

Explorando as Potencialidades da Experimentação a partir de Células Eletrolítica e a Combustível como Recurso Didático na Sala de Aula do Ensino Médio

Exploring the Potentialities of Experimentation Using Electrolytic and Fuel Cells as a Teaching Resource in the High School Education

Marlon Max dos Santos Silveira,^a Valéria Almeida Alves,^b Luís Antônio da Silva^{b*}

^a Escola Estadual Dom Pedro II, CEP 38288-000, União de Minas-MG, Brasil.

^b Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Instituto de Ciências Exatas, Naturais e Educação, Departamento de Química, Campus Univerdecidade, CEP 38064-200, Uberaba-MG, Brasil.

Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI)

*E-mail: luis.silva@uftrm.edu.br

Recebido: 11 de Janeiro de 2021

Aceito: 2 de Março de 2021

Publicado online: 25 de Maio de 2021

The most noble and important mission of this classroom report was to engage teachers looking for tools to foster the teaching-learning process and to contribute to facilitate students' comprehension. All activities developed were mediated by the leading teacher and applied in two classes of students from the 2nd year of high school, from the public network of the State of Minas Gerais. The didactic sequence was based on the application of university entrance examination questions in two moments, on the contextualization of electrochemistry by the leading professor, on the reading of two scientific papers, on the manipulation and observation of two experiments which addressed spontaneous and non-spontaneous electrochemical reactions and explored fundamental concepts of electrochemistry, and on the assessment of learning. The first experiment was carried out in an electrolytic cell, with an electrical potential being applied to produce hydrogen and oxygen gases from the electrolysis of water. The second experiment was carried out in a fuel cell, using the spontaneity of the half-reactions of hydrogen gas oxidation and oxygen gas reduction to generate electrical energy. The activities performed enabled the students to understand the functioning of the electrolytic and fuel cells, to verify the occurrence of oxidation and reduction half-reactions, to measure the electrical potentials generated in the series and parallel associations of two fuel cells and to represent, through the electrochemical reactions, the cathodic and anodic processes. The activities were well received by the students, provided greater interactivity among them and resulted in relevant learning.

Keywords: Chemistry teaching; electrochemistry; electrodic reactions; fuel cell; electrolytic cell

1. Introdução

A experimentação é um recurso importante no Ensino de Química, proporciona aos estudantes a oportunidade para mostrar os conhecimentos adquiridos, expor as observações dos fenômenos, debater as intervenções dos pares, além de enriquecer a aprendizagem da teoria, manipular materiais e soluções químicas e desenvolver a capacidade de trabalhar em equipe. Além disso, as atividades experimentais contribuem com a validação e comprovação de uma teoria e são intrinsecamente motivadoras para captar jovens cientistas.^{1,2}

Na Base Nacional Comum Curricular para o Ensino Médio (BNCC-EM), publicada em 2018, encontram-se apontamentos importantes referentes ao tratamento experimental em contextos do processo ensino-aprendizagem, em que são destacadas as características desejáveis, como por exemplo, explorar as opiniões e estimular os estudantes a interpretar informações, relacionar o conhecimento científico com os hábitos cotidianos.³

O resultado do Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (PISA), aplicado em 2018, revela o baixo desempenho dos estudantes em ciências, o que reforça a necessidade de propostas para melhorar o processo de ensino-aprendizagem, sendo este o foco do presente trabalho, que considera a experimentação uma estratégia para o desenvolvimento de habilidades e abordagem de conteúdo envolvendo práticas alternativas com material de fácil acesso, que podem ser reproduzidos e adaptados nos mais diversos ambientes escolares.⁴

A utilização da experimentação como recurso didático possui importância reconhecida na vida escolar dos estudantes, e pode contribuir com a superação das dificuldades de aprendizagem.⁵ Sartori *et al.* (2013) desenvolveram uma célula eletrolítica com materiais alternativos e de baixo custo, onde realizaram a eletrólise de uma solução de KI.⁶ Em condições experimentais semelhantes, Finazzi *et al.* (2016) exploraram a eletrodeposição de cobre sobre um eletrodo de latão.⁷ Os experimentos podem ser replicados no ensino médio e superior como

recurso didático para o estudo das reações eletroquímicas e a determinação da constante de Avogadro.

Considerando a importância das atividades experimentais no processo de ensino-aprendizagem, os estudos têm demonstrado a sua importância para as especificidades da Química.^{8,9}

Atendendo às necessidades das escolas carentes de estrutura laboratorial, muitas pesquisas estão sendo realizadas no desenvolvimento de recursos didáticos com materiais alternativos e de fácil acesso.^{7,9,10} A socialização das novas tecnologias digitais tem contribuído para o desenvolvimento de materiais didáticos diversificados que favorecem o ensino de Química; o desenvolvimento de aplicativos com o intuito de ajudar no ensino de Química se mostra como uma alternativa proeminente.¹¹⁻¹³ Leite (2020) analisou a disponibilidade de aplicativos de realidade virtual e realidade aumentada de Química e constatou que esses aplicativos podem contribuir para o processo de ensino-aprendizagem.¹⁴

O tema abordado no presente trabalho é visto por estudantes e professores da educação básica como sendo um dos assuntos que representa grandes obstáculos a serem ultrapassados, envolvendo o domínio de conceitos, habilidades e resolução de situações-problema.⁹

A eletroquímica assume um papel privilegiado na sociedade atual, a busca incansável do homem na conversão e armazenamento de energia requer melhor compreensão do fenômeno envolvido no funcionamento da célula a combustível.¹⁵ A disponibilização de experimentos de eletroquímica, que abordam a produção e o consumo dos gases hidrogênio e oxigênio, demonstra a interconversão de energia elétrica e energia química, favorecendo o entendimento dos processos eletródicos.

Além disso, a eletroquímica está presente nos diversos dispositivos de uso contínuo das pessoas. Pode-se destacar os equipamentos eletrônicos como telefone celular (*smartphone*), computador (*notebook*), sensoriamento remoto (*remote sensors*), e muitos outros aparelhos que utilizam energia química armazenada nas baterias. Portanto, essa temática tem uma relação muito próxima com as necessidades atuais do homem.¹⁶

Considerando os bens de consumo da sociedade moderna, principalmente os dispositivos que funcionam com baterias (*smartphone, tablet, notebook*), compreender a eletroquímica se torna importante pelo fato de fazer parte das necessidades diárias das pessoas. Os processos eletroquímicos estão presentes nas baterias desses dispositivos, seja no momento de carregamento elétrico das baterias (processo eletrolítico) ou durante a sua utilização com o consumo da carga elétrica armazenada nas baterias (processo galvânico). O uso da experimentação no ensino de eletroquímica pode ser facilmente associado com o funcionamento das baterias que mantêm os dispositivos elétricos em funcionamento, contribuindo com o processo de ensino-aprendizagem ao proporcionar possibilidades de discutir, comunicar, criar e inovar.¹⁷

Os conteúdos que envolvem eletroquímica são considerados de difícil compreensão. Dessa forma, a

experimentação no ensino de eletroquímica tem grande potencial para o desenvolvimento de discussões, com uma vasta gama de atividades práticas que visam à reflexão do estudante sobre o conteúdo abordado nas aulas teóricas, além de ser uma metodologia concreta com transformações observáveis para os estudantes.¹⁸ Cabe ao professor a dedicação no planejamento, nas adaptações necessárias, na criação e inovação de experimentos que fortaleçam os elos entre os diversos conteúdos conceituais e a relação com o cotidiano do estudante.

Nessa conjuntura, a experimentação é uma das estratégias metodológicas que pode contribuir com o entendimento das transformações eletroquímicas desde que contemple as discussões teóricas, além da simples observação dos fenômenos e comprovação da teoria, para servir como um instrumento de construção de conhecimentos.^{9,19,20}

As contribuições de propostas experimentais de natureza pedagógica geram oportunidades para a compreensão dos conceitos fundamentais relacionados com as reações de oxidação e redução. Nessas circunstâncias, a experimentação no ensino de eletroquímica fornece evidências que podem ser usadas no processo de elaboração conceitual das propriedades elétricas das reações químicas, a compreensão das terminologias número de oxidação, oxidação e redução, potencial padrão de redução, célula voltaica ou galvânica, célula eletrolítica, diferença de potencial, cátodo e ânodo, reações eletroquímicas espontâneas e não espontâneas.^{7,9,19} O fato do estudante manipular os eletrodos, as conexões elétricas, os gases produzidos e todo o aparato experimental possibilita o desenvolvimento de conteúdos procedimentais sobre a eletroquímica. Conectando dispositivos elétricos às células eletrolítica e a combustível o estudante acompanha os fenômenos associados ao movimento de cargas elétricas, consegue diferenciar as semirreações de oxidação e de redução, a importância do ânodo e do cátodo, a função da solução eletrolítica e os produtos das reações eletroquímicas. As evidências e condições são importantes para que os estudantes iniciem o processo de construção de seus próprios modelos explicativos sobre os fenômenos observados.^{21,22}

Na literatura é possível encontrar uma grande diversidade de assuntos envolvendo as reações de oxidação e redução em células galvânicas e eletrolíticas.²³⁻²⁷ Barreto *et al.* (2017) desenvolveram dois experimentos de eletroquímica e aplicaram numa turma de estudantes do 3º ano do ensino médio. O primeiro foi uma célula galvânica para a deposição química de prata sobre um substrato de cobre, e o segundo foi uma célula eletrolítica para a eletrodeposição utilizando o mesmo conjunto. Os autores observaram que os experimentos favoreceram a aprendizagem de eletroquímica.²⁸

Porém, no caso específico das células a combustível, o acesso é limitado à quase inexistência de publicações voltadas para o ensino de reações eletroquímicas. Villullas *et al.* (2002) e Went *et al.* (2000) fizeram uma abordagem teórica sobre as células a combustível voltadas para os estudantes e professores universitários, não relacionando com o ensino de eletroquímica no ensino básico.^{29,30}

A criação de novas propostas envolvendo a experimentação, que contemplem as reações eletroquímicas, pode auxiliar no processo de aprendizagem dos estudantes. As dificuldades dos estudantes com a representação das semirreações de oxidação e de redução, que ocorrem nas células eletrolítica e a combustível, podem estar associadas com o processo de abordagem do professor, ou a fatores intrínsecos da eletroquímica. A proposta deste trabalho contribui com a disponibilização de material bibliográfico que trata de experimentos com células a combustível voltados para o ensino médio e à dinâmica experimental de produção e de consumo dos gases hidrogênio e oxigênio. Os estudantes podem acompanhar as reações de desprendimento dos gases H_2 e O_2 em tempo real, as proporções volumétricas desses dois gases durante a eletrólise da água, e manipular os gases da célula eletrolítica para a célula a combustível.

Desta forma, o objetivo deste trabalho, um relato de sala de aula, foi aplicar a experimentação no ensino de eletroquímica numa sala de aula do 2º ano do ensino médio de uma escola pública, utilizando as células eletrolítica e a combustível como recurso didático para o ensino de reações eletroquímicas espontâneas e não espontâneas e avaliar a aprendizagem dos estudantes quanto às abordagens realizadas.

2. Metodologia

A experimentação utilizando células eletrolítica e a combustível foi o principal foco do presente trabalho. Para facilitar a compreensão dos fenômenos eletroquímicos foram programadas 23 aulas de 50 minutos no horário normal do 2º ano do ensino médio, distribuídas em 10 momentos com os estudantes. A maior parte das aulas, 10 aulas, foi utilizada para trabalhar o conteúdo de eletroquímica. O professor regente contextualizou o tema eletroquímica, acompanhou a leitura e a discussão de dois artigos científicos, um relacionado com célula eletrolítica e o outro com célula a combustível.^{6,30} Mais 7 aulas foram utilizadas com a execução dos experimentos com as células eletrolíticas e a combustível. Outras 5 aulas foram utilizadas para aferição do domínio do conteúdo de eletroquímica e para a avaliação da metodologia didática. Uma (1) aula foi utilizada para a apresentação do termo de consentimento livre e esclarecido.

Caso não seja possível utilizar 23 aulas para aplicar essa proposta, sugere-se que o professor faça as adaptações que julgar conveniente, como por exemplo, reduzir (ou mesmo eliminar) a carga horária das aulas “convencionais” relacionadas à eletroquímica e/ou executar menos etapas relacionadas com o experimento da célula a combustível. Por exemplo, os artigos utilizados para o entendimento das células eletrolítica e a combustível, podem ser lidos previamente pelos estudantes, em casa. Com isso, o número de aulas para aplicação da atividade poderá ser reduzido, de acordo com a conveniência do professor.

2.1. Campo e sujeitos da pesquisa

A aplicação do experimento foi realizada na Escola Estadual Dom Pedro II, localizada no município de União de Minas, Minas Gerais, pertencente à Superintendência Regional de Ensino de Uberaba/MG. No 3º bimestre, antes da aplicação do experimento, o professor efetivo no cargo trabalhou com os conceitos de eletroquímica, fez uma relação com os dispositivos de armazenamento de energia e detalhou os processos eletródicos que ocorrem numa célula galvânica e durante a eletrólise. A aplicação do experimento ocorreu no ano de 2019, durante o 4º bimestre, com 21 estudantes do 2º ano do ensino médio, sendo 9 estudantes do turno matutino e 12 estudantes do turno vespertino, e faixa etária entre 15 e 17 anos. Após o detalhamento das atividades planejadas e das etapas da sequência didática, para a direção e para os estudantes da escola, a direção autorizou a realização do trabalho em sala de aula e os responsáveis pelos estudantes assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE).

2.2. Aplicação e avaliação da experimentação no ensino de Química

As atividades foram planejadas levando em consideração os momentos de encontro do professor regente com os estudantes, e programadas em concordância com o horário de aulas de Química do 2º ano do ensino médio, seguindo o calendário escolar do ano letivo de 2019. As atividades planejadas foram distribuídas em dez momentos, os quais encontram-se sintetizados e organizados no esquema da Figura 1, o qual facilitou o desenvolvimento do trabalho em sala de aula.

O 1º momento do projeto aconteceu no dia 26 de setembro de 2019, nele o professor mediador apresentou aos estudantes dos turnos matutino e vespertino as atividades programadas e o TCLE. Cada estudante assumiu o compromisso de passar todas as informações e coletar a assinatura do responsável. A mesma apresentação foi feita para a direção da escola, para obtenção da autorização. Os estudantes foram comunicados sobre cada momento com uma semana de antecedência. Todas as atividades foram coordenadas e mediadas pelo professor regente da turma, não contando com a participação de outros professores ou assistentes.

No 2º momento cada estudante respondeu a um questionário sobre o seu entusiasmo em relação à disciplina de Química, com cinco afirmativas, na escala *Likert* de 5 pontos, com as alternativas: Concordo Plenamente (CPI), Concordo Parcialmente (CPa), Não Concordo nem Discordo (NCD), Discordo Parcialmente (DPa) e Discordo Totalmente (DT).³¹ O diagnóstico serviu de base para o professor regente desenvolver estratégias e metas com os estudantes. O professor regente atribuiu pseudônimos de identificação dos estudantes e dos grupos para as aulas práticas, apresentados na Tabela 1.

No 3º momento cada estudante respondeu a seis questões de vestibulares, sendo três questões relacionadas com

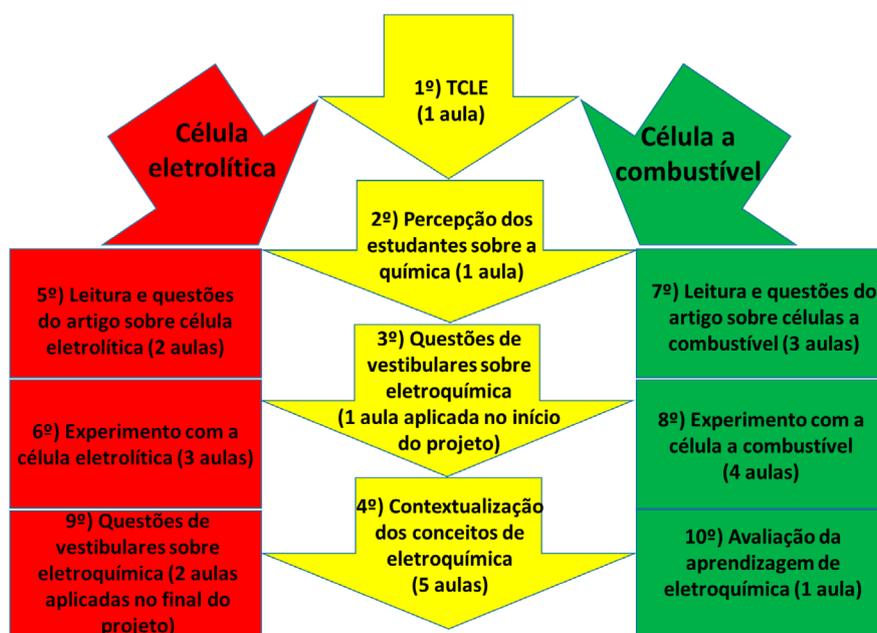


Figura 1. Representação esquemática da sequência didática desenvolvida com os estudantes dos dois turnos, matutino e vespertino, do 2º ano do ensino médio

Tabela 1. Organização dos estudantes em grupos de trabalho e respectivos pseudônimos de identificação

Turno Matutino		Turno Vespertino	
Grupo EM1	Grupo EM2	Grupo EV1	Grupo EV2
EM11	EM21	EV11	EV21
EM12	EM22	EV12	EV22
EM13	EM23	EV13	EV23
EM14	EM24	EV14	EV24
---	EM25	EV15	EV25
---	---	EV16	---
---	---	EV17	---

*E: Estudante; M: Matutino; V: Vespertino; Primeiro número: O grupo que o estudante pertence; Segundo número: Ordem alfabética do primeiro nome do estudante.

célula eletrolítica e três questões relacionadas com célula a combustível. As seis questões foram aplicadas, pela primeira vez, antes da contextualização dos conceitos de eletroquímica pelo professor regente do 2º ano do ensino médio e, pela segunda vez, ao final das atividades experimentais, logo após as investigações com a célula a combustível, para avaliar o impacto das atividades do projeto na aprendizagem dos estudantes.³¹ Os seguintes termos foram utilizados: “Incorpora”, “Tangencia” ou “Distancia”. O termo “Incorpora” foi atribuído quando a resposta estava de acordo com a resposta esperada, o termo “Tangencia” foi atribuído quando a resposta se aproximou do esperado, e o termo “Distancia” foi atribuído quando a resposta não apresentou relação com o esperado.

No 4º momento o professor regente do 2º ano do ensino médio contextualizou os conceitos de eletroquímica relacionados com as células eletrolítica e a combustível, abordando as semirreações de oxidação e de redução, reações eletroquímicas espontâneas e não espontâneas, relacionou as reações espontâneas com a conversão de energia química em energia elétrica e as reações não

espontâneas com a conversão de energia elétrica em energia química. O 4º momento foi trabalhado em 5 aulas de 50 minutos nos dias 09, 10, 23, 29 e 30 de outubro de 2019.

O 5º momento envolveu a exploração da célula eletrolítica; duas aulas foram destinadas à leitura, discussão e resolução, em grupo, de questões sobre o artigo “Construção de uma célula eletrolítica para o ensino de eletrólise a partir de materiais de baixo custo”.^{6,31}

No 6º momento houve a distribuição dos roteiros para os grupos de estudantes, sobre a atividade prática com a célula eletrolítica.¹⁶ Três aulas foram utilizadas para a leitura do roteiro, montagem da célula eletrolítica e produção dos gases hidrogênio e oxigênio. No final da aula prática, os grupos responderam 2 questões relacionadas com o experimento.

O 7º momento envolveu a exploração da célula a combustível; três aulas foram utilizadas para leitura, discussão e resolução, em grupo, das questões sobre o artigo “Células a combustível: energia limpa a partir de fontes renováveis”.^{29,31}

No 8º momento utilizaram-se 4 aulas para o experimento com a célula a combustível. Após a leitura do roteiro, os

estudantes fizeram as ligações elétricas e utilizaram um multímetro para as medidas dos potenciais elétricos de cada célula a combustível.¹⁶ Em seguida, os estudantes mediram os potenciais para a associação em série e em paralelo das células. Para concluir o experimento, os estudantes conectaram um relógio digital na associação em série e em paralelo das células a combustível. No final da aula prática, os grupos responderam 6 questões relacionadas com o funcionamento da célula a combustível.

No 9º momento aplicou-se novamente as seis questões de vestibulares, já aplicadas no 3º momento. A repetição das mesmas questões foi importante para avaliar o aprendizado dos estudantes ao longo da sequência didática. As respostas dos estudantes, referentes aos instrumentos aplicados nos momentos do 5º ao 9º, foram avaliadas seguindo os critérios já descritos no 3º momento.

No 10º e último momento o professor regente solicitou que cada estudante respondesse ao questionário com 5 afirmativas para avaliação das aulas experimentais realizadas, onde utilizou-se novamente a escala *Likert* de 5 pontos, conforme descrito no 2º momento.

É importante mencionar que o artigo contendo a descrição da montagem dos *kits* e dos experimentos com células eletrolítica e a combustível, abordando as respectivas reações de oxidação e redução, tanto em solução ácida e básica, foi previamente publicado na revista *Química Nova*.¹⁶ Os *kits* experimentais podem ser facilmente construídos pelos professores e estudantes do ensino básico ou superior, e utilizados em instituições de ensino nas

diferentes condições de estrutura para as aulas práticas. O fio de platina não é facilmente encontrado no comércio e possui um custo mais elevado. Alternativamente, a platina metálica pode ser reaproveitada de joias quebradas ou de retalhos disponíveis em ourivesaria. A sequência didática, com foco na experimentação para o ensino de eletroquímica, está descrita na dissertação de Silveira.³¹ Todas as atividades foram conduzidas em sala de aula e mediadas pelo professor regente do 2º ano do ensino médio, que é um dos autores do presente artigo.

3. Resultados e Discussão

Para facilitar a compreensão das informações obtidas nas atividades da sequência didática desenvolvidas em sala de aula, mediadas pelo professor do ensino médio, os resultados seguiram a ordem esquematizada apresentada na Figura 1.

3.1. Percepção dos estudantes em relação à disciplina de Química

Os resultados obtidos com a aplicação das 5 questões para coleta da percepção dos estudantes em relação à disciplina de Química encontram-se reunidos na Figura 2. As afirmativas foram escolhidas para representar a importância do domínio da Química e o seu emprego no dia a dia das pessoas.

As respostas das afirmativas 1 e 2 indicam que nem todos os estudantes conseguem fazer uma relação da Química

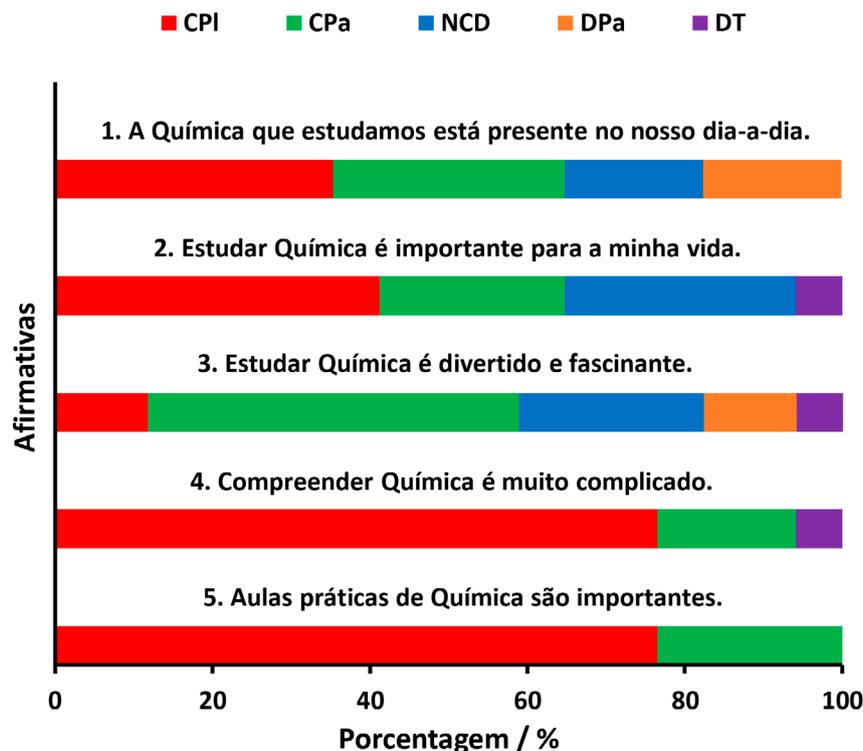


Figura 2. Percepção dos estudantes do 2º ano do ensino médio em relação à disciplina de Química, na escala *Likert* de 5 pontos, com as alternativas: CPI = Concordo Plenamente, CPa = Concordo Parcialmente, NCD = Não Concordo nem Discordo, DPa = Discordo Parcialmente e DT = Discordo Totalmente

com as necessidades diárias das pessoas. As respostas das afirmativas 3 e 4 representam a dificuldade dos estudantes com a Química; na afirmativa 5 eles expressam a necessidade de aulas práticas de Química como meio dinâmico e facilitador para a compreensão de conceitos da Química. É preciso estabelecer relações entre o assunto e a realidade do estudante e criar condições de interdisciplinaridade entre os conteúdos, principalmente relacionando com os aspectos matemáticos e competências e habilidades exigidas pela BNCC na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.³ As dificuldades de aprendizagem apresentadas pelos estudantes podem ser minimizadas com adoção de estratégias interdisciplinares, evitando a fragmentação do conhecimento dentro da área. A manifestação dos estudantes sobre a importância da Química é um comportamento construído ao longo do tempo, sendo amparado pelas competências e habilidades descritas na BNCC.

3.2. Contextualização da eletroquímica

Antes de iniciar a experimentação com as células eletrolítica e a combustível, o professor regente do 2º ano do ensino médio dedicou 5 aulas de 50 minutos à contextualização da eletroquímica. Aulas convencionais dialogadas sobre o tema eletroquímica já tinham sido ministradas no bimestre anterior à aplicação dos experimentos. A contextualização da eletroquímica focou na importância dos eletrodos, da solução eletrolítica, na disposição dos eletrodos nas células, nos reagentes e produtos das reações e nas semirreações de oxidação e redução. Os questionamentos dos estudantes foram discutidos e as dúvidas foram sanadas com novas explicações e exemplos práticos.

3.3. Experimentação com a célula eletrolítica

O professor regente do 2º ano do ensino médio iniciou o 5º momento com a leitura do artigo “Construção de

uma célula eletrolítica para o ensino de eletrólise a partir de materiais de baixo custo” e discussão dos conceitos relacionados com as reações eletroquímicas numa célula eletrolítica.⁶ Foram destinadas 2 aulas de 50 minutos e, no final, cada grupo respondeu a duas questões elaboradas sobre esse artigo: 1- (a) Descrever a constituição de uma célula eletrolítica; 1- (b) Esquematizar uma célula eletrolítica usada para a eletrólise de uma solução aquosa de cloreto de sódio e produção simultânea de cloro e soda cáustica; 2- Para a eletrólise de uma solução aquosa de iodeto de potássio, KI, representar: (a) A semirreação no cátodo; (b) A semirreação no ânodo; (c) A reação global da célula eletrolítica; (d) Identificar se os potenciais padrão são de redução ou de oxidação e determinar o potencial padrão da célula. As respostas dos grupos foram avaliadas considerando os termos: “Incorpora”, “Tangencia” ou “Distancia”, e estão apresentadas na Figura 3. A média aritmética das porcentagens do termo “Incorpora” foi de 58%, abaixo da média esperada de 60% para aprovação dos estudantes na Escola Estadual. Todas as atividades relacionadas com a experimentação foram avaliadas e consideradas na média final dos estudantes. É importante mencionar que o estudo do artigo visou a preparar o grupo de trabalho para a montagem e execução do experimento com a célula eletrolítica.

Os resultados obtidos pelos 4 grupos de trabalho (EM1, EM2, EV1, EV2) no 6º momento, a partir da utilização dos materiais preparados para montagem da célula eletrolítica, com duração de 3 aulas de 50 minutos, encontram-se reunidos nas Figuras 4 e 5. As duas questões foram respondidas com base nas observações experimentais: 1- (a) Considerando a mudança de cor da solução, nas seringas contendo o cátodo e o ânodo, identificar o cátodo e o ânodo da célula eletrolítica. Explique; 1- (b) Observar os volumes dos gases produzidos. Qual a explicação para a diferença nos volumes dos gases? 2- Para a eletrólise de uma solução aquosa de ácido sulfúrico, H_2SO_4 0,5 mol/L, representar: (a) A semirreação no cátodo;

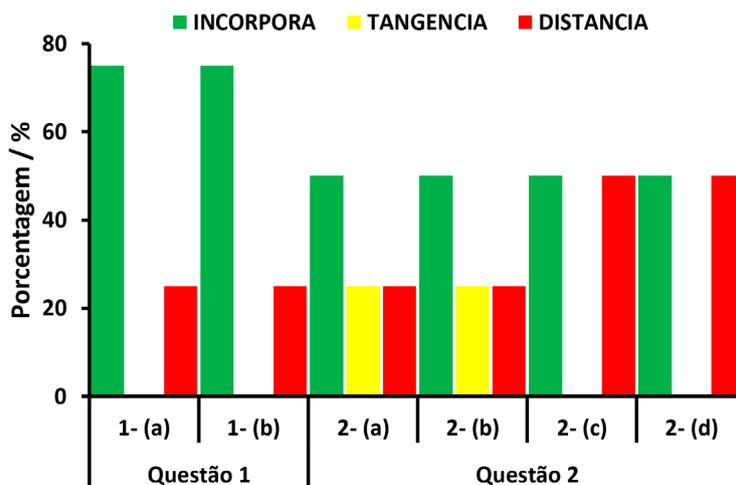


Figura 3. Classificação das respostas dos estudantes para duas questões relacionadas ao artigo “Construção de uma célula eletrolítica para o ensino de eletrólise a partir de materiais de baixo custo”

<p>Montagem e funcionamento da célula eletrolítica</p>			
<p>Questão 1a</p>	<p>Considerando a mudança de cor da solução, nas seringas contendo o cátodo e o ânodo, identificar o cátodo e o ânodo da célula eletrolítica. Explique.</p>		
<p>Grupo EM2</p>	<p>Grupo EV1</p>	<p>Grupo EV2</p>	<p>Grupo EM1</p>
<p>INCORPORA</p>	<p>TANGENCIA</p>	<p>TANGENCIA</p>	<p>DISTANCIA</p>
<p>O ânodo está em amarelo, oxidação da água e desprendimento de oxigênio, e o cátodo em vermelho, redução da água e desprendimento de hidrogênio.</p>	<p>O cátodo é o que produz hidrogênio mantendo então a sua cor. E o ânodo é o que sofre oxidação e produz oxigênio e muda de cor.</p>	<p>O hidrogênio é o cátodo e o oxigênio é o ânodo, o cátodo ficou com a cor amarelada e o ânodo ficou vermelho.</p>	<p>O lado que ficou com uma cor mais clara e que a água estiver descendo mais rápido é o ânodo ou seja ele está produzindo mais gás.</p>
<p>Resposta esperada</p>	<p>A seringa contendo a solução vermelha é o cátodo. A seringa contendo a solução amarela é o ânodo.</p>		
<p>Questão 2a</p>	<p>Para a eletrólise de uma solução aquosa de ácido sulfúrico, H_2SO_4 0,5 mol/L, representar a semirreação no cátodo.</p>		
<p>Grupo EM1</p>	<p>Grupo EM2</p>	<p>Grupo EV1</p>	<p>Grupo EV2</p>
<p>INCORPORA</p>	<p>INCORPORA</p>	<p>INCORPORA</p>	<p>TANGENCIA</p>
<p>$4H^+_{(aq)} + 4e^- \rightleftharpoons 2H_{2(g)}$ $E^o = 0,0 V$</p>	<p>$4H^+_{(aq)} + 4e^- \rightleftharpoons 2H_{2(g)}$ $= 0,00V$</p>	<p>$4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_{2(g)}$ $E^o_{red} = 0,0V$</p>	<p>$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$</p>
<p>Resposta esperada</p>	<p>$4H^+_{(aq)} + 4e^- \rightarrow 2H_{2(g)}$..... cátodo: $E^o_{red} = 0,00 V$</p>		

Figura 4. Avaliação das respostas elaboradas pelos grupos com base nas observações experimentais da célula eletrolítica

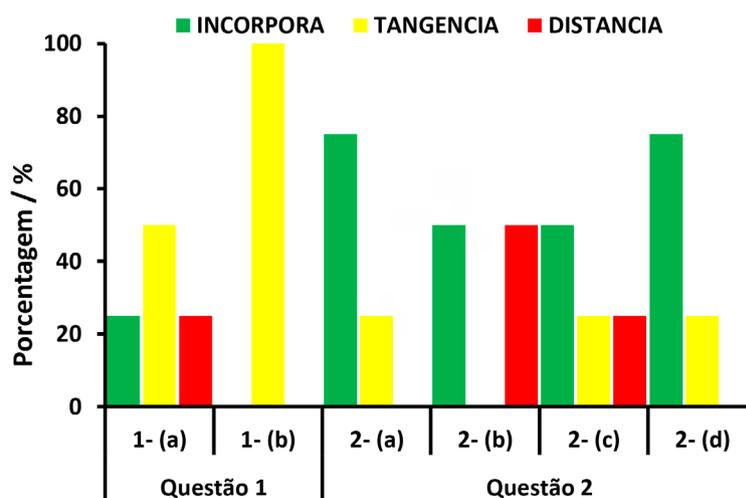


Figura 5. Classificação das respostas dos estudantes para as duas questões relacionadas com a montagem e execução do experimento com a célula eletrolítica

(b) A semirreação no ânodo; (c) A reação global da célula eletrolítica; (d) Determinar o potencial padrão da célula. A Figura 4 apresenta apenas duas perguntas representativas com as respectivas respostas dos estudantes.

Os estudantes demonstraram grande interesse pela atividade experimental, participaram ativamente da aula e da organização dos materiais, questionaram o professor em vários momentos, houve interação dos integrantes do grupo de trabalho e conseguiram fazer formulação de hipóteses para as observações. Os estudantes fizeram observações importantes durante a experimentação, como por exemplo, a diferença entre os volumes dos gases hidrogênio e oxigênio, a diferença de tamanho das bolhas formadas no cátodo e no ânodo da célula eletrolítica.

Fazendo a média da porcentagem para todas as respostas com o termo “Incorpora”, encontrou-se um aproveitamento de 45,8%, o que representa a dificuldade dos estudantes com a representação correta das semirreações de oxidação e de redução que ocorrem numa célula eletrolítica. Os principais erros observados são o não balanceamento de cargas elétricas nas duas semirreações, a representação incorreta das espécies envolvidas na reação eletroquímica e a determinação do potencial elétrico da célula eletrolítica.²⁸

3.4. Experimentação com a célula a combustível

Após observações experimentais e resolução das questões relacionadas com a célula eletrolítica, o professor regente usou mais 3 aulas e passou para o 7º momento, que foi a distribuição de fotocópias do artigo “Células a combustível: energia limpa a partir de fontes renováveis”.²⁹ Após leitura do artigo por cada grupo, o professor regente discutiu os conceitos relacionados com as reações eletroquímicas numa célula a combustível. Para concluir as 3 aulas destinadas para essa atividade, cada grupo respondeu às três questões elaboradas para esse artigo: 1- Quais são as diferenças entre uma célula galvânica e uma célula eletrolítica em relação: conversão de energia, tendência termodinâmica, energia de

Gibbs, polaridade do ânodo e do cátodo, funcionamento da célula; 2- Determinar o potencial padrão dos diferentes tipos de células a combustível (considerar a tabela de potenciais padrão de redução): (a) Célula de ácido fosfórico (H_3PO_4); (b) Célula alcalina (KOH); 3- Citar as vantagens das células a combustível que operam com hidrogênio. A avaliação das respostas encontra-se organizada na Figura 6. A média aritmética das porcentagens considerando somente o termo “Incorpora” foi de 68,7%, resultado que mostra um maior número de estudantes com média superior a 60% para aprovação na disciplina de Química. O estudo do artigo trouxe subsídios para os estudantes, principalmente para o trabalho experimental com a célula a combustível.

Os resultados obtidos pelos 4 grupos de trabalho no 8º momento, a partir da utilização dos materiais preparados para montagem da célula a combustível, com duração de 4 aulas de 50 minutos, encontram-se reunidos nas Figuras 7 e 8. As três questões (e seus subitens) aplicadas foram respondidas com base na manipulação e nas observações da célula a combustível em funcionamento: 1- Qual o potencial medido na célula a combustível (I) e na (II)? 2- Utilizando o multímetro, identifique o cátodo e o ânodo na célula a combustível (I) e na (II); 3- Para a célula a combustível de hidrogênio em solução aquosa de ácido sulfúrico, H_2SO_4 0,5 mol/L, representar: (a) A semirreação no ânodo; (b) A semirreação no cátodo; (c) A reação global da célula eletrolítica; (d) Determinar o potencial padrão da célula (considerar a tabela de potenciais padrão). A Figura 7 apresenta apenas duas perguntas representativas com as respectivas respostas dos estudantes.

A atividade experimental referente ao funcionamento da célula a combustível foi mais interessante do que com a célula eletrolítica, visto que os estudantes indagaram como a presença de gases pode gerar um potencial elétrico, como uma reação silenciosa e imperceptível pode produzir eletricidade, mesmo com pequenas quantidades de gases como o potencial se manteve constante. Mais uma vez a atividade experimental favoreceu o trabalho coletivo, a troca

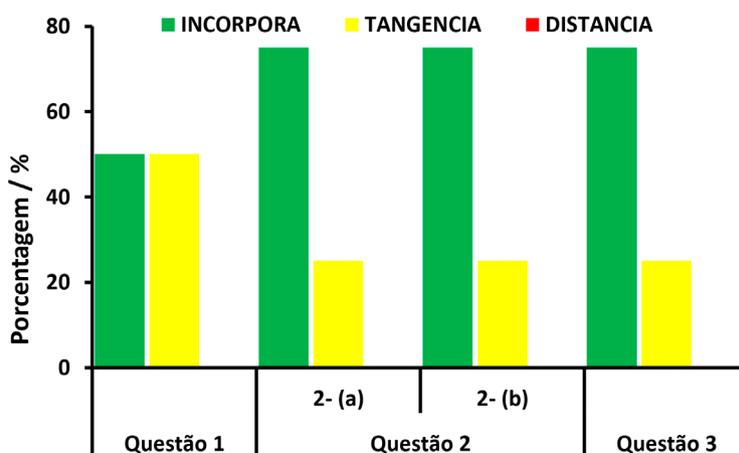


Figura 6. Classificação das respostas dos estudantes para três questões relacionadas ao artigo “Células a combustível: energia limpa a partir de fontes renováveis”

<p>Montagem e medida do potencial da célula a combustível</p>			
<p>Questão 2</p>	<p>Utilizando o multímetro, identifique o cátodo e o ânodo na célula a combustível (I) e na (II).</p>		
<p>Grupo EM1</p>	<p>Grupo EM2</p>	<p>Grupo EV1</p>	<p>Grupo EV2</p>
<p>TANGENCIA</p>	<p>TANGENCIA</p>	<p>TANGENCIA</p>	<p>TANGENCIA</p>
<p>I – O cátodo sempre será positivo na pilha, que mede pelo multímetro, pelo fio vermelho. II – O ânodo sempre será negativo na pilha mede pelo multímetro, pelo fio preto.</p>	<p>Utilizando o multímetro descobre-se que no fio vermelho é o positivo (cátodo) e o fio preto é o negativo (ânodo).</p>	<p>Cátodo é o vermelho e o ânodo é o preto.</p>	<p>Cátodo é o vermelho e o ânodo é o preto.</p>
<p>Resposta esperada</p>	<p>Ânodo: eletrodo onde ocorre a oxidação do gás hidrogênio, H_{2(g)} Cátodo: eletrodo onde ocorre a redução do gás oxigênio, O_{2(g)}</p>		
<p>Questão 3a</p>	<p>Para a célula a combustível de hidrogênio em solução aquosa de ácido sulfúrico, H₂SO₄ 0,5 mol/L, representar a semirreação no ânodo.</p>		
<p>Grupo EM1</p>	<p>Grupo EV1</p>	<p>Grupo EV2</p>	<p>Grupo EM2</p>
<p>INCORPORA</p>	<p>INCORPORA</p>	<p>INCORPORA</p>	<p>DISTANCIA</p>
<p>Oxidação H₂ H₂ → 2H⁺ + 2e⁻ E° = 0,0 V</p>	<p>H₂ → 2H⁺ + 2e⁻ E° = 0,0</p>	<p>H₂ → 2H⁺ + 2e⁻ E° = 0 V</p>	<p>2H₂O(l) → O₂(g) + 4H⁺(aq) + 4e⁻ ânodo, E° red = +1,23V</p>
<p>Resposta esperada</p>	<p>2H_{2(g)} → 4H⁺(aq) + 4e⁻ E°_{oxi} = 0,00 V</p>		

Figura 7. Avaliação das respostas elaboradas pelos grupos com base nas observações experimentais utilizando a célula a combustível

de ideias e opiniões, a formulação de hipóteses e respostas para as observações. A injeção e remoção dos gases hidrogênio e oxigênio da célula a combustível demonstrou a sua influência sobre o potencial elétrico gerado/medido.

Fazendo a média da porcentagem de todas as respostas com o termo “Incorpora”, encontrou-se um aproveitamento de 70,8%, rendimento muito próximo daquele observado para as respostas relacionadas com as questões extraídas do artigo “Células a combustível: energia limpa a partir de fontes renováveis”, indicando que os estudantes já estavam mais familiarizados com as semirreações de oxidação e de redução que ocorrem numa célula eletroquímica. A dificuldade com o saber eletroquímica pode ser facilmente superada com a simplicidade no arranjo e na execução de experimentos que abordam o tema. A atividade experimental facilitou o entendimento da eletroquímica, favoreceu a participação dos estudantes, a integração e o trabalho em equipe e a superação dos desafios.³²

Ainda no 8º momento, os 4 grupos de trabalho utilizaram os materiais preparados para montagem da célula a combustível, fizeram associações em série e em paralelo de duas células a combustível e responderam duas questões relacionadas com as observações experimentais: 1- Qual foi

o potencial medido quando as duas células a combustível foram associadas em série? 2- Alterar a configuração e associar as duas células a combustível em paralelo. Qual foi o potencial medido? Os resultados obtidos encontram-se reunidos na Figura 9.

As medidas dos potenciais elétricos foram realizadas pelos estudantes sem dificuldades e os resultados coerentes com o esperado; os 4 grupos receberam 100% do termo “Incorpora”. A realização desse experimento e as medições dos potenciais elétricos em duas células a combustível associadas em série e em paralelo evidenciam o aspecto interdisciplinar da Química com a Física. Na associação em série a diferença de potencial é igual à soma dos potenciais das duas células e na associação em paralelo a diferença de potencial é igual ao potencial de cada célula. A corrente elétrica gerada é diferente em cada associação. Na associação em série, o fluxo de corrente elétrica será maior e o tempo de esgotamento será menor quando comparado com a associação em paralelo. As observações foram importantes para o próximo experimento com a célula a combustível, que foi a energia gerada para o funcionamento de um relógio digital, que exige uma pilha de 1,5 V. O bom desempenho no domínio de conceitos envolvidos na experimentação

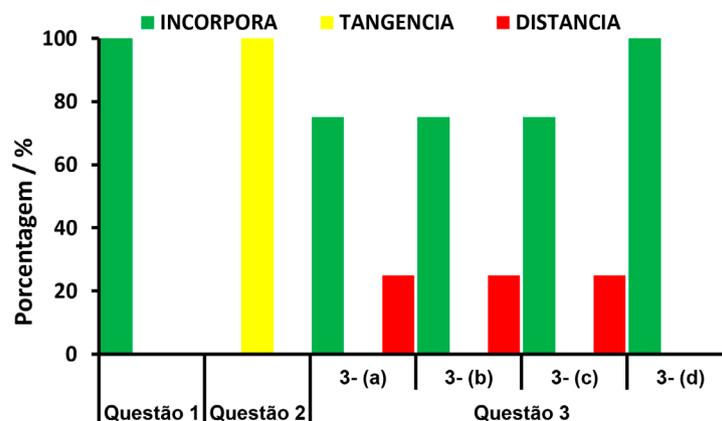


Figura 8. Classificação das respostas dos grupos de estudantes para as três questões relacionadas com a montagem e execução do experimento utilizando a célula a combustível

Medida do potencial de duas células a combustível associadas em série e em paralelo				
	Questão 1	Qual foi o potencial medido quando as duas células a combustível foram associadas em série?		
Grupo EM1	Grupo EM2	Grupo EV1	Grupo EV2	
INCORPORA	INCORPORA	INCORPORA	INCORPORA	
+1,19 V	+1,19 V	+1,45 V	+1,45 V	
Resposta esperada	Células a combustível associadas em série: $E_{células\ em\ série} = \sim + 1,25\ V$			
Questão 2	Alterar a configuração e associar as duas células a combustível em paralelo. Qual foi o potencial medido?			
Grupo EM1	Grupo EM2	Grupo EV1	Grupo EV2	
INCORPORA	INCORPORA	INCORPORA	INCORPORA	
+0,77 V	+0,77 V	+0,77 V	+0,77 V	
Resposta esperada	Células a combustível associadas em paralelo: $E_{células\ em\ paralelo} = \sim + 0,70\ V$			

Figura 9. Avaliação das respostas elaboradas pelos grupos com base nas observações experimentais de duas células a combustível de hidrogênio, após associações em série e em paralelo

investigativa em eletroquímica também foi observado recentemente, por Santos e colaboradores.¹⁰

No último experimento do 8º momento, os 4 grupos de trabalho utilizaram novamente os materiais preparados para montagem da célula a combustível e realizaram as seguintes atividades: fizeram as associações em série e em paralelo de duas células a combustível, comprovaram a corrente elétrica gerada a partir das semirreações de

oxidação e de redução, por meio do funcionamento de um relógio digital, e responderam duas questões relacionadas com as observações experimentais: 1- Foi possível ligar o relógio digital quando as duas células a combustível foram associadas em série? Explique; 2- Alterar a configuração e ligar as duas células a combustível em paralelo. Foi possível ligar o relógio? Qual a explicação? Os resultados obtidos encontram-se reunidos na Figura 10.

<p>Funcionamento do relógio digital com duas células a combustível associadas em série</p>			
	<p>Associação em série Associação em paralelo</p>		
<p>Questão 1</p>	<p>Foi possível ligar o relógio digital quando as duas células a combustível foram associadas em série? Explique.</p>		
<p>Grupo EM1</p>	<p>Grupo EM2</p>	<p>Grupo EV1</p>	<p>Grupo EV2</p>
<p>INCORPORA</p>	<p>INCORPORA</p>	<p>INCORPORA</p>	<p>INCORPORA</p>
<p>Sim, porque junta as duas pilhas líquidas com materiais alternativos tornando a potência de uma pilha normal, que da capacidade de ligar uma relógio.</p>	<p>Sim, pois ligado em série a voltagem dobra atingindo o mínimo potencial para ser ligado o relógio.</p>	<p>Sim; quando a célula foi ligada em série sua tensão dobrou, fazendo que o relógio funcionasse.</p>	<p>Sim, ele gerou energia o suficiente para que ligasse o relógio.</p>
<p>Resposta esperada</p>	<p>Sim. As células a combustível associadas em série fornecem o potencial e corrente suficientes para o funcionamento do relógio.</p>		
<p>Questão 2</p>	<p>Alterar a configuração e ligar as duas células a combustível em paralelo. Foi possível ligar o relógio? Qual a explicação?</p>		
<p>Grupo EM1</p>	<p>Grupo EM2</p>	<p>Grupo EV1</p>	<p>Grupo EV2</p>
<p>INCORPORA</p>	<p>INCORPORA</p>	<p>INCORPORA</p>	<p>INCORPORA</p>
<p>Não, por que quando conectou os dois polos positivo e os dois polos negativos não conseguiu a voltagem necessária para ligar o relógio.</p>	<p>Não, não atingiu o mínimo de potencial para o relógio ser ligado, no processo de ligação entre os dois polos positivos e negativos (paralelo).</p>	<p>Não, a tensão gerada pela pilha não gerou potencial necessária para que o relógio funcionasse</p>	<p>Não, pois ele não gerou energia o suficiente para que ligasse o relógio</p>
<p>Resposta esperada</p>	<p>Não. As células a combustível associadas em paralelo não fornecem o potencial necessário para o funcionamento do relógio.</p>		

Figura 10. Avaliação das respostas elaboradas pelos grupos com base nas observações experimentais do funcionamento do relógio digital de 1,5 V utilizando duas células a combustível de hidrogênio associadas em série e em paralelo

O funcionamento do relógio digital na ausência da pilha de 1,5 V foi bastante ilustrativo, porque evidenciou o fluxo de elétrons do ânodo (semirreação de oxidação) para o cátodo (semirreação de redução). As respostas dos 4 grupos foram bem classificadas e receberam 100% do termo “Incorpora”. Com esse experimento foi possível mostrar a influência da associação em série e em paralelo sobre o potencial elétrico, já que os estudantes do ensino médio apresentam grande dificuldade para entender essas associações, conforme constatado pelo baixo índice de acertos de uma questão do ENEM2017 que exigiu esse conceito.³³

3.5. Avaliação da aprendizagem de eletroquímica

A avaliação da aprendizagem de eletroquímica baseou-se no desempenho dos estudantes com relação às seis questões de vestibulares já aplicadas pela primeira vez no 3º momento, antes da contextualização dos conceitos de eletroquímica pelo professor regente do 2º ano do ensino médio, em comparação com os resultados da segunda aplicação no 9º momento, ao final das atividades experimentais, logo após as investigações com a célula a combustível.

As questões relacionadas com a célula eletrolítica foram retiradas dos seguintes vestibulares: 1ª questão da FUVEST

2009, 2ª questão da FUVEST 1999 modificada e 3ª questão da UFSCar 2005. As questões relacionadas com a célula a combustível foram retiradas dos seguintes vestibulares: 1ª questão da UFG 2007, 2ª questão da UNICAMP 2000 e 3ª questão da PUC-Rio 2001. Nos dois momentos de aplicação, os 21 estudantes das duas turmas do 2º ano do ensino médio responderam individualmente às questões dos vestibulares.

A Figura 11a mostra o desempenho dos estudantes com relação às questões relacionadas com a célula eletrolítica e a Figura 11b mostra o desempenho dos estudantes com relação às questões relacionadas com a célula a combustível. As maiores porcentagens dos termos “Incorpora” e “Tangencia”, observadas ao final das atividades desenvolvidas, evidenciou o envolvimento e o compromisso dos estudantes em todos os momentos da sequência didática. De fato, considerando as respostas dos estudantes classificadas como “Incorpora” e “Tangencia”, observa-se que houve um aumento significativo das respostas coerentes com as respostas esperadas após execução de todas as atividades. Por outro lado, analisando as respostas dos estudantes que não apresentaram coerência com as respostas esperadas, observou-se a redução do termo “Distancia”, indicando os impactos positivos da presente sequência didática baseada no diálogo com o professor mediador, na leitura de artigos e na experimentação. Outro

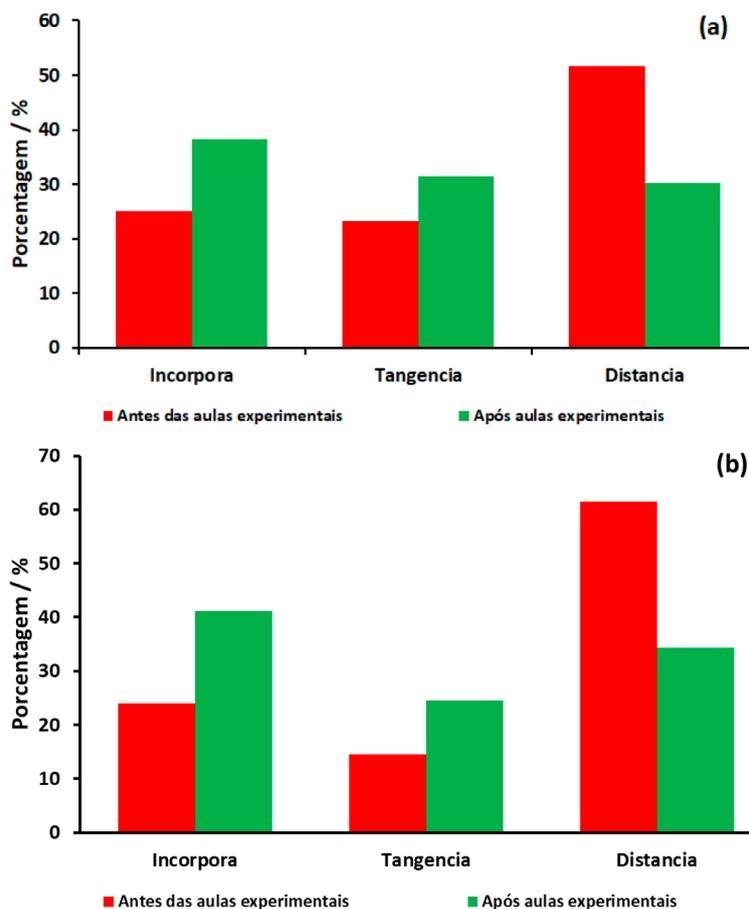


Figura 11. Média aritmética de todas as respostas classificadas com os termos “Incorpora”, “Tangencia” ou “Distancia”. (a) Questões relacionadas com a célula eletrolítica e (b) questões relacionadas com a célula a combustível.

estudo recente, utilizando células galvânicas e pilhas, corrobora o presente trabalho nos aspectos das atividades planejadas, coordenadas e interdisciplinares no ensino de eletroquímica.³³

4. Conclusão

As atividades planejadas para o ensino de eletroquímica permitiram aos estudantes do 2º ano do ensino médio uma concepção concreta e prospectiva dos conceitos, favoreceu a troca de ideias, de opiniões e as colaborações. A participação ativa dos estudantes na sua aprendizagem, aliada à vontade de adquirir conhecimentos em eletroquímica, evidenciou a importância das atividades desenvolvidas no processo de ensino-aprendizagem. A sequência didática facilitou a aprendizagem dos conceitos de eletroquímica relacionados com as semirreações de oxidação e de redução que ocorreram nas células eletrolítica e a combustível, o que foi confirmado pela avaliação da aprendizagem dos estudantes. A mediação do professor durante a execução da sequência didática foi importante e necessária para a superação das dificuldades dos estudantes com o tema eletroquímica. A utilização de materiais alternativos e de baixo custo, com

exceção dos fios de platina, o arranjo experimental simples de produção e manipulação dos gases, não necessitando de laboratórios estruturados, permitem a replicação dos experimentos com células eletrolítica e a combustível.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 (Portaria nº 206, de 04/09/2018). À Rede Mineira de Química (RQ-MG)/FAPEMIG (Processos REDE113/10; CEX-RED-00010-14), pelo fomento, às escolas E. E. Prof. Antônio da Silva (Carneirinho/MG) e E. E. Dom Pedro II (União de Minas/MG), à Assessoria de Cooperação Internacional da UFTM e ao Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI).

Referências Bibliográficas

1. Lima, J. O. G.; Perspectivas de novas metodologias no Ensino de Química. *Revista Espaço Acadêmico* **2012**, *136*, 95. [[Link](#)]

2. Galiazzi, M. C.; Gonçalves, F. P.; A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na Licenciatura em Química. *Química Nova* **2004**, *27*, 326. [CrossRef]
3. BRASIL. Base Nacional Comum Curricular. Ensino Médio. Brasília: MEC. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/abase/>>. Acesso em: 19 dezembro 2020.
4. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep). Brasília: MEC. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/artigo/-/asset_publisher/B4AQV9zFY7Bv/content/pisa-2018-revela-baixo-desempenho-escolar-em-leitura-matematica-e-ciencias-no-brasil/21206>. Acesso em: 1 fevereiro 2021.
5. Machado, C.; Atividades laboratoriais com materiais de baixo custo: um estudo com professores timorenses. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* **2019**, *18*, 198. [Link]
6. Sartori, E. R.; Santos, V. B.; Trench, A. B.; Fatibello-Filho, O.; Construção de uma célula eletrolítica para o ensino de eletrólise a partir de materiais de baixo custo. *Química Nova na Escola* **2013**, *35*, 107. [Link]
7. Finazzi, G. A.; Martins, C. N.; Capelato, M. D.; Ferreira, L. H.; Desenvolvimento de experimento didático de eletrogravimetria de baixo custo utilizando princípios da química verde. *Química Nova* **2016**, *39*, 112. [CrossRef]
8. Silva, I. F.; Silva, A. J. P. A experimentação na educação em Química: estudo exploratório sobre as percepções de licenciandos. *Revista Virtual Química* **2019**, *11*, 937. [CrossRef]
9. Klein, S. G.; Braibante, M. E. F.; Reações de oxi-redução e suas diferentes abordagens. *Química Nova na Escola* **2017**, *39*, 35. [CrossRef]
10. Santos, T. N. P.; Batista, C. H.; Oliveira, A. P. C.; Cruz, M. C. P.; Aprendizagem ativo-colaborativo-interativa: inter-relações e experimentação investigativa no ensino de eletroquímica. *Química Nova na Escola* **2018**, *40*, 258. [CrossRef]
11. Pereira, J. A.; Leite, B. S.; Percepções sobre o aplicativo FOQ1 química por estudantes de uma escola pública. *Revista REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática* **2021**, *9*, e21001. [CrossRef]
12. Leite, M. A. S.; Soares, M. H. F. B.; Jogo pedagógico para o ensino de termoquímica em turmas de educação de jovens e adultos. *Química Nova na Escola* **2020**, *43*, 227. [CrossRef]
13. Leite, B. S.; Aprendizagem tecnológica ativa. *Revista Internacional de Educação Superior* **2018**, *4*, 580. [CrossRef]
14. Leite, B. S.; Aplicativos de realidade virtual e realidade aumentada para o ensino de química. *Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico* **2020**, *6*, 1. [CrossRef]
15. Albadó, R.; *Célula combustível a hidrogênio: fonte de energia da nova era*, 1ª. ed., Artliber Editora: São Paulo, 2004.
16. Silveira, M. M. S.; Lima, R. H.; Bernardes, G. S.; Alves, V. A.; Silva, L. A.; Células eletrolítica e a combustível confeccionadas com materiais alternativos para o ensino de eletroquímica. *Química Nova* **2020**, no prelo [CrossRef]
17. Giordan, M.; *Anais do II Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Valinhos, Brasil, 1999. [Link]
18. Hofstein, A.; Lunetta, V. N.; The role of the laboratory in science teaching: neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, **1982**, *52*, 201. [CrossRef]
19. Freire, M. S.; Júnior, C. N. S.; Silva, M. G. L.; Dificuldades de aprendizagem no ensino e eletroquímica segundo licenciandos de química. *Resumos do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (VIII ENPEC) e (ICIEC) Congreso Iberoamericano de Investigación en Enseñanza de las Ciencias*, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, 2011. [Link]
20. Leite, B. S.; A experimentação no ensino de química: uma análise das abordagens nos livros didáticos. *Educación Química* **2018**, *29*, 61. [CrossRef]
21. Wartha, E. J.; Guzzi Filho, N. J.; Jesus, R. M.; O experimento da gota salina e os níveis de representação em química. *Educación Química* **2012**, *23*, 55. [CrossRef]
22. Sanjuan, M. E. C.; Santos, C. V.; Maia, J. O.; Silva, A. F. A.; Wartha, E. J.; Maresia: uma proposta para o ensino de eletroquímica. *Química Nova na Escola* **2009**, *31*, 190. [Link]
23. Santos, E.; Santos, G. F.; Silva, V. M.; Melo, R. P. A.; Lopes, F. L. G.; Proposta de nova experimentação para o ensino de eletroquímica. *Scientia Plena* **2013**, *9*, 1. [Link]
24. Fragal, V. H.; Maeda, S. M.; Palma, E. P.; Buzatto, M. B. P.; Rodrigues, M. A.; Silva, E. L.; Uma proposta alternativa para o ensino de eletroquímica sobre a reatividade de metais. *Química Nova na Escola* **2011**, *33*, 216. [Link]
25. Agostinho, S. M. L.; Jaimes, R. F. V. V.; Vairolette, L.; Santos, I. V. S.; Effect of the nature of the electrolyte and the nature of the interface on the hydrogen evolution potential: experiments for chemistry students. *Química Nova* **2019**, *42*, 453. [CrossRef]
26. Santos, D. M. F.; Sequeira, C. A. C.; Figueiredo, J. L.; Hydrogen production by alkaline water electrolysis. *Química Nova* **2013**, *36*, 1176. [CrossRef]
27. Lisbôa, J. C. F.; QNEsc e a seção experimentação no ensino de química. *Química Nova na Escola* **2015**, *37*, 198. [CrossRef]
28. Barreto, B. S. J.; Batista, C. H.; Cruz, M. C. P.; Células Eletroquímicas, Cotidiano e Concepções dos Educandos. *Química Nova na Escola* **2017**, *39*, 52. [CrossRef]
29. Villullas, H. M.; Ticianelli, E. A.; González, E. R.; Células a combustível: energia limpa a partir de fontes renováveis. *Química Nova na Escola* **2002**, *15*, 28. [Link]
30. Wendt, H.; Götz, M.; Linardi, M.; Tecnologia de células a combustível. *Química Nova* **2000**, *23*, 538. [Link]
31. Silveira, M. M. S.; Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Triângulo Mineiro, 2020. [Link]
32. Silva, R. M.; Silva, R. C.; Aquino, K. A. S. Estudo da eletroquímica a partir de pilhas naturais: uma análise de mapas conceituais. *Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review* **2014**, *4*, 45. [Link]
33. Diniz, B. P.; Alves, A. S.; Lemes, L. C.; Silva, L. A.; Alves, V. A.; Experimentação no ensino de células galvânicas para o ensino médio. *Química Nova na Escola* **2020**, *42*, 77. [CrossRef]