como calor e trabalho. A respeito da primeira lei da Termodinâmica, avalie as afirmações a seguir.

I. A energia interna permanece constante independente de qual seja o sistema de estudo.

II. A variação da energia interna de um sistema fechado é igual à energia transferida como calor ou trabalho através das suas fronteiras.

III. Para processos adiabáticos, a variação da energia interna está associada ao trabalho realizado pelo sistema ou sobre o sistema.

IV. Em um processo de expansão livre em que não há trocas de calor com a vizinhança, a energia interna do sistema diminui.

É correto apenas o que se afirma em:

- A) I e II
 - B) II e III
 - C) III e IV
 - D) I, II e IV
 - E) I, III e IV
-

A Questão 6, extraída do Exame Nacional de Desempenho de Estudantes (ENADE), apresentou um percentual de acerto de 75%. É de extrema importância avaliar o rendimento dos graduandos frente a estas questões, pois os resultados gerados a partir da aplicação deste exame indicam aspectos relevantes sobre os cursos de graduação. Além disso, desenvolver questões, cobradas em exames passados, permite preparar e capacitar os estudantes para este processo avaliativo.

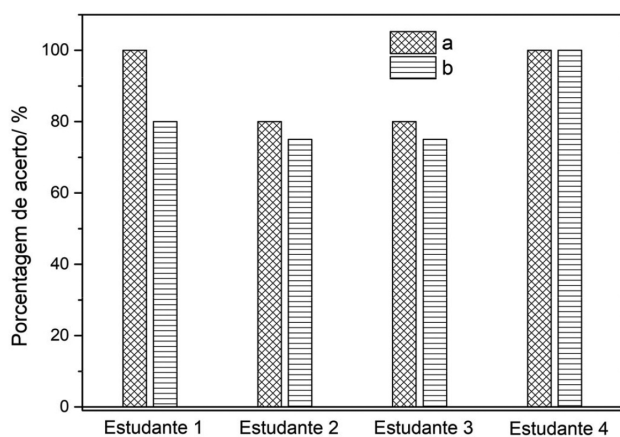


Figura 6. Dados da porcentagem de acerto das respostas obtidas dos estudantes para a Questão 5

Comparando-se os resultados obtidos no questionário inicial e final, constata-se que a realização do experimento como prática investigativa pode contribuir, positivamente, para a compreensão de fenômenos e conceitos científicos. Enquanto o conjunto de respostas do questionário inicial evidenciou diferenças consideráveis no entendimento de conceitos, os resultados obtidos no questionário final apresentaram respostas mais afinadas entre si. Este fenômeno indica a construção do conhecimento científico nos graduandos e, além disso, o desenvolvimento de habilidades como a capacidade de organizar ideias, de argumentação científica e pensamento crítico, como preconiza a metodologia da experimentação como prática investigativa.^{19,20}

Segundo as classificações de nível da prática investigativa proposta pelo grupo GEPEQ,³² a condução apresentada nesse trabalho se classificaria como Nível 1, quando o professor propõe a situação a ser investigada, bem como o procedimento experimental. O estudante se envolve na coleta e análise dos dados, elabora conclusões e soluções ao problema apresentado. Adicionalmente, nos três momentos de intervenção pedagógica, a mediação partiu da problematização estabelecida nas relações interpessoais, construídas no entorno do experimento. Ainda, destacaram-se as ações com questionamento direcionado para a construção do pensamento (antes e depois da realização do experimento), a orientação para coleta de dados e o retorno da verificação de aprendizagem. Foi possível constatar a evolução conceitual, comparando-se as respostas (antes e depois) para determinados fenômenos observados. Por fim, a experimentação foi fundamental, juntamente com outras atividades didáticas, para a construção do conhecimento científico.

5. Conclusão e Considerações Finais

A experimentação como proposta investigativa pode compreender diferentes níveis de autonomia dos estudantes. No caso da atividade experimental

aqui apresentada, a investigação foi mediada, em espaços e tempos que transpassaram a execução do experimento, através de três momentos de intervenção didático-pedagógica distintos. A orientação e mediação serviram de fio condutor para a construção de conceitos, intencionalmente pretendidos durante a ação pedagógica, a destacar: o cálculo da quantidade de matéria experimental e teórica de gás hidrogênio, o trabalho feito pelo sistema ao deslocar o êmbolo de uma seringa coletora do gás e o rendimento da reação. Além disso, os dados experimentais foram utilizados para aplicar conceitos pertinentes à Lei dos Gases ideais e à Termodinâmica. Os materiais e instrumentos para a montagem do experimento são de baixo custo, viabilizando a sua execução, mesmo não havendo uma boa infraestrutura laboratorial na escola ou instituição de ensino superior. Cabe salientar que as atividades desta natureza podem promover discussões de termos como sustentabilidade, impactos ambientais, reciclagem e reutilização de materiais descartados pela sociedade.

Considera-se que a experimentação é um instrumento pedagógico valioso para um ensino mais qualificado, bem como estímulo à aprendizagem de rotinas experimentais e à construção de competências e habilidades, próprias do pensamento científico em elaboração.

Os momentos de intervenção didático-pedagógica, na forma em que foram organizados, possibilitaram a participação ativa dos estudantes durante todo o processo, tanto física (trabalho prático) como intelectualmente.

Por fim, vislumbra-se que, a experimentação como proposta investigativa, pode avançar de nível, a depender das intenções de cada situação de aprendizagem. Contudo, a mediação pedagógica irá apontar os avanços nos níveis da investigação, que pode surgir a partir de uma situação-problema e/ou provocações, onde os estudantes podem levantar hipóteses, propor experimentos, fazer observações e argumentações científicas, bem como propor conclusões e comunicar os resultados obtidos.

Agradecimentos

Aos estudante do curso de Química que participaram da atividade experimental proposta nesse artigo (FQ I/2022-2), à monitoria do laboratório, à equipe técnica do Departamento de Química e à FURB.

Referências Bibliográficas

1. Atkins, P.; Paula, J.; *Físico-Química*, 7a. ed., LTC: Rio de Janeiro, 2003.
2. Kotz, J. C.; Treichel Jr., P. M.; *Química Geral 1 e Reações Químicas*, 5a. ed., Pioneira Thomson Learning: São Paulo, 2005.
3. Engel, T.; Reid, P.; *Thermodynamics, Statistical Thermodynamics, and Kinetics*, 3a. ed., Pearson: Harlow, 2014.

4. Schirmer, W. N.; Lisboa, H. M.; Química da atmosfera: constituintes naturais, poluentes e suas reações. *Tecno-lógica* **2008**, *12*, 37. [Link]
5. Mozeto, A. A.; Química Atmosférica. *Química Nova na Escola* **2001**, Cadernos Temáticos, 41. [Link]
6. Li, W.; Cochell, T.; Manthiram, A.; Activation of aluminum as an effective reducing agent by pitting corrosion for wet-chemical synthesis. *Scientific reports* **2013**, *3*, 1. [CrossRef]
7. Statista. Bauxite production worldwide from 2011 to 2020. [Link] Acesso em: fevereiro de 2022.
8. Associação Brasileira do Alumínio. [Link] Acesso em: fevereiro de 2022.
9. Costa, T. S.; Ornelas, D. L.; Guimarães, P. I. C.; Merçon, F.; Experimentos com o Alumínio. *Química Nova na Escola* **2006**, *23*, 38. [Link]
10. Campos, S. V.; Alves, A. S. T.; de Aguiar, M. F. F.; Santos, V. R. S.; Lira, A. L.; *Anais do I Congresso Nacional de Pesquisa e ensino em Ciências*, Campina Grande, Brasil, 2016.
11. Dincer, I.; Green methods for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy* **2012**, *37*, 1954. [CrossRef]
12. Meroueh, L.; Eagar, T. W.; Hart, D. P.; Effects of Mg and Si doping on hydrogen generation via reduction of aluminum alloys in water. *ACS Applied Energy Materials* **2020**, *3*, 1860. [CrossRef]
13. Husmann, S.; Orth, E. S.; Ensino da Tensão Superficial na Graduação Através de Experimentos Fáceis que não Requerem Infraestrutura Laboratorial. *Revista Virtual de Química* **2015**, *7*, 823. [CrossRef]
14. Gil Pérez, D.; Valdés Castro, P.; La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias* **1996**, *14*, 155. [Link]
15. Giordan, M.; O papel da Experimentação no ensino de ciências. *Química Nova na Escola* **1999**, *10*, 43. [Link]
16. Lucas, M.; Barcellos, I. O.; Chiarello, L. M.; Silva, A. R.; Indicador natural como material instrucional para o ensino de química. *Experiências em Ensino de Ciências* **2013**, *8*, 61. [Link]
17. da Silva, L. R. R.; Ventura, B.; de Almeida, M. O.; Lima, N. M. A.; da Silva, K. T.; Maia, F. J. N.; Sampaio, S. G.; Bezerra, T. T.; Guedes, I.; Ribeiro, V. G. P.; Mazzetto, S. E.; Fraude no Leite: Experimento Investigativo para o Ensino de Química. *Revista Virtual de Química* **2019**, *11*, 1024. [CrossRef]
18. Lôbo, S. F.; O trabalho experimental no ensino de química. *Química Nova* **2012**, *35*, 430. [CrossRef]
19. Suart, R. C.; Marcondes, M. E. R.; Lamas, M. F. P.; A Estratégia “Laboratório Aberto” para a Construção do Conceito de Temperatura de Ebulição e a Manifestação de Habilidades Cognitivas. *Química Nova na Escola* **2010**, *32*, 200. [Link]
20. Suart, R. C.; Marcondes, M. E. R.; O processo de reflexão orientada como metodologia para a formação inicial docente: proposta para a promoção da alfabetização científica por meio da abordagem de ensino por investigação. *Investigações em Ensino de Ciências* **2022**, *27*, 93. [CrossRef]
21. Sousa, G. L.; Simões, A. S. M.; Uma proposta de aula experimental de química para o ensino básico utilizando bioensaios com grãos de feijão. *Química Nova na Escola* **2016**, *38*, 79. [Link]
22. Suart, R. C.; Marcondes, M. E. R.; A manifestação de habilidades cognitivas em atividades experimentais investigativas no ensino médio de química. *Ciências & Cognição* **2009**, *14*, 50. [Link]
23. Gehlen, S. T.; Maldaner, O. A.; Delizoicov, D.; Momentos pedagógicos e as etapas da situação de estudo: complementaridades e contribuições para a educação em ciências. *Ciência & Educação* **2012**, *18*, 1. [CrossRef]
24. Pilla, L.; *Físico-Química I*, 2a. ed., Editora da UFRGS: Porto Alegre, 2006.
25. What is the Zeroth Law of Thermodynamics?. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=PE_zpk-EznQ>. Acesso em: outubro de 2022.
26. What is the First Law of Thermodynamics?. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=1OF1W8OXN64>>. Acesso em: outubro de 2022.
27. Handbook of Chemistry and Physics, 65th Edition. Tabela disponível em: [Link]
28. dos Santos, J. C. F.; Termodinâmica. Globo Educação. Disponível em: <<http://educacao.globo.com/fisica/assunto/termica/termodinamica.html>>. Acesso em: outubro de 2022.
29. Faculdade das Américas. Disponível em: <https://www.doraci.com.br/downloads/vestibular/ano05_livro26.pdf>. Acesso em: outubro de 2022.
30. Universidade Regional de Minas Gerais. Vestibular, prova de Física, caderno 1, 2004.
31. Brasil. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, Enade. Disponível em: <https://download.inep.gov.br/educacao_superior/enade/provas/2014/37_quimica_bacharelado.pdf>. Acesso em: outubro de 2022.
32. Souza, F. L. de; Akahoshi, L. H.; Marcondes, M. E. R.; do Carmo, M. P.; *Atividades experimentais investigativas no ensino de química*, Centro Paula Souza - Setec/MEC: São Paulo, 2013.