



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE  
NACIONAL**

**MARLON MAX DOS SANTOS SILVEIRA**

**ENSINO DE ELETROQUÍMICA: CÉLULA A COMBUSTÍVEL CONFECCIONADA  
COM MATERIAIS ALTERNATIVOS**



**UBERABA - MG**

**2020**

**MARLON MAX DOS SANTOS SILVEIRA**

**ENSINO DE ELETROQUÍMICA: CÉLULA A COMBUSTÍVEL CONFECCIONADA  
COM MATERIAIS ALTERNATIVOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Ciências Exatas, Naturais e Educação (ICENE/UFTM), Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI/UFTM-Uberaba), como requisito para obtenção do título de Mestre em Química.

**Linha de pesquisa:** Química Ambiental e Energia.

**Orientador:** Prof. Dr. Luís Antônio da Silva

**Coorientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Valéria Almeida Alves

**UBERABA - MG**

**2020**

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do  
Triângulo Mineiro**

S589e	Silveira, Marlon Max dos Santos Ensino de eletroquímica: célula a combustível confeccionada com materiais alternativos / Marlon Max dos Santos Silveira. -- 2020. 160 f. : il., graf.  Dissertação (Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional) -- Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2020 Orientador: Prof. Dr. Luís Antônio da Silva Coorientador: Profa. Dra. Valéria Almeida Alves  1. Química (Ensino médio). 2. Eletroquímica. 3. Experimentação. I. Silva, Luís Antônio da. II. Universidade Federal do Triângulo Mineiro. III. Título.  CDU 544.6 (07)
-------	---

MARLON MAX DOS SANTOS SILVEIRA

**ENSINO DE ELETROQUÍMICA: CÉLULA A COMBUSTÍVEL CONFECCIONADA  
COM MATERIAIS ALTERNATIVOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Ciências Exatas, Naturais e Educação (ICENE/UFTM), Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI/UFTM-Uberaba), como requisito para obtenção do título de Mestre em Química.

Uberaba, 19 de junho de 2020

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Luís Antônio da Silva – Orientador  
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Prof. Dr. Alexandre Rossi  
Universidade Federal do Triângulo Mineiro  
Instituto Federal do Triângulo Mineiro

Prof. Dr. Cláudio Márcio de Castro  
Instituto Federal do Triângulo Mineiro



Documento assinado eletronicamente por **LUIS ANTONIO DA SILVA, Coordenador(a) do Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional Substituto(a)**, em 25/08/2020, às 18:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no art. 14 da [Resolução nº 34, de 28 de dezembro de 2017](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **ALEXANDRE ROSSI, Professor do Magistério Superior**, em 25/08/2020, às 19:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no art. 14 da [Resolução nº 34, de 28 de dezembro de 2017](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Cláudio Márcio de Castro, Usuário Externo**, em 27/08/2020, às 13:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no art. 14 da [Resolução nº 34, de 28 de dezembro de 2017](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufm.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufm.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0388120** e o código CRC **070155E7**.

---

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, aos meus pais, minha esposa em especial ao meu filho.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus Pais, Jair Batista da Silveira e Aparecida dos Santos Silveira, que contribuíram para me tornar quem sou, por me ensinar desde cedo a assumir a responsabilidade pelos meus atos;

À Universidade Federal do Triângulo Mineiro, em especial ao PROFQUI, pela oportunidade concedida para a realização deste Mestrado;

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001;

Aos professores do Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI/UFTM-Uberaba), no incentivo desta turma de mestrado 2018/2020, pois ampliamos nossos conhecimentos durante esta formação continuada;

Aos meus orientadores e professores, Dr. Luís Antônio da Silva e Dr<sup>a</sup>. Valéria Almeida Alves por aceitar conduzir o meu trabalho de pesquisa, as orientações, as aulas de laboratório nos finais de semana e durante as férias, não medindo esforços para tornar possível a conclusão deste trabalho, manifesto aqui a minha eterna gratidão ao me conduzir para materialização deste sonho;

À Secretária Luciana Martins, do Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional, da UFTM, Unidade de Uberaba-MG, pela precisão e gentileza nos serviços prestados;

À minha esposa Taísa Francis de Medeiros pela compreensão, das várias horas que abdiquei a sua companhia;

Ao meu pequenino Anthony Medeiros Silveira, ele que me dá força e ânimo para enfrentar essa jornada;

Ao meu irmão Marxlenison dos Santos Silveira, minha cunhada Evanilda Martins dos Santos Silveira e meu sobrinho Lenissom William Martins dos Santos Silveira;

As escolas que leciono, Escola Estadual Professor Antônio da Silva e, especialmente, Escola Estadual Dom Pedro II, que oportunizou a realização desta pesquisa, aos diretores Paulo Sergio da Silva e Leida Alves Pereira;

À gerente do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) de Aparecida do Taboado/MS, Ana Elizabete de Lima Garcia, grande incentivadora para que trilhasse esse caminho;

Aos amigos de percurso, em especial: Bianca e Victor, pela amizade e pelas horas em que dividimos as angústias, tristezas e alegrias;

Aos alunos da graduação, Gabriel e Richard pela confecção dos Kits; célula eletrolítica e célula a combustível sob orientação do professor Luís;

Aos meus amigos Diego Silva Encarnação, Domisley Dutra Silva, Rafael Pereira Guimarães, Rommes Murillo de Sousa, Ugedson de Carvalho Faria da Silva e aos familiares que ao longo desta etapa me encorajaram e me apoiaram durante esta jornada.

“O animal satisfeito dorme.”

Mário Sérgio Cortella

## RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido ao longo do curso de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI), com o propósito de elaboração de um produto educacional aplicável no conteúdo de eletroquímica no ensino médio, priorizando a experimentação no ensino de eletroquímica. A pesquisa foi desenvolvida com duas turmas do 2º ano do ensino médio de uma escola estadual da rede pública de ensino, localizada no interior do Estado de Minas Gerais. A sequência didática desenvolvida explorou dois *kits* experimentais sobre os conceitos fundamentais de eletroquímica. O acompanhamento e as avaliações de aprendizagem basearam-se na aplicação do pré-teste e pós-teste como parâmetro de comparação do conhecimento adquirido. O primeiro *kit* envolveu a produção dos gases hidrogênio e oxigênio a partir da eletrólise da água. O segundo *kit* baseou-se na conversão de energia química em energia elétrica, a partir de reações de oxidação e redução dos gases hidrogênio e oxigênio, respectivamente. Os *kits* didáticos foram facilmente confeccionados com materiais de fácil acesso e adequados para serem utilizados em sala de aula. Mediante análise das questões respondidas pelos estudantes, pode-se observar que o trabalho experimental desenvolvido favoreceu a aprendizagem do conteúdo de eletroquímica de modo mais atraente. Assim, observou-se que as atividades foram bem aceitas pelos estudantes, aulas mais interativas e houve maior participação dos mesmos nas discussões, com aprendizagem individual e coletiva significativas verificadas ao longo das atividades desenvolvidas.

Palavras-chave: Ensino de Química. Eletroquímica. Experimentação.

## ABSTRACT

This work was developed during the Professional Master's Program in Chemistry in National Network (PROFQUI) with the purpose of developing an educational product applicable to the content of electrochemistry in High School, prioritizing experimentation in teaching electrochemistry. The a research was carried out with two classes of the 2nd year of high school in a public school located in the interior of a state of Minas Gerais. The didactic sequence develops two experimental kits based on the fundamental concepts for the study of electrochemistry. The monitoring of learning assessments was based on the application of the pre-test as a parameter for comparing the knowledge acquired. The first experimental kit involves the production of hydrogen and oxygen gases from water electrolysis. The second experimental kit was based on the conversion of chemical energy into electrical energy from oxidation and reduction reactions of after hydrogen and oxygen gases respectively. The easy-to-build didactic experimental kits were made with alternative and easily accessible materials for use in common classrooms. Through the analysis of the student's responses, it can be seen the experimental work developed using the kits favored the learning of the electrochemistry content in a more attractive way for the students. Throughout the activities developed, individual and collective learning of students was observed. The proposed activities were well accepted by students, increasing their interactivity and participation in classroom discussions.

Keywords: Teaching of chemistry. Electrochemistry. Experimentation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sala de aula adaptada aos dois grupos de estudantes para a realização da atividade experimental.....	40
Figura 2 – Percepção dos estudantes em relação à disciplina de Química no 2º ano do ensino médio, na escala Likert de cinco pontos para as 5 afirmativas do questionário (APÊNDICE A – Coleta de informações sobre a percepção dos estudantes do 2º ano do ensino médio sobre a disciplina de química). ....	48
Figura 3 – Classificação do conhecimento dos estudantes antes da realização das aulas expositivas em associação com as aulas experimentais sobre células eletrolíticas (APÊNDICE B – Questionário para avaliação das atividades experimentais realizadas pelos estudantes). ....	54
Figura 4 – Classificação do conhecimento dos estudantes antes da realização das aulas expositivas em associação com as aulas experimentais sobre células a combustível (APÊNDICE B – Questionário para avaliação das atividades experimentais realizadas pelos estudantes). ....	60
Figura 5 – 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” (APÊNDICE C – 1º EXPERIMENTO – 1ª etapa).....	69
Figura 6 – Materiais (I) para montagem da célula eletrolítica e produção dos gases hidrogênio e oxigênio. (a) Fonte de corrente contínua; (b) cátodo e ânodo de aço inox; (c) seringas descartáveis de 20 mL; (d) feijão preto como indicador de pH; (e) bastão de vidro; (f) escalpes; (g) recipiente de plástico; (h) presilhas de crachá. ....	70
Figura 7 – Etapas do procedimento experimental para a geração dos gases hidrogênio e oxigênio. (a) Aspiração da solução eletrolítica, ácido sulfúrico 0,5 mol/L, contendo o extrato de feijão preto como indicador alternativo de pH; (b) liberação do gás hidrogênio no cátodo (-) e do gás oxigênio no ânodo (+); (c) volume maior do gás hidrogênio em comparação ao volume do gás oxigênio.....	71
Figura 8 – Classificação das respostas dos estudantes para as duas questões relacionadas montagem e funcionamento da célula eletrolítica (APÊNDICE C – 1º EXPERIMENTO – 2ª etapa).....	76
Figura 9 – Acoplamento da célula eletrolítica com a célula a combustível usado para explicar a conversão de energia elétrica em energia química e vice-versa. ....	78
Figura 10 – Pilhas comuns associadas em paralelo e em série.....	79
Figura 11 – Classificação das respostas dos estudantes para três questões relacionadas ao artigo “Células a Combustível: Energia Limpa a Partir de Fontes Renováveis” (APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 1ª etapa).....	85

Figura 12 – Experimento com 4 pilhas comerciais comuns explorando a associação em série (I): (A) multímetro, (B) suporte cilíndrico contendo as 4 pilhas comuns; e a associação em paralelo (II): (A) multímetro, (B) pilhas comuns, (C) suporte formato cantoneira confeccionado com latinhas de alumínio. ....	86
Figura 13 – (I) Célula eletrolítica: (A) pote descartável de plástico contendo solução de $H_2SO_4$ 0,5 mol/L e os gases hidrogênio e oxigênio; (II) célula a combustível: (B) pote descartável de plástico contendo solução de $H_2SO_4$ 0,5 mol/L, (C) seringa para injetar o gás oxigênio na célula a combustível, (D) seringa para injetar o gás hidrogênio na célula a combustível, (E) multímetro.....	88
Figura 14 – Duas células a combustível de hidrogênio em funcionamento montadas pelos dois grupos do turno vespertino (EV1 e EV2).....	89
Figura 15 – Classificação das respostas dos estudantes para as três questões relacionadas montagem e funcionamento da célula a combustível (APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 2ª etapa).....	94
Figura 16 – Funcionamento de duas células a combustível de hidrogênio: (I) Associação em série montadas pelos dois grupos do turno vespertino (EV1 e EV2) e (II) associação em paralelo montadas pelos dois grupos do turno matutino (EM1 e EM2).....	95
Figura 17 – Classificação das respostas dos estudantes para as duas questões relacionadas com as associações em série e em paralelo da célula a combustível (APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 3ª etapa).....	97
Figura 18 – Associação em série de duas células a combustível de hidrogênio: (A) experimento dos dois grupos do turno matutino (EM1 e EM2) e (B) experimento dos dois grupos do turno vespertino (EV1 e EV2). ....	98
Figura 19 – Classificação das respostas dos estudantes para as duas questões relacionadas com as observações do relógio digital em funcionamento usando as células a combustível de hidrogênio (APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 4ª etapa). ....	100
Figura 20 – Classificação do conhecimento dos estudantes depois da realização das aulas expositivas em associação com as aulas experimentais sobre células eletrolíticas (APÊNDICE B – Questionário para avaliação das atividades experimentais realizadas pelos estudantes). ....	108
Figura 21 – Classificação das respostas dos estudantes para as questões aplicadas depois da realização das aulas expositivas em associação com as aulas experimentais sobre células a combustível (APÊNDICE B – Questionário para avaliação das atividades experimentais realizadas pelos estudantes).....	115

Figura 22 – Média aritmética de todas as respostas classificadas com os termos “Incorpora”, “Tangencia” ou “Distancia”, das questões aplicadas antes e depois das aulas teóricas e práticas (APÊNDICE B – Questionário para avaliação das atividades experimentais realizadas pelos estudantes). ..... 116

Figura 23 – Percepção dos estudantes em relação as atividades disciplina de Química no 2º ano do ensino médio, na escala *Likert* de cinco pontos para as 5 afirmativas do questionário (APÊNDICE D – **Questionário para coleta de informações sobre a percepção dos estudantes do 2º ano do ensino médio sobre as atividades realizadas**)..... 118

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo das atividades realizadas na pesquisa.....	35
Quadro 2 – Organização dos grupos de trabalho e pseudônimos de identificação dos estudantes participantes da pesquisa. ....	37
Quadro 3 – Respostas dos estudantes antes da realização das aulas expositivas em associação com as aulas experimentais sobre células eletrolíticas. ....	49
Quadro 4 – Respostas dos estudantes antes da realização das aulas expositivas em associação com as aulas experimentais sobre células a combustível. ....	55
Quadro 5 – Avaliação das respostas elaboradas pelos grupos com base na leitura do artigo da Química Nova na Escola. ....	63
Quadro 6 – Avaliação das respostas elaboradas pelos grupos com base nas observações experimentais (APÊNDICE C – 1º EXPERIMENTO – 2ª etapa). ....	72
Quadro 7 – Avaliação das respostas elaboradas pelos grupos com base na leitura do artigo da Química Nova na Escola. ....	80
Quadro 8 – Avaliação das respostas elaboradas pelos grupos com base nas observações experimentais da célula a combustível (APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 2ª etapa). ....	90
Quadro 9 – Avaliação das respostas elaboradas pelos grupos com base nas observações experimentais com as células a combustível de hidrogênio (APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 3ª etapa). ....	96
Quadro 10 – Avaliação das respostas elaboradas pelos grupos com base nas observações do relógio digital em funcionamento usando as células a combustível de hidrogênio (APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 4ª etapa). ....	99
Quadro 11 – Respostas dos estudantes depois da realização das aulas expositivas em associação com as aulas experimentais sobre células eletrolíticas. ....	102
Quadro 12 – Respostas dos estudantes depois da realização das aulas expositivas em associação com as aulas experimentais sobre células a combustível. ....	109

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
1.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A EXPERIMENTAÇÃO ELETROQUÍMICA.....	19
1.2 O PROFESSOR E OS DESAFIOS DA APRENDIZAGEM NO ENSINO DE QUÍMICA.....	21
1.3 AULAS PRÁTICAS NO ENSINO DE QUÍMICA .....	23
1.4 AULAS PRÁTICAS NO ENSINO DE ELETROQUÍMICA.....	26
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>28</b>
2.1 OBJETIVOS GERAIS .....	28
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>29</b>
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>31</b>
4.1 CAMPO DA PESQUISA.....	32
4.2 SUJEITO DA PESQUISA.....	33
4.3 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	43
4.4 CONSIDERAÇÕES ÉTICAS.....	44
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>46</b>
5.1 PERCEPÇÕES DOS ESTUDANTES SOBRE A DISCIPLINA DE QUÍMICA ..	46
5.2 CONCEPÇÕES PRÉVIAS DOS ESTUDANTES EM RELAÇÃO ÀS QUESTÕES DE VESTIBULARES ABORDANDO CONCEITOS SOBRE CÉLULA ELETROLÍTICA E CÉLULA A COMBUSTÍVEL .....	48
<b>5.2.1 Questões relacionadas com célula eletrolítica: Produção do combustível gás hidrogênio e consumo de eletricidade</b> .....	<b>49</b>
<b>5.2.2 Questões relacionadas com célula a combustível: Consumo do combustível gás hidrogênio e geração de eletricidade</b> .....	<b>54</b>
5.3 EXPECTATIVAS COM AS AULAS EXPOSITIVAS DIALOGADAS .....	61
5.4 ESTUDO E QUESTÕES DO ARTIGO DA QUÍMICA NOVA NA ESCOLA E UTILIZAÇÃO DO KIT EXPERIMENTAL DA CÉLULA ELETROLÍTICA .....	61
<b>5.4.1 Estudo, questões e embasamento teórico do artigo “Construção de Uma Célula Eletrolítica para o Ensino de Eletrólise a Partir de Materiais de Baixo Custo”</b> .....	<b>62</b>

<b>5.4.2 Utilização do <i>Kit</i> experimental para montagem da célula eletrolítica: Produção do combustível gás hidrogênio e consumo de eletricidade.....</b>	<b>69</b>
<b>5.5 ESTUDO E QUESTÕES DO ARTIGO DA QUÍMICA NOVA NA ESCOLA E UTILIZAÇÃO DO KIT EXPERIMENTAL DA CÉLULA A COMBUSTÍVEL.....</b>	<b>76</b>
<b>5.5.1 Estudo, questões e embasamento teórico do artigo “Células a Combustível: Energia Limpa a Partir de Fontes Renováveis”.....</b>	<b>77</b>
<b>5.5.2 Utilização de pilhas comuns para explorar as associações em série e em paralelo.....</b>	<b>85</b>
<b>5.5.3 Utilização do <i>Kit</i> experimental para montagem e medida do potencial da célula a combustível: Consumo do combustível gás hidrogênio e produção de eletricidade .....</b>	<b>87</b>
<b>5.6 CONCEPÇÕES DOS ESTUDANTES APÓS EXPERIMENTAÇÃO EM RELAÇÃO ÀS QUESTÕES DE VESTIBULARES ABORDANDO CONCEITOS SOBRE CÉLULA ELETROLÍTICA E CÉLULA A COMBUSTÍVEL.....</b>	<b>101</b>
<b>5.6.1 Questões relacionadas com célula eletrolítica: Produção do combustível gás hidrogênio e consumo de eletricidade .....</b>	<b>101</b>
<b>5.6.2 Questões relacionadas com célula a combustível: Consumo do combustível gás hidrogênio e geração de eletricidade.....</b>	<b>108</b>
<b>5.6.3 Aplicação do questionário para avaliação pelos estudantes das atividades experimentais realizadas.....</b>	<b>116</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>120</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>122</b>
<b>AGOSTINHO, S. M. L.; JAIMES, R. F. V. V.; VAIOLETTE, 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 (2019). Química Nova, São Paulo, v. 42, n. 4, p. 453-457, 2019.....</b>	<b>122</b>
<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO SOBRE INFORMAÇÕES GERAIS DOS ESTUDANTES DO 2º ANO DO ENSINO MÉDIO SOBRE A DISCIPLINA DE QUÍMICA.....</b>	<b>126</b>
<b>APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS REALIZADAS PELOS ESTUDANTES.....</b>	<b>127</b>
<b>APÊNDICE C – ROTEIROS DAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS RELACIONADAS COM CÉLULA ELETROLÍTICA E CÉLULA A COMBUSTÍVEL .....</b>	<b>135</b>

<b>APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO PELOS ESTUDANTES DAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS REALIZADAS .....</b>	<b>152</b>
<b>APÊNDICE E – PRODUTO DA PESQUISA, PUBLICADO NA REVISTA QUÍMICA NOVA.....</b>	<b>153</b>
<b>APÊNDICE F – PRODUÇÕES: TRABALHO COMPLETO, RESUMO E APRESENTAÇÃO EM EVENTO CIENTÍFICO .....</b>	<b>154</b>
<b>ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO .....</b>	<b>155</b>
<b>ANEXO B – PEDIDO DE AUTORIZAÇÃO PARA ACESSO A DADOS .....</b>	<b>160</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As dificuldades dos estudantes com a compreensão dos conteúdos ministrados no ensino de química é um desafio para os professores da educação básica. A metodologia inadequada à utilização de aulas expositivas baseadas apenas na resolução de exercícios de livros e apostilas, ainda é comum nos dias atuais. (ROCHA; VASCONCELOS, 2016). Esse modelo de aulas descontextualizadas pode contribuir para a desmotivação dos estudantes.

A química não pode ser entendida como um conjunto de saberes absolutos, prontos e acabados, tornando o conhecimento estático. O professor que propiciar ao estudante a compreensão dos fenômenos químicos e os conhecimentos científicos relacionados aos meios tecnológicos, econômicos e sociais, evidentemente irá contribuir para uma aprendizagem significativa dos estudantes (BRASIL, 2018). Sendo a química uma ciência com base experimental, é natural que a realização de experimentos em sala de aula tenha um papel importante em seu ensino (GIORDAN, 1999).

A experimentação é um elemento essencial nas aulas, porém o experimento por si só não garante um bom aprendizado. Considerando a realização de uma aula experimental, é importante o acompanhamento constante do professor, avaliando as explicações apresentadas pelos estudantes para os resultados encontrados e, se necessário, propor uma nova situação de desafio. As atividades experimentais quando bem planejadas pelo professor é uma excelente ferramenta e facilita a construção do conhecimento de química Bizzo (2002, p.75).

A experimentação é uma ferramenta importante para o processo de construção do conhecimento, sendo de grande relevância nas abordagens dos componentes curriculares do ensino médio, e em especial para o aprendizado dos conteúdos da disciplina de química. As novas tendências pedagógicas exigem que o professor trabalhe com metodologias diferenciadas, a partir do desenvolvimento de situações ou problemas contextualizados, integrados com os conteúdos estudados em sala de aula (LIMA, 2012). Essa mesma temática tem despertado o interesse de vários pesquisadores, relatando as potencialidades da experimentação no processo ensino-aprendizagem (GIORDAN, 1999; NIAZ; CHACÓN, 2003; SILVA; SILVA, 2019).

Adotar a experimentação nas aulas de química é uma forma de contornar a complexidade do tema e melhorar a qualidade de ensino (SILVA; SILVA, 2019).

Considerando os apontamentos dos pesquisadores e as características a disciplina de química, acredita-se que a utilização de atividades experimentais deve ser adotada como estratégias de problematização dos conceitos de eletroquímica e como estímulo para o desenvolvimento dos conhecimentos básicos dos estudantes.

A partir da necessidade de inserção de novas práticas educativas em sala de aula, a dissertação propõe uma sequência de atividades didática utilizando a experimentação no ensino de eletroquímica, com estudantes de duas turmas do segundo ano do ensino médio de uma escola estadual localizada no município de União de Minas - MG. A sequência didática adotada teve como referência um cronograma preestabelecido, envolvendo aulas teóricas, leitura e discussão de artigos e atividades experimentais.

As atividades propostas foram elaboradas para proporcionar aos estudantes a correlação entre os conteúdos teóricos apresentados em sala de aula e as práticas experimentais, provocando o estreitamento entre a teoria e a prática, conduzindo-os a compreender os fenômenos abordados, estimulando a interpretação dos conceitos fundamentais de eletroquímica, adquirindo habilidades para discutir e expor as ideias em grupo e elaborar respostas às questões abordadas.

As atividades experimentais foram desenvolvidas com a construção de dois *kits* experimentais confeccionados com materiais de fácil acesso, e o seu funcionamento para explorar o ensino de células eletrolíticas e células galvânicas.

A motivação para o trabalho de pesquisa baseou-se na trajetória profissional como docente da educação básica, sempre procurando trabalhar a visão holística de homem e de mundo em transformação, buscando o aprimoramento pessoal e, conseqüentemente, a melhoria da prática docente. Nessa perspectiva, as atividades desenvolvidas poderão ser reproduzidas por professores e estudantes, transformando a sala de aula convencional em um campo de experimentação, melhorando o processo ensino-aprendizagem dos conteúdos relacionados com células eletrolíticas e células galvânicas.

## 1.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A EXPERIMENTAÇÃO ELETROQUÍMICA

A química é uma ciência que se desenvolve sobre uma base experimental, onde as transformações químicas podem ser observadas, explicadas e reproduzidas. A experimentação desempenha um papel extremamente importante para o entendimento dos fenômenos químicos que ocorrem com a matéria, como por exemplo, a reação química espontânea de um ácido com uma base, a reação do  $\text{CO}_2$  com a  $\text{H}_2\text{O}$  durante a fotossíntese, a liberação dos gases  $\text{H}_2$  e  $\text{O}_2$  durante a eletrólise da água, a reação que ocorre quando combinamos os metais zinco e cobre numa célula galvânica. Considerando-se o processo de ensino-aprendizagem, a experimentação na química favorece a articulação entre práticas e teorias, bem como conhecer as concepções prévias dos estudantes, frente aos novos conceitos que serão explorados (SILVA; SILVA, 2019; KLEIN; BRAIBANTE, 2017).

A experimentação é um componente indispensável para o processo de ensino-aprendizagem de conteúdos de química, facilita a compreensão de conceitos químicos e a aquisição de habilidades práticas. O planejamento e a execução experimental promovem o aprendizado de novos conceitos de química, novos procedimentos e atitudes dos estudantes, incentivando-os a participarem das discussões em sala de aula.

É bastante comum ouvir relatos de professores e estudantes do ensino médio e superior sobre as dificuldades com o processo de ensino-aprendizagem relacionadas com o conteúdo de eletroquímica (SANTOS *et al.* 2018). Nesse contexto, torna-se imperioso o desenvolvimento de experimentos que facilitem o entendimento das transformações eletroquímicas.

Uma pesquisa realizada nas revistas publicadas pela Sociedade Brasileira de Química, a partir do ano 2000, encontrou-se um pequeno número de publicações relacionado com células galvânicas (convencionais), eletrolíticas e a combustível. Considerando-se a célula a combustível uma situação particular da célula galvânica, porque envolve a manipulação de gases, os artigos encontrados fazem uma abordagem puramente teórica sobre essa tecnologia, não abordando a experimentação no ensino de eletroquímica, (WENDT; GÖTZ; LINARDI, 2000; VILLULLAS; TICIANELLI; GONZÁLEZ, 2002). Nesse aspecto percebemos a importância da presente pesquisa para o ensino de química.

O número de publicações com as células galvânicas e eletrolíticas é superior em relação àqueles envolvendo as células a combustível, o que provavelmente está relacionado com a facilidade em manipular soluções aquosas em relação aos gases utilizados nesta última. No caso das células galvânicas as reações eletroquímicas envolvendo a oxidação do zinco e a redução cobre é frequentemente investigada (BRAIBANTE; OLIVEIRA; KLEIN, 2014; WARTHA *et al.*, 2007; SANJUAN *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2013; SARTORI; BATISTA; FATIBELLO-FILHO, 2008; FRAGAL *et al.*, 2011; BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000). Por outro lado, a eletrólise da água, ou mesmo a eletrodeposição de cobre ou prata sobre um cátodo são explorados nos estudos envolvendo as células eletrolíticas (FINAZZI *et al.*, 2016; SARTORI *et al.*, 2013; BARRETO; BATISTA; CRUZ, 2017; AGOSTINHO *et al.*, 2019; SANTOS; SEQUEIRA; FIGUEIREDO, 2013).

Abordar o conteúdo de eletroquímica com os estudantes é muito importante para o entendimento de novas tecnologias relacionadas com a geração de energia elétrica. Os experimentos planejados com materiais de baixo custo e fácil acesso visam minimizar as dificuldades encontradas pelos professores e estudantes, no processo de ensino-aprendizagem de eletroquímica (SILVA; SILVA, 2019; SANTOS *et al.* 2018; BRAIBANTE; OLIVEIRA; KLEIN, 2014; NIAZ; CHACÓN, 2003).

As células eletrolíticas e a combustível foram planejadas para utilização por professores, no seu processo de ensino de eletroquímica, para estudantes do ensino médio ou superior. A partir dos experimentos, os estudantes terão a oportunidade de compreender as reações eletroquímicas espontâneas e não espontâneas, observar as reações de desprendimento dos gases  $H_2$  e  $O_2$ , as proporções volumétricas dos gases durante a eletrólise da água, a manipulação dos gases entre as duas células (eletrolítica e a combustível), e realizar observações úteis na compreensão dos conceitos relacionados com as semirreações de oxidação e de redução. É importante destacar no trabalho o arranjo experimental simples de produção e manipulação dos gases, não sendo necessário o uso de instrumentação específica.

As células a combustível são células galvânicas nas quais a energia de Gibbs de uma reação química é transformada em energia elétrica (por meio da geração de uma corrente) (TICIANELLI; GONZALEZ, 2013). Entretanto, elas diferem das pilhas e baterias por ter os reagentes em sistemas armazenados externamente. O

combustível (hidrogênio) é oxidado de forma contínua no anodo, oxigênio é reduzido no cátodo, no qual pode ser considerada como uma reação de combustão.

As células galvânicas são classificadas como sendo do tipo primária ou secundária, e possuem o combustível e agentes oxidantes armazenados na própria célula. A capacidade elétrica dessas células depende da quantidade de produtos químicos armazenados. As células primárias, como a pilha Leclanché, quando descarregadas são descartadas; as células secundárias, como a bateria de chumbo/ácido, quando descarregadas, a reação eletroquímica inversa é forçada, com a aplicação de uma carga elétrica, para regenerar os reagentes originais de partida (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

O funcionamento da célula a combustível é semelhante as células galvânica, com a importante distinção de que o combustível, geralmente um gás, e o agente oxidante, geralmente oxigênio, são continuamente alimentados e consumidos na célula. No funcionamento das células a combustível, a transformação da energia química em energia elétrica acontece de maneira silenciosa, sem causar danos ao ambiente. Numa célula a combustível em funcionamento com hidrogênio e oxigênio, além da energia elétrica gerada, obtém-se a água como produto e calor gerado pela dissipação do sistema (VILUVAS; TICIANELLI; GONZÁLEZ, 2002; WEISSBART, 1961). A eficiência na geração de eletricidade da célula a combustível de hidrogênio e oxigênio é 50 % superior em relação à conversão de energia química armazenada no combustível fóssil. A maior eficiência da célula a combustível favorece a substituição de motores a combustão por motores elétricos. Os motores elétricos são silenciosos, além de contribuir para a redução da poluição sonora, apresentam vantagens nos veículos automotores com a eliminação da emissão de gases poluentes do meio ambiente.

## 1.2 O PROFESSOR E OS DESAFIOS DA APRENDIZAGEM NO ENSINO DE QUÍMICA

A educação vem passando por grandes transformações nos últimos anos, para acompanhar tais mudanças o professor assume novos papéis em sala de aula.

Considerando o cenário dos dias atuais, o professor que era apenas um transmissor de conhecimento, necessita possuir múltiplas competências, como por

exemplo, criar e acompanhar situações de aprendizagem que desafiem os estudantes e os motivem aos estudos, construir saberes e competências que máquinas e robôs não fazem (CASTRO; PAIVA; SILVA, 2019).

O professor deverá buscar estratégias para auxiliar no processo ensino-aprendizagem dos estudantes, como por exemplo, trabalhar conteúdos de química numa sequência colaborativa com os conteúdos de física e matemática, diversificar a metodologia utilizada, evitando um processo mecânico baseado somente em apostilas e livros didáticos.

É muito importante o professor adequar suas ações para garantir aos estudantes uma formação condizente com as exigências atuais. Segundo Rocha e Vasconcelos (2016) no ensino de ciências, especialmente de química, os professores necessitam diversificar as estratégias de ensino-aprendizagem, visando à adequação dos conteúdos à realidade dos estudantes.

No ensino de química, ainda é persistente práticas pedagógicas tradicionais e descontextualizadas, conforme é apresentado nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs): Orientações Curriculares Nacionais para o ensino médio, (OCNEM):

Vale lembrar que o ensino de Química tem se reduzido à transmissão de informações, definições e leis isoladas, sem qualquer relação com a vida do estudante, exigindo deste quase sempre a pura memorização, restrita a baixos níveis cognitivos. Enfatizam-se muitos tipos de classificação, como tipos de reações, ácidos, soluções, que não representam aprendizagens significativas. Transforma-se, muitas vezes, a linguagem Química, uma ferramenta, no fim último do conhecimento. Reduz-se o conhecimento químico a fórmulas matemáticas e à aplicação de “regrinhas”, que devem ser exaustivamente treinadas, supondo a mecanização e não o entendimento de uma situação-problema. Em outros momentos, o ensino atual privilegia aspectos teóricos, em níveis de abstração inadequados aos dos estudantes (BRASIL, 1999, p. 32).

Nesse aspecto percebemos as dificuldades dos estudantes do ensino médio em compreender os conteúdos e a real importância em estudar química.

Dessa maneira Lima (2012) descreve que as dificuldades que os estudantes encontram em compreender os conteúdos da disciplina de química podem estar relacionada com a má formação dos professores. Há necessidade de reformulações das grades curriculares dos cursos de licenciatura em química existente em todo território nacional, em especial os métodos de ensino utilizados na educação básica.

Em contrapartida cabe lembrar que é necessário analisar e discutir as metodologias utilizadas pelos professores nas aulas, para atender as particularidades e pluralidade dos estudantes. Elaborar uma nova proposta para sanar as dificuldades dos estudantes em aprender química e entender a real desmotivação para o estudo dessa disciplina (LIMA, 2012).

Nessa perspectiva, pode-se destacar alguns recursos didáticos que podem ser utilizados pelos professores para contribuir com o enfrentamento desta problemática, como por exemplo, utilizar atividades lúdicas, planejar atividades interdisciplinares, planejar atividades experimentais, ou seja, utilizar metodologias ativas que favoreça a proatividade dos estudantes no processo de aprendizagem (LIMA, 2012).

Com isso, para tornar efetivo o ensino de química deve estabelecer um ordenamento lógico entre os conteúdos, exigindo que o professor estabeleça cenários reais e concretos que fazem parte do cotidiano do estudante e abra espaço para o estudante atuar de modo ativo.

### 1.3 AULAS PRÁTICAS NO ENSINO DE QUÍMICA

Historicamente a experimentação sempre apresentou papel fundamental para explicar os fenômenos observados na natureza. No ensino de química a experimentação difundiu-se bastante a partir do século XVII, passando a ocupar a função de consolidar as leis empíricas e verificar a sua consistência. A partir deste momento, a experimentação alcançou lugar privilegiado nas universidades, com a finalidade de passar para os estudantes o conhecimento adquirido por várias gerações (GALIAZZI *et al.*, 2001). As pesquisas sobre o ensino de química trouxeram reflexões e definições sobre o verdadeiro papel da experimentação para o processo de ensino-aprendizagem, sempre destacando as suas vantagens (GIORDAN, 1999).

A utilização da experimentação como ferramenta pedagógica possui importância reconhecida na vida escolar dos estudantes, contribuindo para a superação de obstáculos cognitivos (SARTORI; *et al.*, 2013; FINAZZI *et al.*, 2016; MACHADO, 2019).

É importante destacar que diversas pesquisas estão sendo realizadas no planejamento de experimentos com materiais alternativos de fácil acesso, procurando atender às necessidades das escolas que não possuem laboratórios de ciências/química. Isso se deve às necessidades emergenciais para melhorar a qualidade do ensino e às críticas relacionadas ao ensino tradicional, onde os estudantes são meros ouvintes telespectadores das informações transmitidas pelo professor (HODSON, 1988). A realização de aulas práticas para o ensino de química não necessita de laboratório sofisticado com reagentes e vidrarias. Muitos dos reagentes e vidrarias podem ser substituídos por materiais simples, que fazem parte do cotidiano dos estudantes (MACHADO, 2019). Vale destacar que o objetivo da experimentação no ensino de química é de natureza pedagógica, como aprendizado de conteúdos ou de procedimentos experimentais. A postura do professor nesse tipo de atividade é auxiliar os estudantes, na exploração dos fenômenos, visando à aprendizagem de conteúdos em articulação com a realidade natural e social dos estudantes (HODSON, 1988).

Na Base Nacional Comum Curricular para o Ensino Médio (BNCC-EM), publicada em 2018, encontram-se alguns apontamentos referente a experimentação e aos princípios da pesquisa que expõe como objetivo:

Realizar pesquisas de diferentes tipos (bibliográfica, de campo, experimento científico, levantamento de dados etc.), usando fontes abertas e confiáveis, registrando o processo e comunicando os resultados, tendo em vista os objetivos pretendidos e demais elementos do contexto de produção, como forma de compreender como o conhecimento científico é produzido e apropriar-se dos procedimentos e dos gêneros textuais envolvidos na realização de pesquisas (BRASIL, 2018, p.517).

No contexto do ensino-aprendizagem, as atividades experimentais apresentam algumas características desejáveis para o estudante, como por exemplos, explorar as opiniões, estimular os estudantes a interpretar informações, relacionar o conhecimento científico com seu cotidiano. A inserção de atividades experimentais em sala de aula traz importantes contribuições aos estudantes, sendo que algumas são consideradas a seguir (OLIVEIRA, 2010):

- Possivelmente a experimentação motiva e desperta a atenção dos estudantes, é muito chamativo observar uma reação acontecendo, acompanhada de

mudança de cor, pequenas explosões, liberação de gases ou vapores, formação de precipitados, liberação ou absorção de calor;

- Oportuniza as relações interpessoais, por meio de realização de experimentos em grupos. Desenvolver trabalhos em grupo possibilita aos estudantes a oportunidade de interagir com os colegas, dividir tarefas, ideias e responsabilidades sobre o que fazer e como fazer;

- Proporciona a iniciativa e tomada de decisões sobre o melhor caminho a ser tomado para a resolução do problema proposto, tendo o estudante como sujeito ativo no processo de ensino-aprendizagem;

- Estimula a criatividade, onde o estudante terá a liberdade de propor ideias e defender seu ponto de vista com os colegas e professores;

- Permite a análise de dados e proposição de hipóteses para os fenômenos, pois através das análises dos dados, os estudantes conseguem propor um conjunto de explicações para a formação e constituição dos fenômenos;

Em conformidade com as colocações anteriores, percebe-se que a partir de uma ideia central para a elaboração de uma aula, várias contribuições são estabelecidas empregando atividades experimentais, ou seja, as atividades experimentais vão além dos conhecimentos conceituais, como por exemplo, atitudes, normas, postura, entre outros aspectos importantes para a formação dos estudantes. Diante de novos conhecimentos, a experimentação promove a superação das visões empíricas:

Ao utilizar a experimentação, associando os conteúdos curriculares ao que o educando vivenciou, o educador trabalhará de forma contextualizada, pois não é o problema proposto pelo livro ou a questão da lista de exercício, mas os problemas e as explicações construídas pelos atores do aprender diante de situações concretas. (GUIMARÃES, 2009, p.199).

O planejamento e a inserção de atividades experimentais funcionam como estratégia eficiente na simulação de problemas correlacionados com aqueles vivenciados pelos estudantes. Os experimentos favorecem o relacionamento das transformações observadas com os conceitos teóricos, tornando a ação do educando mais ativa. Muitos professores possuem uma visão simplista dos recursos que a experimentação proporciona para aprendizagem dos estudantes, não enfatizam o seu verdadeiro papel para uma aprendizagem de cunho significativo (HODSON, 1988). A falta de preparo do professor para trabalhar com a

experimentação poderá imbuir nos estudantes uma aprendizagem mecanizada, retrocedendo à assimilação de conceitos e fórmulas necessários para dominar os conceitos de química.

#### 1.4 AULAS PRÁTICAS NO ENSINO DE ELETROQUÍMICA

A complexidade dos conceitos de eletroquímica faz com que sejam os mais difíceis de serem ensinados pelos professores e compreendidos pelos estudantes do ensino médio (GIORDAN, 1999). Os estudantes do ensino médio não conseguem compreender as reações de oxidação e redução que ocorrem nos eletrodos, o fluxo de elétrons em células galvânicas e eletrolíticas, a diferenciação entre os processos espontâneos e não espontâneos. No entanto, a eletroquímica tem grande importância no dia-a-dia das pessoas, como por exemplo, fabricação do cloro e da soda-cáustica, produção e refino de metais, pilhas e baterias, além dos processos fisiológicos nos seres vivos. O maior destaque da eletroquímica na atualidade são as baterias de íons lítio, lançadas comercialmente em 1991. O grande sucesso dessas baterias está relacionado com a ampla utilização na atualidade, como por exemplo, dispositivos móveis, veículos elétricos, veículos híbridos, ferramentas elétricas, brinquedos, etc. (BOCCHI; BIAGGIO; FILHO, 2019). A eletroquímica estabelece estreita relação com a vida cotidiana das pessoas, o seu estudo traz benefícios sociais, tecnológico, econômico e ambiental. O processo de ensino-aprendizagem se torna mais eficaz quando os conceitos de ciências estudados estão relacionados com a vivência dos estudantes, e a assimilação teórica acontece de forma natural e conduz para uma aprendizagem significativa (SILVA *et al.*, 2016). A relação e a aplicação de experiências pessoais nos conteúdos abordados em sala de aula colocam o estudante numa situação de protagonista do seu próprio aprendizado, com a liberdade de propor ideias e defender seu ponto de vista com os colegas e o professor (GUIMARÃES, 2009).

A realização de aulas experimentais faz grande diferença no processo ensino-aprendizagem, facilita o entendimento das reações de oxidação e redução, espontâneas e não espontâneas (FINAZZI *et al.*; 2016). A experimentação se mostra como uma forma de melhorar a compreensão dos fenômenos eletroquímicos pelos estudantes, superando uma aula teórica convencional (SILVA, 2016). Aulas

experimentais garantem a motivação dos estudantes, uma correlação com os fatos cotidianos, uma maior aprendizagem para a superação dos desafios para uma vida melhor.

## 2 OBJETIVOS

Este tópico traz os objetivos gerais e específicos da presente pesquisa. Nesse sentido, este trabalho foi pensado de forma a proporcionar aos professores e estudantes conhecimentos básicos de eletroquímica no ensino de química.

### 2.1 OBJETIVOS GERAIS

Proporcionar aos estudantes do Ensino Médio o desenvolvimento de conhecimentos básicos relacionados à Eletroquímica, bem como manter lhes o interesse e a motivação para a vida estudantil.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Considerando os aspectos na aprendizagem de Eletroquímica pelos estudantes do Ensino Médio, pretende-se:

- 1) Desenvolver um produto educacional na forma de *kit* experimental, para facilitar o ensino de células eletrolíticas e células a combustível.
- 2) Utilizar materiais de fácil acesso e de baixo custo para construir uma célula eletrolítica e uma célula a combustível, que servirá para ensinar conceitos referentes a esse tópico da Eletroquímica.
- 3) Diagnosticar como os estudantes avaliam a atividade didática proposta (inclusive em relação à metodologia somente teórica de ensino).
- 4) Verificar se a proposta didática contribuiu para auxiliar a aprendizagem dos estudantes a partir do conteúdo trabalhado.
- 5) Melhorar a motivação dos estudantes, permitindo-os interagir com o conteúdo com maior afinidade, proporcionando maior interesse pelos conteúdos de Química.

### 3 JUSTIFICATIVA

A dificuldade dos estudantes com a compreensão do conteúdo ministrado no ensino de química reflete uma metodologia inadequada abordada no processo de ensino-aprendizagem (FREIRE *et al.* 2012). Podemos descrever que as utilizações inadequadas de aulas expositivas baseadas apenas na resolução de exercícios de livros e apostilas são muito comuns na educação básica (FREIRE *et al.* 2012).

Outro aspecto importante para a realização da experimentação é que professores e estudantes do ensino médio consideram o conteúdo de eletroquímica como sendo de grande dificuldade (NIAZ; CHACÓN, 2003; SANTOS *et al.* 2018).

A inserção de atividades experimentais funciona como estratégia no processo de ensino-aprendizagem, oportunidade para os estudantes relacionarem as transformações químicas com os conceitos teóricos, facilitando compreensão do conteúdo ministrado.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) pontuam a necessidade em se fortalecer elos, entre teoria e prática de ensino por meio de atividades que tenham como objetivo final uma educação voltada para autonomia e cidadania dos indivíduos. Ainda, apontam que deve ser priorizada a capacidade de o estudante interpretar e analisar dados, argumentar, tirar conclusões, avaliar e tomar decisões. Para tal, e dentre outros aspectos, os envolvidos devem ir para além da simples compreensão de conteúdos e contextualizá-los na vida cotidiana, ou seja, as disciplinas devem fazer sentido prático para os estudantes (BRASIL, 1999, 2000, 2006). Dessa forma, o Ensino Médio deve permitir ao estudante uma formação necessária para o exercício da cidadania, além de meios para que ele seja capaz de ingressar no mercado de trabalho e/ou em outros níveis de escolaridade, como o ensino superior (SANTOS; SCHNETZLER, 2003).

O estudante acaba criando mundos diferentes: o escolar, para satisfazer o professor, e o pessoal, voltado aos seus próprios conhecimentos (ZULIANI; ÂNGELO, 2001). Dentre os diversos conteúdos vinculados à disciplina de Química, o escolhido para esse estudo foi o de Eletroquímica, por envolver conceitos abstratos, muitas vezes abordados inadequadamente, podendo haver conflitos com conceitos de Física (ROCHA; VASCONCELOS, 2016).

A proposta de pesquisa visa produzir material didático-pedagógico como ferramenta para a formação básica do conhecimento, possibilitando ao estudante o entendimento dos conceitos de eletroquímica.

## 4 METODOLOGIA

O presente capítulo descreve o campo e o sujeito, a caracterização e as técnicas adotadas na pesquisa, com o objetivo de verificar o uso da estratégia didática amparada em aulas expositivas e na aprendizagem colaborativa usando a experimentação, aplicadas ao ensino de células eletrolíticas e células a combustível, com vistas à melhoria do ensino e da aprendizagem de eletroquímica no Ensino Médio.

O trabalho contempla aspectos voltados para a pesquisa qualitativa. Nesse tipo de pesquisa não existe uma preocupação com a quantidade de indivíduos que está sendo avaliada, mas com a qualidade da avaliação do grupo de estudo. (GOLDENBERG, 1999). A presente pesquisa teve apoio de análise quantitativa, por meio da obtenção de dados expressos nos questionários (Apêndices A, B, C e D) utilizados ao longo do trabalho. Utilizou-se a análise exploratória de dados que propõe que os dados não se distribuam segundo uma lei de probabilidade clássica, utilizando somente noções matemáticas elementares que podem ser expressas por gráficos de fácil construção (BATANERO, ESTEPA, GODINO, 1991).

O pesquisador encontra-se como educador propondo uma estratégia didática utilizando aulas experimentais. Os alunos tem oportunidade de construir seus conhecimentos científicos a partir de suas ideias e reflexões.

Nessa direção este trabalho aborda a pesquisa-ação, essa metodologia é utilizada em projetos de pesquisa educacional, na tentativa de melhorar a prática pedagógica (FRANCO, 2005).

Becher e Marques (2012) afirmam que a docência potencializa a pesquisa e a pesquisa melhora a docência. Nesse aspecto podemos destacar que o bom professor é aquele que transforma sua prática e seus resultados em reflexão e por meio dessa reflexão, constrói novos caminhos para o ensino.

E assim, por meio das aulas expositivas, da experimentação e da resolução de exercícios baseados em questionários, avaliou-se a importância da utilização de aulas práticas para facilitar o entendimento de temas complexos, como por exemplo a eletroquímica.

#### 4.1 CAMPO DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada na Escola Estadual Dom Pedro II, localizada no município de União de Minas, Minas Gerais, pertencente a Superintendência Regional de Ensino de Uberaba/MG. A escola foi construída em 1953 e recebeu a denominação de Escola Municipal Nossa Senhora Aparecida. Na época, União de Minas era distrito do município de Iturama/MG. No ano de 1968, um novo prédio foi construído no atual endereço e a escola passou a ser denominada de Escola Municipal Dom Pedro II, atendendo as turmas de 1ª a 4ª séries do ensino básico. No ano de 1982, a escola foi ampliada para atender as turmas de 5ª a 8ª séries do ensino básico e passou a ser denominada de Escola Municipal Dom Pedro II de 1º Grau. No ano de 1986, a escola foi transferida para rede estadual, recebendo a denominação de Escola Estadual Dom Pedro II de 1º Grau. No ano de 1996, a escola recebeu a autorização para o funcionamento do ensino de 2º Grau. No período de 1996 a 2016, seguindo a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – LDB 9394/96, a escola passou a oferecer, além do ensino básico, Ensino Supletivo, Ciclo Básico de Alfabetização (CBA), Ciclo Intermediário, Ciclo Avançado, A Caminho da Cidadania, Acertando o Passo, Acelerar para Vencer, Educação de Jovens e Adultos (EJA), Curso Normal de Nível Médio, Educação Integral e o Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego (PRONATEC) – Curso Técnico em Informática.

A escola atende na sua maioria estudantes em condições de vulnerabilidade socioeconômica e, em alguns casos, oriundos de famílias desestruturadas. A escola é de pequeno porte, atende aproximadamente 400 estudantes nos três turnos. Nos períodos matutino e vespertino atende estudantes do 6º ao 9º ano do ensino fundamental II e os estudantes do 1º ao 3º ano do ensino médio. No período noturno a escola funciona com a modalidade de Educação de Jovens e Adultos (EJA), que abrange o ensino fundamental e o ensino médio, e uma sala do 2º ano do ensino médio. Considerando os três turnos, a escola conta com 41 funcionários do quadro efetivo (professores e servidores).

A escola disponibiliza 10 salas amplas e claras com ar condicionado para as aulas, uma biblioteca, dois banheiros externos femininos e dois masculinos, todos com chuveiros elétricos e estantes de aço, uma cozinha, uma sala da secretaria, uma sala da coordenação, uma quadra coberta, uma sala de tecnologia educacional,

uma lavanderia e um almoxarifado com produtos de limpeza, uma sala de professores, um anfiteatro equipado com tela de projeção, projetor multimídia de alta resolução, caixas de som, computador e cadeiras, tipo longarina, com capacidade para 60 lugares, um amplo espaço livre gramado do lado esquerdo da quadra, câmeras de monitoramento nos corredores e nas salas de aula e uma horta nos fundos. A escola necessita de pequenas adequações de acessibilidade, como por exemplo, marcação no piso, rampas de acesso para cadeira de rodas e banheiros adaptados para deficientes. A escola necessita adequar e equipar com reagentes e vidrarias o laboratório já existente, para que o mesmo seja utilizado em aulas práticas no ensino de ciências.

No ano de 2019 a escola recebeu uma verba de R\$ 100.000,00 (cem mil reais) do projeto “Revitalizando Cores, Transformando Ambientes e Saberes” junto ao Ministério Público do Trabalho.

#### 4.2 SUJEITO DA PESQUISA

O projeto foi desenvolvido no ano de 2019, durante o 4º bimestre, com estudantes do 2º ano do ensino médio, turno matutino e vespertino. No começo do ano eram 10 estudantes no turno matutino, sendo 7 do sexo feminino e 3 do sexo masculino, e 13 estudantes no turno vespertino, sendo 5 do sexo feminino e 8 do sexo masculino, totalizando 23 estudantes. No decorrer do ano uma aluna do turno matutino abandonou a escola e um estudante do turno vespertino foi transferido para outra escola. No 4º bimestre escolar de 2019 participaram do projeto um total de 21 estudantes regularmente matriculados, sendo 11 do sexo feminino e 10 do sexo masculino, com faixa etária entre 15 a 17 anos. Praticamente não há distorção de idade com o ano escolar. Considerando ainda as especificidades da turma do 2º ano do ensino médio, turno matutino, tem-se que 12 estudantes residem na zona rural do município, divididos em 7 estudantes do sexo masculino e 5 do sexo feminino. A oferta do ensino médio regular na escola no turno matutino ou vespertino inviabiliza que os estudantes assumam um trabalho formal. Considerando os 12 estudantes da zona rural, os rapazes normalmente trabalham nos afazeres da roça com os pais, como por exemplo, na agricultura familiar, nos cuidados com o pasto, na ordenha do leite das vacas, no cuidado com os animais domésticos, no conserto de cercas e

várias outras necessidades diárias de mão de obra. As moças participam dos afazeres domésticos com as mães, no preparo das refeições, na lida diária de lavar e passar as roupas da família, na limpeza dos móveis e da casa, no cuidado com os pequenos animais domésticos e muitas outras necessidades que estão longe do conforto da cidade. A outra parcela de estudantes, turno matutino, que residem na cidade, onde localiza a escola, participa das tarefas e compromissos dos pais, com poucas oportunidades para aprender uma profissão diferente daquelas dos pais. A convivência dos estudantes com a rotina diária dos pais reflete na baixa expectativa dos estudantes em continuar com os estudos e fazer um curso superior ou mesmo um curso técnico. Além das escassas condições socioeconômicas, a rotina do estudante também é influenciada pelas raras oportunidades de trabalho formal no município de União de Minas/MG, que são limitadas ao pequeno comércio, à pecuária de corte e leite, à produção agrícola e ao cultivo da cana de açúcar e produção do açúcar e aproveitamento da biomassa para a geração de bioeletricidade.

A Escola Estadual Dom Pedro II foi escolhida em função da minha docência em todas as turmas do ensino médio, o que facilitou o desenvolvimento da pesquisa. Outro fator relevante na decisão da escolha foi o aceite espontâneo dos estudantes em participar do projeto de eletroquímica envolvendo a experimentação com células eletrolíticas e células a combustível. Todas as atividades de estudo e experimentação foram desenvolvidas pensando na melhoria das práticas educativas, no uso de ferramentas didáticas para facilitar o entendimento de conteúdo de elevado grau de dificuldade, na necessidade de inovação para incentivar os estudos, na valorização da autoestima dos estudantes e para despertar a importância da continuidade dos estudos para alcançar a formação superior.

O Quadro 1 apresenta todas as atividades realizadas na presente pesquisa (número da atividade, descrição da atividade, finalidade da atividade e número de aulas de 50 minutos utilizadas para a atividade).

Quadro 1 – Resumo das atividades realizadas na pesquisa.

Momento	Descrição da atividade	Finalidade da atividade	Número de aulas
1º	Esclarecimentos sobre as atividades que os estudantes iriam participar, informações gerais sobre o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e a importância do diálogo com os pais ou responsáveis sobre o preenchimento e assinatura (ANEXO A).	Formalização da atividade em sala de aula, preparar os estudantes para a metodologia que será proposta.	1
2º	Aplicação do questionário com cinco afirmativas, na escala <i>Likert</i> de 5 pontos (APÊNDICE A – <b>Questionário para coleta de informações sobre a percepção dos estudantes do 2º ano do ensino médio sobre a disciplina de química</b> ). Aplicação do questionário contendo questões básicas sobre eletroquímica (APÊNDICE B – célula eletrolítica e célula a combustível).	Levantamento e análise sobre o posicionamento dos estudantes em relação à disciplina de Química. Verificar o conhecimento prévio dos estudantes sobre eletroquímica antes das atividades práticas.	2
3º	Aula expositiva (formato convencional) sobre o tema eletroquímica.	Disponibilizar para os estudantes conceitos básicos sobre eletroquímica.	5
4º	Leitura e discussão do artigo “Construção de Uma Célula Eletrolítica para o Ensino de Eletrólise a Partir de Materiais de Baixo Custo”. A participação do professor é importante na problematização dos principais pontos relacionados com as células eletrolíticas. Aplicação de questões relacionadas com o artigo (APÊNDICE C – 1º EXPERIMENTO – 1ª etapa).	Estratégia para fomentar a discussão e argumentação. Compreender que as reações promovidas pela eletrólise são reações não espontâneas. Relacionar a eletrólise com a conversão de energia elétrica em química.	2
5º	Os estudantes foram divididos em dois grupos no período matutino e dois grupos no período vespertino, foi distribuído o primeiro <i>kit</i> contendo os acessórios para montagem da	Observar os fenômenos que ocorrem dentro da célula eletrolítica. Responder as questões propostas de acordo com o	3

	célula eletrolítica e geração dos gases hidrogênio e oxigênio (APÊNDICE C – 1º EXPERIMENTO – 2ª etapa).	entendimento dos conceitos.	
6º	Leitura e discussão do artigo “Células a Combustível: Energia Limpa a Partir de Fontes Renováveis”. A participação do professor é importante na problematização dos principais pontos relacionados com as células a combustível. Aplicação de questões relacionadas com o artigo (APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 1ª etapa).	Estratégia para fomentar a discussão e argumentação. Compreender que as reações promovidas pela eletrólise são reações não espontâneas. Relacionar a eletrólise com a conversão de energia.	3
7º	Realização das medidas de potencial com a associação de pilhas comuns em série e em paralelo.	Experimento importante para que os estudantes entendam o comportamento do potencial nas diferentes configurações.	1
8º	Os estudantes foram divididos em dois grupos no período matutino e dois grupos no período vespertino, foi distribuído o segundo <i>kit</i> contendo os acessórios para montagem da célula a combustível (APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 2ª, 3ª e 4ª etapas).	Entender o funcionamento da célula a combustível, associação e em série e em paralelo, relacionar o potencial medido com o potencial padrão.	4
9º	Aplicação do questionário contendo questões básicas sobre eletroquímica (APÊNDICE B – célula eletrolítica e célula a combustível). Aplicação do questionário com cinco afirmativas, na escala <i>Likert</i> de 5 pontos (APÊNDICE D).	Verificar o conhecimento dos estudantes sobre eletroquímica, após as atividades práticas. Análise sobre o posicionamento dos estudantes em relação às atividades experimentais realizadas.	3
<b>Número total de aulas</b>			<b>24</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Considerando os detalhes das atividades apresentadas no Quadro 1, tem-se que na primeira aula, ocorrida no dia 26 de setembro de 2019, o professor apresentou oralmente aos estudantes o projeto de pesquisa e o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (ANEXO A). Solicitou aos 21 estudantes que apresentassem o TCLE aos pais, que explicassem a necessidade do termo assinado, sobre a importância da preservação da identidade e participação voluntária dos estudantes. Professor e estudantes estipularam um prazo de seis dias para a devolução do TCLE. O professor recolheu os 21 termos assinados em duas vias, uma via para a família e outra para o professor, condição inicial para a participação do estudante nas atividades da pesquisa.

No segundo momento, antes de iniciarem as aulas expositivas envolvendo, os estudos e as discussões sobre eletroquímica, os estudantes responderam um questionário com cinco afirmativas, na escala *Likert* de 5 pontos, com alternativas: Concordo plenamente (CPI), Concordo parcialmente (CPa), Não concordo nem discordo (NCD), Discordo parcialmente (DPa) e Discordo totalmente (DT). A decisão de usar a escala *Likert* foi baseada nos trabalhos de Eilks (2005) e Fatareli *et al.* (2010). Inclusive as questões foram adaptações das questões contidas nos mesmos. As questões representavam o entusiasmo dos estudantes em relação à disciplina de Química e serviu de base para o professor desenvolver estratégias e metas com os estudantes (APÊNDICE A – **Questionário para coleta de informações sobre a percepção dos estudantes do 2º ano do ensino médio sobre a disciplina de química**). Para resguardar a identidade dos estudantes participantes, o professor atribuiu um pseudônimo aos mesmos, mantendo assim o sigilo e a confidencialidade dos voluntários, ver Quadro 2. O professor reservou 10 minutos para rápidas discussões, explanações e para os estudantes responderem as 5 afirmações.

Quadro 2 – Organização dos grupos de trabalho e pseudônimos de identificação dos estudantes participantes da pesquisa.

Turno			
Matutino Residentes na cidade		Vespertino Residentes na zona rural	
Pseudônimo		Pseudônimo	
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	---

\* A escolha dos pseudônimos considerou “E” de estudante, “M” de matutino, “V” de vespertino, o primeiro número está relacionado com o grupo pertencente e o segundo número está relacionado com a ordem alfabética do primeiro nome dos estudantes.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Ainda nesse segundo momento, aplicou-se também o questionário contendo questões básicas sobre eletroquímica para avaliar o conhecimento cognitivo prévio dos estudantes quanto aos tópicos célula eletrolítica e célula a combustível (APÊNDICE B – **Célula eletrolítica: Produção do combustível gás hidrogênio e consumo de eletricidade** e **Célula a combustível: Consumo do combustível gás hidrogênio e geração de eletricidade**). Sobre célula eletrolítica foram selecionadas 3 questões de vestibulares, sendo a 1ª questão da FUVEST 2009, a 2ª questão da FUVEST 1999 modificada e a 3ª questão da UFSCar 2005. Sobre célula a combustível foram selecionadas também 3 questões de vestibulares, sendo a 1ª questão da UFG 2007, a 2ª questão da UNICAMP 2000 e a 3ª questão da PUC-Rio 2001. Para avaliar as respostas dos estudantes utilizaram-se os seguintes termos: “Incorpora”, “Tangencia” ou “Distancia” foi baseado nos trabalhos de Eilks (2005) e Fatareli *et al.* (2010).

O termo “Incorpora” foi atribuído quando o estudante ou o grupo de estudantes respondeu de acordo com a resposta esperada, o termo “Tangencia” foi atribuído quando a resposta aproximou do esperado, e o termo “Distancia” foi atribuído quando a resposta não apresentou relação com o esperado (SANTOS *et al.* 2018). O tempo previsto para os estudantes responderem as 3 questões sobre célula eletrolítica e as 3 questões sobre célula a combustível foi de 1 hora e 30 minutos.

No terceiro momento aconteceram as aulas expositivas no formato convencional sobre o tema eletroquímica. Utilizou-se 5 aulas de 50 minutos que aconteceram nos dias 09, 10, 23, 29 e 30 de outubro de 2019. As cinco aulas expositivas, ministradas no 4º bimestre, antes da experimentação, levou em consideração as discussões em um processo com participação ativa do estudante, abordando os seguintes tópicos: Eletrólise em solução aquosa com eletrodos inertes; Reações catódicas e anódicas não espontâneas; Tabela dos potenciais-padrão de eletrodo; Aplicações da eletrólise; Balanceamento reações catódicas e

anódicas. A dinâmica das aulas envolveu descrições de práticas comuns do dia-a-dia do estudante, como por exemplo, banhos de prata, banhos de ouro, zincagem, fabricação de soda cáustica e cloro e fabricação do alumínio. No 3º bimestre, os estudantes haviam estudado as reações espontâneas de oxi-redução; Balanceamento das equações de oxirredução; Pilha de Daniell; Tabela dos potenciais-padrão de eletrodo (FELTRE, 2004).

O quarto momento foi marcado com a leitura e discussão do artigo “Construção de Uma Célula Eletrolítica para o Ensino de Eletrólise a Partir de Materiais de Baixo Custo” (SARTORI *et al.*, 2013) e a resolução de duas questões formuladas com base no artigo (APÊNDICE C – 1º EXPERIMENTO – 1ª etapa). O professor incentivou e participou da elaboração das respostas para os seguintes questionamentos: 1 – (a) *Descrever a constituição de uma célula eletrolítica*; e (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; e (d) Identificar se os potenciais padrão são de redução ou de oxidação e determinar o potencial padrão da célula*. A avaliação das respostas baseou-se novamente nos seguintes termos: “Incorpora”, “Tangencia” ou “Distancia”. A participação do professor foi extremamente importante na problematização dos principais pontos relacionados com as células eletrolíticas. Foram disponibilizados duas aulas de 50 minutos para a etapa do quarto momento.

No quinto momento, os estudantes foram divididos em dois grupos, tanto a turma do período matutino como a do período vespertino (ver Quadro 2). O professor distribuiu um *kit* para cada grupo contendo os acessórios para montagem de uma célula eletrolítica para a geração dos gases hidrogênio e oxigênio (APÊNDICE C – 1º EXPERIMENTO – 2ª etapa). A 2ª etapa era composta de um roteiro com ilustração fotográfica do experimento para execução da prática e duas questões avaliativas. A Figura 1 apresenta o laboratório organizado para iniciar o experimento com a célula eletrolítica. O professor estava sempre atento à montagem da célula eletrolítica e nas respostas para os seguintes questionamentos: 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*; (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; (b) A semirreação no ânodo; (c) A reação global da célula eletrolítica; (d) Determinar o potencial padrão da célula. Os grupos disponibilizaram de 1 (uma) aula de 50 minutos para realização do experimento com a célula eletrolítica e 2 (duas) aulas de 50 minutos para responderem as 2 questões relacionadas com o experimento. Mais uma vez a avaliação das respostas baseou-se nos seguintes termos: “Incorpora”, “Tangencia” ou “Distancia”.

Figura 1 – Sala de aula adaptada aos dois grupos de estudantes para a realização da atividade experimental.



Fonte: Do Autor, 2019.

O sexto momento do desenvolvimento do projeto, um segundo artigo científico “Células a Combustível: Energia Limpa a Partir de Fontes Renováveis” (VILLULLAS *et al.*, 2002) foi repassado para os estudantes para leitura e discussão com os colegas e professor. Logo após estudo do artigo, os estudantes responderam algumas questões: O professor incentivou e participou da elaboração das respostas para os seguintes questionamentos: 1 – *Preencher a tabela com as informações relacionadas com as diferenças entre uma célula galvânica e uma célula eletrolítica; Conversão de energia; Tendência termodinâmica; Energia de*

*Gibbs; Polaridade dos eletrodos – ânodo e 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 (APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 1ª etapa).* Novamente a avaliação das respostas baseou-se nos seguintes termos: “Incorpora”, “Tangencia” ou “Distancia”. Foram disponibilizados três aulas de 50 minutos para a etapa do sexto momento.

Para a realização do sétimo momento, o professor preparou antecipadamente um suporte cilíndrico confeccionado com papel para o experimento com a associação de pilhas em série. Numa das extremidades utilizou um retalho de metal para o contato elétrico com o polo positivo da pilha e na outra extremidade utilizou um clipe para o contato elétrico com o polo negativo da pilha. Para fixar e selar o cilindro utilizou-se fita adesiva transparente, facilitando observar a maneira correta para as conexões elétricas do multímetro. Para a associação de pilhas em paralelo, o professor preparou dois suportes com dobras em forma de cantoneira, confeccionados com retalhos de alumínio retirados de latinhas de refrigerantes. Preparou-se apenas um suporte para cada tipo de associação e houve a necessidade de revezamento entre os dois grupos do turno matutino e também do turno vespertino. Foi disponibilizado uma aula de 50 minutos para a etapa do sétimo momento.

No oitavo momento, novamente os grupos já formados de estudantes são organizados, dois grupos do turno matutino e dois grupos do turno vespertino (ver Quadro 2). O professor distribuiu um *kit* para cada grupo contendo os acessórios para montagem e medida do potencial da célula a combustível (APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 2ª etapa). A 2ª etapa era composta de um roteiro com ilustração fotográfica do experimento para execução da prática e três questões de aprendizagem. O professor estava sempre atento à montagem da célula a combustível e nas respostas para os seguintes questionamentos: 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*). Ainda no oitavo momento, utilizando o *kit* montado para a célula a combustível, os estudantes realizaram o procedimento com ilustração fotográfica da 3ª Etapa: Medida do potencial da célula a combustível (I) e (II) associadas em série e responderam as seguintes questões: 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?* (APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 3ª etapa). A última atividade com o *kit* da célula a combustível no oitavo momento, seguindo o procedimento com ilustração fotográfica, foi a 4ª Etapa: Funcionamento do relógio digital ou calculadora com duas células a combustível associadas em série com as seguintes questões: 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?* (APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 4ª etapa). Para a execução do APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 2ª etapa, montagem e experimento com a célula a combustível, foram utilizadas duas aulas de 50 (cinquenta) minutos e para o APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 3ª e 4ª etapas, respostas para as questões, foram utilizadas mais duas aulas de 50 (cinquenta) minutos. As respostas das questões aplicadas nas etapas 2ª, 3ª e 4ª foram avaliadas usando os seguintes termos: “Incorpora”, “Tangencia” ou “Distancia”.

No nono momento, após experimentação sobre célula eletrolítica e célula a combustível (APÊNDICE B – **Célula eletrolítica: Produção do combustível gás hidrogênio e consumo de eletricidade** e **Célula a combustível: Consumo do combustível gás hidrogênio e geração de eletricidade**), novamente o professor solicita dos estudantes as respostas para as 3 questões de vestibulares sobre célula eletrolítica, sendo a 1ª questão da FUVEST 2009, a 2ª questão da FUVEST 1999 modificada e a 3ª questão da UFSCar 2005, e para as 3 questões de vestibulares sobre célula a combustível, sendo a 1ª questão da UFG 2007, a 2ª questão da UNICAMP 2000 e a 3ª questão da PUC-Rio 2001. Novamente a avaliação das respostas baseou-se nos seguintes termos: “Incorpora”, “Tangencia” ou “Distancia”. Ainda no nono momento, uma segunda atividade foi desenvolvida, que foi responder um questionário com cinco afirmativas, na escala *Likert* de 5 pontos (APÊNDICE D – **Questionário para avaliação pelos estudantes das atividades experimentais realizadas**). As questões foram pensadas para obter um retorno sobre a opinião dos

estudantes com relação à utilização de experimentos como ferramenta facilitadora do processo de ensino-aprendizagem. O tempo previsto para responder as 6 questões da primeira atividade foi de 2 horas e 20 minutos e para as 5 questões da segunda atividade foi de 10 minutos. Nessa última atividade do nono momento, os estudantes não foram identificados para deixá-los mais à vontade para que pudessem fazer os comentários necessários sobre as atividades experimentais.

Todos os resultados obtidos com a pesquisa de opinião e de conhecimento dos estudantes, mencionados nos momentos anteriores, foram organizados, classificados, tabelados, colocados em gráficos e discutidos. As análises desses resultados são apresentadas no item Resultados e Discussão.

O produto da pesquisa, *kits* experimentais para ensino de células eletrolítica e célula a combustível, foi submetido para publicação na Revista Química Nova (QN), e encontra-se disponível no APÊNDICE E (**Produto da pesquisa submetido para publicação na revista Química Nova**). As demais produções geradas por ocasião da presente pesquisa encontram-se no APÊNDICE F (**Produções: trabalho completo, resumo e apresentação em evento científico**).

### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A Química é melhor compreendida quando envolve a observação macroscópica e a consequente correlação com a escala nanométrica (HODSON, 1988). A experimentação cria situações reais e facilita a compreensão dos conteúdos de Química de diversos graus de dificuldade, como por exemplo a eletroquímica. A experimentação com a participação ativa dos estudantes, não meros ouvintes e observadores de aulas experimentais, se torna uma metodologia importante no ensino de química. A experimentação desperta um forte interesse entre os estudantes, aumenta a capacidade de aprendizado, pois obtém uma melhor compreensão dos temas trabalhados. A experimentação fecha o elo dos estudantes com os fenômenos químicos, possibilitando aos estudantes a construção dos conceitos que tenham sentidos para eles, a partir de suas próprias observações, (GIORDAN, 1999). Considerando o domínio de conceitos de eletroquímica, a experimentação com observações visuais se torna fundamental para o entendimento de reações de oxidação e redução (FINAZZI *et al.*, 2016)

A elaboração do projeto, a pesquisa e a confecção do produto foram definidas a partir do levantamento das estratégias didáticas no ensino de eletroquímica publicado na revista Química Nova na Escola no período de 1995, ano da primeira publicação da revista, até maio de 2019. A concepção das atividades experimentais priorizou a melhoria do ensino de eletroquímica, a participação ativa dos estudantes, possibilitando a observação dos fenômenos químicos e oportunizou uma correlação do experimento com o conteúdo abordado nas aulas teóricas, utilizando materiais de baixo custo e fácil acesso.

Os resultados obtidos com a pesquisa de opinião envolvendo os estudantes do 2º ano do ensino médio possibilitaram a averiguação da importância e da eficácia da experimentação no ensino de eletroquímica (célula eletrolítica e célula a combustível). As questões de conteúdo aplicadas possibilitaram quantificar informações e respostas, que depois de organizados em quadros e tabelas se tornaram parâmetros para evidenciar a importância da experimentação no ensino de eletroquímica.

#### 4.4 CONSIDERAÇÕES ÉTICAS

Em consonância aos princípios da Resolução 466/12 CNS (BRASIL, 2012), essa pesquisa pode ser classificada como de risco mínimo, uma vez que os procedimentos que os participantes foram submetidos não envolveram maiores riscos do que os encontrados na realização de suas atividades cotidianas.

O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, TCLE (ANEXO A) firmou o compromisso em respeito à autonomia, liberdade e privacidade dos indivíduos, no esclarecimento da participação voluntária dos participantes, das informações dos objetivos e uso das informações obtidas na pesquisa, assim como o entendimento com clareza por parte dos participantes e de seus responsáveis, quanto aos procedimentos realizados.

Cabe ressaltar que, mesmo classificada como uma pesquisa de risco mínimo, os pesquisadores ficaram atentos a qualquer manifestação dos participantes ao longo do estudo, preocupando-se com a identificação de sentimentos e percepções de constrangimento, frustrações e perseguições, que mesmo não previstos como risco pudessem ter sido deflagrados pelos participantes, tomando as medidas

necessárias. Sendo assim, os pesquisadores cumpriram todos os requisitos éticos para a execução de estudo com seres humanos.

Aos sujeitos foi garantido o sigilo de suas informações, instituição à qual pertencem, e também o direito de se retirar da pesquisa a qualquer tempo e por qualquer motivo. A todos os participantes foram entregues 02 (duas) vias do TCLE, as quais foram assinadas pelos seus responsáveis e pelos pesquisadores. Uma via dos TCLE assinados permanecem em posse dos pesquisadores, e outra em posse dos participantes da pesquisa.

Inicialmente, a pesquisa seria submetida ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (CEP/UFTM); inclusive todos os pesquisadores realizaram seus cadastros na Plataforma Brasil e todos os formulários exigidos pelo CEP/UFTM foram providenciados e preenchidos.

Após alguns esclarecimentos com o Vice-Presidente do CEP/UFTM, e diante da questão levantada por nós ao mesmo, de que, sendo os participantes da pesquisa os próprios estudantes do Professor Marlon Max dos Santos Silveira, mestrando do PROFQUI/UFTM, se esse fato tornaria desnecessário protocolar o projeto no CEP/UFTM. Foi-nos respondido que era possível que uma pesquisa com esta especificidade não fosse registrada e avaliada pelo sistema CEP/CONEP, e que o fundamento pode ser encontrado no inciso VII do Art. 1º presente na Resolução 510/2016, que trata da pesquisa na área de Ciências Humanas e Sociais: "Art. 1º (...) *Parágrafo único. Não serão registradas nem avaliadas pelo sistema CEP/CONEP: (...) VII - pesquisa que objetiva o aprofundamento teórico de situações que emergem espontânea e contingencialmente na prática profissional, desde que não revelem dados que possam identificar o sujeito;*".

Face ao exposto, os pesquisadores fizeram a opção de utilizar o TCLE (ANEXO A), apenas como respaldo adicional, porém este documento não é necessário. Também optaram por utilizar a autorização da Escola Estadual Dom Pedro II para acesso a dados (ANEXO B), a qual já havia sido obtida antes que os pesquisadores tivessem conhecimento do exposto no parágrafo anterior.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para facilitar o entendimento das informações obtidas e relacionar com a evolução e o domínio de conceitos de eletroquímica pelos estudantes, a apresentação dos resultados seguiu a sequência das atividades descrita no Quadro 1.

### 5.1 PERCEPÇÕES DOS ESTUDANTES SOBRE A DISCIPLINA DE QUÍMICA

Os resultados obtidos a partir da análise do questionário para coleta de informações de percepção sobre a disciplina de Química (APÊNDICE A – **Questionário para coleta de informações sobre a percepção dos estudantes do 2º ano do ensino médio sobre a disciplina de química**).

O questionário apresentou 5 afirmativas que foram aplicadas logo no início da aula e contou com a participação de 17 estudantes dos 4 grupos, o questionário foi agrupados e expressos na forma de porcentagem.

As discussões sobre os resultados obtidos são:

A) Afirmativa 1. A Química que estudamos está presente no nosso dia-a-dia. Os seguintes resultados foram obtidos: 35,3% dos estudantes CPI, 29,4% dos estudantes CPa, 17,6% dos estudantes NCD, 17,6% dos estudantes DPa e 0,0% DT (ver resultados reunidos na Figura 2). A soma dos estudantes que NCD e DPa resulta em 35,2%, porcentagem equivalente àquelas dos estudantes que CPI, mostrando que os estudantes não conseguem estabelecer uma conexão do conhecimento químico com os aspectos fenomenológicos relacionados com o seu cotidiano. Os estudantes não são dotados da consciência de que o conhecimento químico está relacionado aos aspectos importantes da vida, como a sua própria sobrevivência. Os estudantes não fizeram comentários para a essa questão, confirmando que a Química é um mundo distante dos processos vitais.

B) Afirmativa 2. Estudar Química é importante para a minha vida. Os seguintes resultados foram obtidos: 41,2% dos estudantes CPI, 23,5% dos estudantes CPa, 29,4% dos estudantes NCD, 0,0% dos estudantes DPa e 5,9% DT (ver resultados reunidos na Figura 2). Os resultados são discrepantes daqueles apresentados na Afirmativa 1, o que reforça a justificativa da falta de conexões com

os processos vitais. É extremamente importante uma mudança de metodologia didática adotada no ensino de química, corroborando o uso da experimentação concomitante ao conteúdo ministrado, para estar de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), “[...] preparar para a vida, qualificar para a cidadania e capacitar para o aprendizado permanente, em eventual prosseguimento dos estudos ou diretamente no mundo do trabalho” (BRASIL, 2000), não esquecendo da preparação do estudante para o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM).

C) Afirmação 3. Estudar Química é divertido e fascinante.

Os seguintes resultados foram obtidos: 11,7% dos estudantes CPI, 47,1% dos estudantes CPa, 23,5% dos estudantes NCD, 11,8% dos estudantes DPa e 5,9% DT (ver resultados reunidos na Figura 2). Os resultados refletem o pequeno interesse dos estudantes pela Química, reforçando a necessidade de mudanças no modo como é ensinado os conteúdos de Química. Acredita-se que o interesse e a qualidade das aulas poderão ocorrer com a introdução de aulas práticas, juntamente com a assistência do professor. A maioria dos estudantes não consideram o estudo da Química como algo leve e fascinante.

Questão 4. Compreender Química é muito complicado.

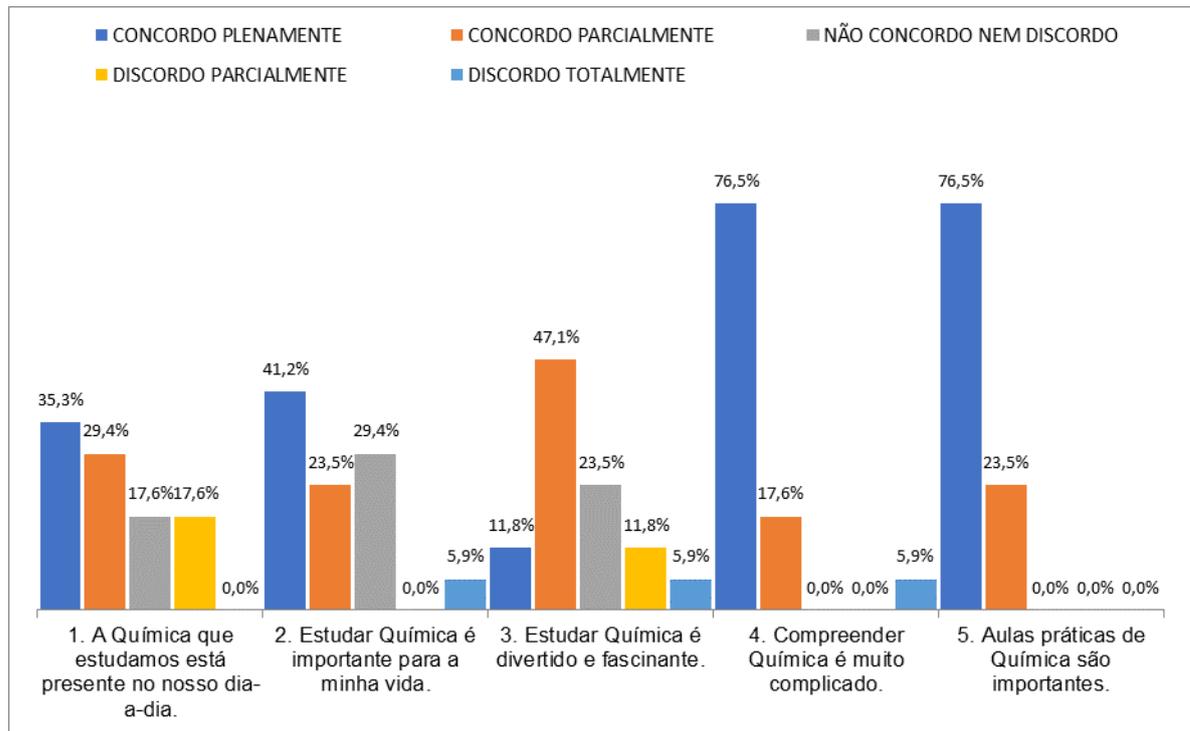
Os seguintes resultados foram obtidos: 76,5% dos estudantes CPI, 17,6% dos estudantes CPa, 0,0% dos estudantes NCD, 0,0% dos estudantes DPa e 5,9% DT (ver resultados reunidos na Figura 2). A soma de CPI e CPa resulta em 94,1% dos estudantes consideram difícil estudar Química, reforçando a necessidade de mudanças na metodologia de ensino. A dificuldade encontrada pelos estudantes se deve a conteúdos extensos, conceitos abstratos de difícil compreensão até mesmo para os professores (SANTOS *et al.*, 2018). O professor deve estar atento e comprometido com a introdução de formas didáticas apropriadas, como por exemplo aulas experimentais de Química, em substituição às aulas expositivas tradicionais.

E) Afirmativa 5. Aulas práticas de Química são importantes.

Os seguintes resultados foram obtidos: 76,5% dos estudantes CPI, 23,5% dos estudantes CPa, 0,0% dos estudantes NCD, 0,0% dos estudantes DPa e 0,0% DT (ver resultados reunidos na Figura 2). Considerando as escalas CPI e CPa têm-se que 100% dos estudantes acham importantes as aulas práticas de Química. Os valores refletem a necessidade de aulas práticas conjugadas com aulas teóricas, o que exige um esforço do professor para superar as dificuldades relacionadas com a

reduzida carga horária da disciplina, planejamento de práticas simples empregando materiais alternativos e baixo custo, falta de infraestrutura adequada para acomodação dos estudantes.

Figura 2 – Percepção dos estudantes em relação à disciplina de Química no 2º ano do ensino médio, na escala Likert de cinco pontos para as 5 afirmativas do questionário (APÊNDICE A – **Coleta de informações sobre a percepção dos estudantes do 2º ano do ensino médio sobre a disciplina de química**).



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

## 5.2 CONCEPÇÕES PRÉVIAS DOS ESTUDANTES EM RELAÇÃO ÀS QUESTÕES DE VESTIBULARES ABORDANDO CONCEITOS SOBRE CÉLULA ELETROLÍTICA E CÉLULA A COMBUSTÍVEL

Para mensurar o desempenho dos estudantes antes e após a realização das aulas expositivas em associação com as aulas experimentais, abordando conceitos para entender o funcionamento de uma célula eletrolítica e, também, de uma célula a combustível, aplicou-se 6 questões discursivas de vestibulares, sendo 3 questões explorando a célula eletrolítica e 3 questões explorando a célula a combustível. As questões foram respondidas pelos 21 estudantes presentes na aula de Química e as respostas foram agrupadas e expressas na forma de porcentagem. Os estudantes

utilizaram 1 hora e 50 minutos para responderem as 6 questões. As respostas dos estudantes foram avaliadas, tendo como parâmetro as respostas esperadas, tendo sido atribuído os termos “Incorpora”, “Tangencia” ou “Distancia”.

### 5.2.1 Questões relacionadas com célula eletrolítica: Produção do combustível gás hidrogênio e consumo de eletricidade

Primeiramente, os estudantes responderam as 3 questões relativas à célula eletrolítica. A 1ª questão foi extraída do vestibular da FUVEST 2009 e constava de 4 alternativas discursivas para responder; a 2ª questão foi extraída do vestibular da FUVEST 1999 e modificada pelos autores, e constava de 3 alternativas discursivas para responder; e a 3ª questão foi extraída do vestibular da UFSCar 2005 e constava de 2 alternativas discursivas para responder (ver APÊNDICE B – **Questionário para avaliação das atividades experimentais realizadas pelos estudantes**). As respostas dos estudantes obtidas encontram-se reunidas no Quadro 3. A Figura 3 expressa os resultados obtidos considerando todos os 21 estudantes que responderam as questões sobre célula eletrolítica.

Vale destacar que os estudantes já tinham o conhecimento prévio sobre os conceitos de eletroquímica, uma vez que a teoria foi trabalhado no bimestre anterior.

Quadro 3 – Respostas dos estudantes antes da realização das aulas expositivas em associação com as aulas experimentais sobre células eletrolíticas.

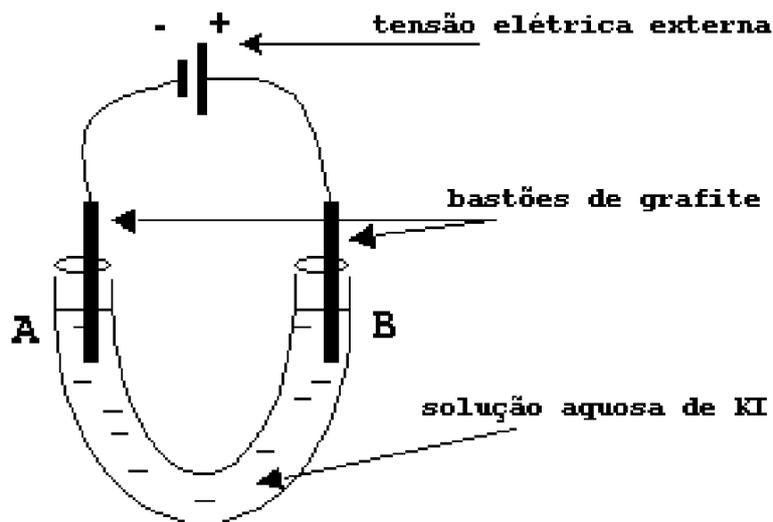
1. (Fuvest, 2009) Água pode ser eletrolisada com a finalidade de se demonstrar sua composição. A figura representa uma aparelhagem em que foi feita a eletrólise da água, usando eletrodos inertes de platina.

a) Nesse experimento, para que ocorra a eletrólise da água, o que deve ser adicionado, inicialmente, à água contida no recipiente IV? Justifique.		
Respostas dos estudantes (antes das aulas práticas)	Resposta esperada	Incorpora, tangencia ou distancia?
Bastões de grafite, para que ocorra uma reação. <b>EM 13</b>	Para haver condução de corrente elétrica em solução aquosa, é necessária a presença de íons livres na solução. No caso, para fazermos a eletrólise da água, devemos adicionar no recipiente IV um eletrólito.	Distancia
Na eletrólise os metais não recebe elétrons (ganha $e^-$ ). Eletrólise a água utilizando NaCl. <b>EM 24</b>		Distancia
Eletrólito porque a água não é um bom condutor de eletricidade, inviabilizando a eletrólise da substância pura. <b>EV 14</b>		Incorpora
Uma substância condutora de eletricidade, um sal, por exemplo, como o NaCl. A passagem de corrente elétrica através da substância no estado líquido ocasiona a sua decomposição, chamada eletrólise. <b>EV 17</b>		Incorpora
b) Dê as fórmulas moleculares das substâncias recolhidas, respectivamente, nos tubos II e III.		
Cátodo e ânodo. <b>EM 12</b>	As fórmulas das substâncias recolhidas nos tubos II e III são, respectivamente, $H_2$ e $O_2$ .	Distancia
$H_2$ e $O_2$ . <b>EM 13</b>		Incorpora
A = Cobre B = Metal. <b>EM 14</b>		Distancia
Oxigênio e hidrogênio. <b>EV 15</b>		Tangencia
c) Qual a relação estequiométrica entre as quantidades de matéria (mols) recolhidas em II e III?		
– Catodo $4H_2O(l) + 4e^- \rightarrow 2H_2(g) + 4OH^-(aq)$ + ânodo $2H_2O(l) \rightarrow 4H^+(aq) + O_2(g) + 4e^-$ $2H_2O(l) \rightarrow 2H_2 + O_2(g)$ . <b>EM 13</b>	A proporção em mols de $H_2$ e $O_2$ formados e de 1 mol para 0,5 mol. Proporção 2:1	Tangencia
$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$ . <b>EM 14</b>		Tangencia
$H_2O \rightarrow H + OH$ H = 8      10g O = 2.1 = 2. <b>EV 11</b>		Distancia
$Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg^0$ . <b>EV 22</b>		Distancia

d) Escreva a equação balanceada que representa a semirreação que ocorre no eletrodo (anodo) inserido no tubo III.

<p>– Cátodo <math>2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 4\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 4\text{OH}^-(\text{aq})</math>  + anodo <math>2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 4\text{H}^+(\text{aq}) + \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{e}^-</math>  <math>2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2(\text{g})</math> Equação global.  <b>EM 22</b></p>	$\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{H}^+(\text{aq}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{e}^-$	Incorpora
<p>Anodo (+) = <math>2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 4\text{H}^+(\text{aq}) + \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{e}^-</math>  <b>EV 14</b></p>		Incorpora
<p><math>2\text{OH}^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}</math>  <b>EV 21</b></p>		Distancia
<p><math>2\text{NaCl} \rightarrow 2\text{Na} + \text{Cl}_2</math>  <b>EV 25</b></p>		Distancia

2. (Fuvest, 1999, modificada) Uma solução aquosa de iodeto de potássio (KI) foi eletrólise, usando-se a aparelhagem esquematizada na figura. Após algum tempo de eletrólise, adicionaram-se algumas gotas de solução de fenolftaleína na região do eletrodo A e algumas gotas de solução de amido na região do eletrodo B. Verificou-se o aparecimento da cor rosa na região de A e da cor azul (formação de iodo) na região de B.



Nessa eletrólise,

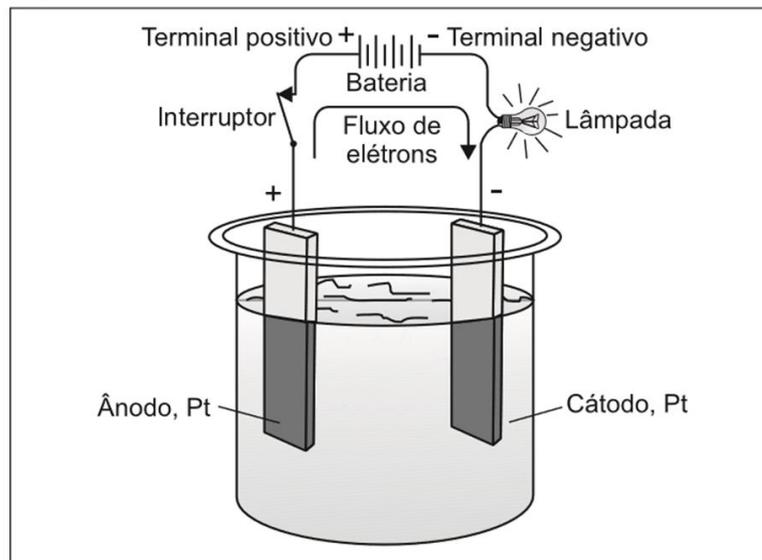
a) O que acontece no polo negativo? Quais espécies são formadas?

Respostas dos estudantes (antes das aulas práticas)	Resposta esperada	Incorpora, tangencia ou distancia?
<p>Ele é responsável por fazer a reação virar.  <b>EM 12</b></p>	<p>No polo negativo, ocorre redução da água com formação de <math>\text{OH}^-</math> e de <math>\text{H}_2</math>.</p>	Distancia
<p>No polo negativo ocorre redução, são formadas bolhas (gases).  <b>EV 11</b></p>		Tangencia
<p>Ocorre a redução polo negativo, líquido cor de rosa <math>\text{OH}^-</math>.  <b>EV 14</b></p>		Tangencia
<p>Ele passa a ser positivo, iodo.  <b>EV 24</b></p>		Distancia

b) O que acontece no polo positivo? Quais espécies são formadas?		
Ele solta as descarga para que possa formar as moléculas são formadas gases. <b>EM 14</b>	No polo positivo, o iodeto perde elétrons e forma iodo.	Distancia
O polo positivo da pilha é o cátodo, eletrodo em que ocorre a semirreação de redução, enquanto a oxidação se dá no anodo polo negativo da pilha. É formado iodo. <b>EV 15</b>		Incorpora
Processo de oxidação (polo positivo) Iodo. <b>EV 16</b>		Incorpora
A reação do negativo passa para o positivo, para formar gases. Gases de oxigênio, ou de hidrogênio, etc. <b>EV 22</b>		Distancia

c) Qual a função dos bastões de grafite?		
Os Bastões de grafite conduz a eletricidade para que aja uma reação. <b>EM 13</b>	A grafite atua como condutora de elétrons.	Incorpora
Passar corrente elétrica. <b>EV 14</b>		Incorpora
Fazer com que a corrente elétrica passe para a água. Como um condutor de eletricidade". <b>EV 22</b>		Incorpora
A transferências de polos – e +, tensão elétrica externa. <b>EV 24</b>		Distancia

3. (UFScar, 2005) A figura apresenta a eletrólise de uma solução aquosa de cloreto de níquel(II), NiCl<sub>2</sub>.



São dados as semi-reações de redução e seus respectivos potenciais:

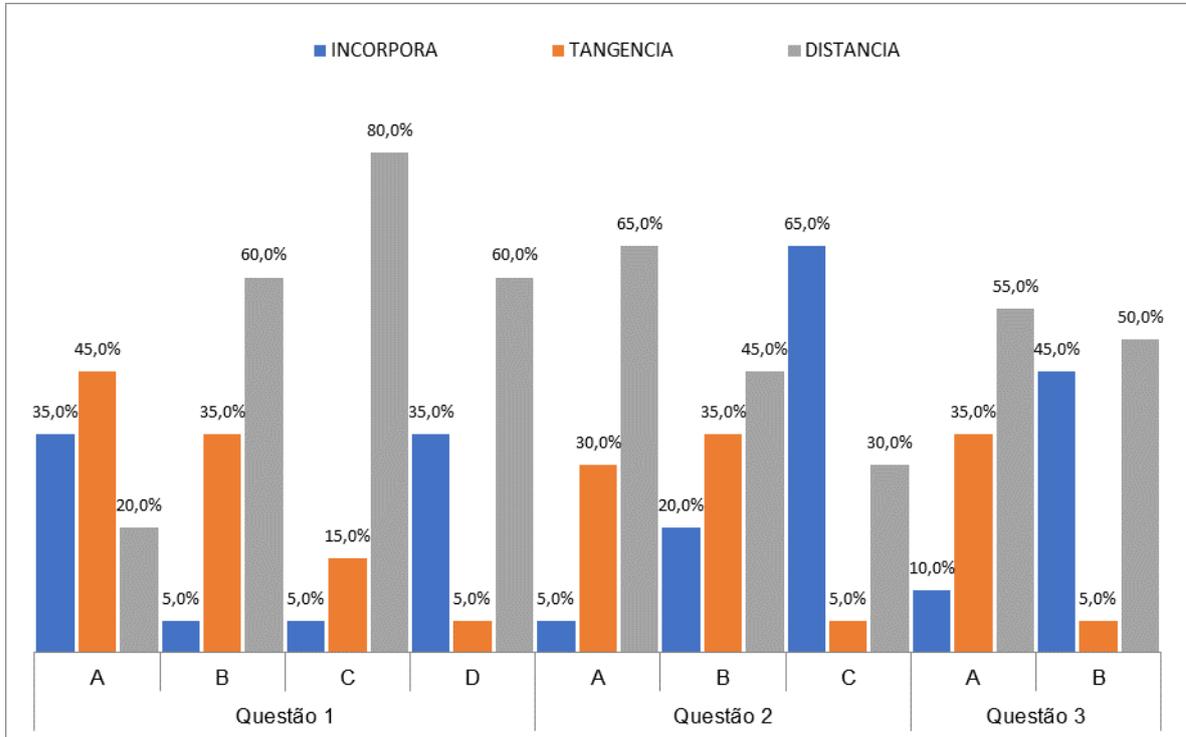


a) Indique as substâncias formadas no ânodo e no cátodo. Justifique.		
Respostas dos estudantes (antes das aulas práticas)	Resposta esperada	Incorpora, tangencia ou distancia?
$Ni^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Ni(s)$ . <b>EM 12</b>	polo negativo (cátodo): $Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow Ni(s)$ polo positivo (ânodo): $2Cl^{-}_{(aq)} \rightarrow 2e^{-} + Cl_{2(g)}$  No cátodo (onde ocorre a redução), temos a formação do metal níquel e no ânodo (onde ocorre a oxidação), a formação do gás cloro.	Distancia
Ânodo $Cl_{2(g)} + 2e^{-} \rightarrow 2Cl^{-}_{(aq)}$ Cátodo $Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow Ni(s)$ . <b>EM 13</b>		Tangencia
(-)cátodo = +1,36V, $Cl_{2(g)} + 2e^{-} \rightarrow 2Cl^{-}_{(aq)}$ , são oxidados (+)Anodo = -0,24 V $Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow Ni(s)$ , são reduzidos. <b>EV 11</b>		Distancia
$Cl_{2(g)} + Ni(s)$ . <b>EV 12</b>		Tangencia
b) Qual deve ser o mínimo potencial aplicado pela bateria para que ocorra a eletrólise? Justifique.		
$1,36 - (-0,24)$ $1,36 + 0,24 = 1,60$ . <b>EM 13</b>	$Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow Ni(s)$ -0,24V $2Cl^{-}_{(aq)} \rightarrow 2e^{-} + Cl_{2(g)}$ -1,36V <hr/> $Ni^{2+}_{(aq)} + 2Cl^{-}_{(aq)} \rightarrow Ni(s) + Cl_{2(g)}$ -1,60V  O mínimo potencial aplicado pela bateria para que ocorra a eletrólise é 1,60V.	Tangencia
“O recomendado é uma carga de 6V”. <b>EM 23</b>		Distancia
$\Delta E^{\circ} = 1,36 - (-0,24)$ $\Delta E^{\circ} = +1,60$ . “Esse deve ser o mínimo de potencial que deve ser aplicado para que ocorra a eletrólise”. <b>EV 13</b>		Incorpora
“O Ni ele o mínimo potencial por seu elétron são negativo”. <b>EV 25</b>		Distancia

\*Os códigos receberam as seguintes denominações: “E” de estudante, “M” de matutino, “V” vespertino, o primeiro número está relacionado com o grupo pertencente e o segundo número está relacionado com a ordem alfabética do primeiro nome dos estudantes.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Figura 3 – Classificação do conhecimento dos estudantes antes da realização das aulas expositivas em associação com as aulas experimentais sobre células eletrolíticas (APÊNDICE B – Questionário para avaliação das atividades experimentais realizadas pelos estudantes).



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Analisando a Figura 3 observam-se as altas porcentagens de respostas classificadas como “Distancia”, demonstrando a dificuldade dos estudantes em relação ao conteúdo de eletroquímica, especificamente envolvendo células eletrolíticas, o que reflete a necessidade de aulas experimentais com o envolvimento dos estudantes. Como já dito anteriormente os estudantes haviam estudado sobre o tema no bimestre anterior, porem uma percentagem pequena conseguiu fixar os conceitos sobre eletroquímica como mostra graficamente exposto na figura acima o termo “Incorpora”.

### 5.2.2 Questões relacionadas com célula a combustível: Consumo do combustível gás hidrogênio e geração de eletricidade

Sobre célula a combustível também foram selecionadas 3 questões de vestibulares, sendo a 1ª questão da UFG 2007 com uma única alternativa discursiva

para responder; a 2ª questão da UNICAMP 2000 e constava de 3 alternativas discursivas para responder; e a 3ª questão da PUC-Rio 2001 e constava de 2 alternativas discursivas para responder (ver APÊNDICE B – **Questionário para avaliação das atividades experimentais realizadas pelos estudantes**). As respostas dos estudantes obtidas encontram-se reunidas no Quadro 4. A Figura 4 expressa os resultados obtidos, considerando todos os 21 estudantes que responderam as questões sobre célula a combustível.

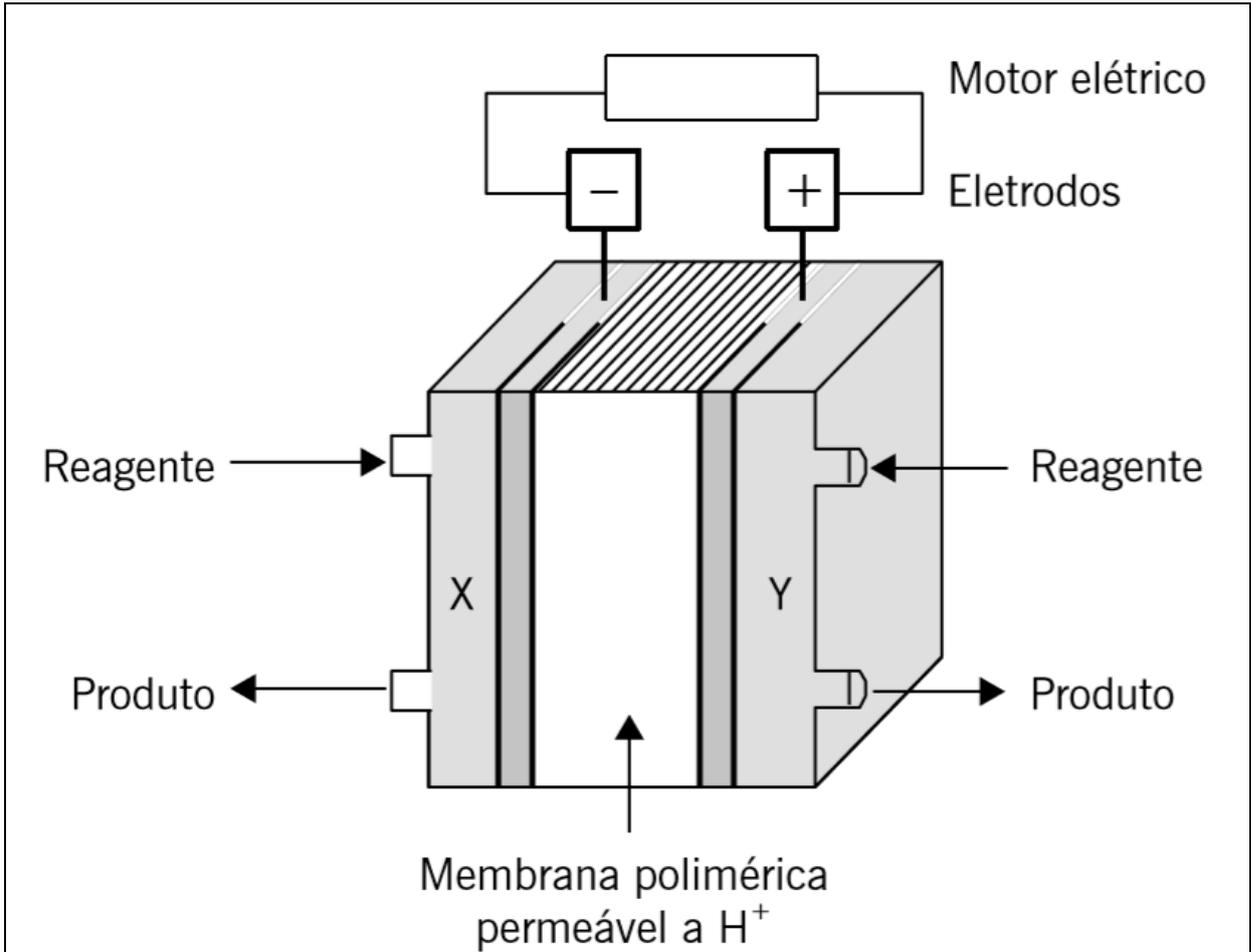
Quadro 4 – Respostas dos estudantes antes da realização das aulas expositivas em associação com as aulas experimentais sobre células a combustível.

<p>1. (UFG, 2007 Adaptado) Células a combustível geram eletricidade usando reagentes que são fornecidos continuamente. Veículos movidos com essas células são soluções promissoras para a emissão zero, ou seja, não são produzidos gases e outros produtos poluentes. Considere duas células a combustível, sendo uma alcalina, empregando <math>\text{KOH}_{(aq)}</math> como eletrólito, e uma de ácido fosfórico, empregando <math>\text{H}_3\text{PO}_{4(aq)}</math> como eletrólito. Com base nas semirreações abaixo, calcule o potencial-padrão de cada célula.</p>		
		$E^\circ / \text{V}$
	$\text{O}_{2(g)} + 4\text{H}^+_{(aq)} + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	+ 1,23
	$\text{O}_{2(g)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-_{(aq)}$	+0,40
	$2\text{H}^+_{(aq)} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(g)}$	0,00
	$2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(g)} + 2\text{OH}^-_{(aq)}$	-0,83
Respostas dos estudantes (antes das aulas práticas)	Resposta esperada	Incorpora, tangencia ou distancia?
$\text{O}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l) + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-(aq) = 0,40$ $4\text{H}_2\text{O}(l) + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2(g) + 4\text{OH}^-(aq)$ $= -0,83$ $1,23$	<p>Célula alcalina <math>E^\circ/\text{V}</math></p> $\text{O}_{2(g)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 4\text{e}^- \rightarrow$ $4\text{OH}^-_{(aq)} + 0,40$ $(2x) \text{H}_{2(g)} + 2\text{OH}^-_{(aq)} \rightarrow$ $2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 2\text{e}^- + 0,83$	Incorpora
$\text{O}_2(g) + 4\text{H}^+(aq) + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l) = + 1,23$ $4\text{H}^+(aq) + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2(g) = 0,00$ $1,23$ <b>EM 13</b>	$\text{O}_{2(g)} + 2\text{H}_{2(g)} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ $+1,23 \text{ V}$	

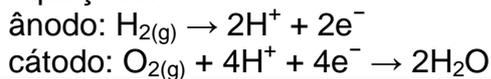
<p>Célula de oxigênio <math>\rightarrow \Delta E^\circ = +1,23 - (+0,40)</math>  <math>\Delta E^\circ = 1,23 - 0,40</math>  <math>\Delta E^\circ = 0,83V</math></p> <p>Célula de hidrogênio <math>\rightarrow \Delta E^\circ = 0,00 - (-0,83)</math>  <math>\Delta E^\circ = +0,83V</math>  <b>EV 17</b></p>	<p>Célula de ácido  fosfórico</p> <p><math>O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^- \rightarrow</math>  <math>2H_2O_{(l)} \quad +1,23 V</math></p>	<p>Distancia</p>
<p><math>\Delta E^\circ = E^\circ_{ox} + E^\circ_{red}</math>  <math>\Delta E^\circ = 1,23 + (+0,40)</math>  <math>\Delta E^\circ = +1,63</math></p> <p><math>\Delta E^\circ = E^\circ_{ox} + E^\circ_{red}</math>  <math>\Delta E^\circ = 0,40 + (-0,83)</math>  <math>\Delta E^\circ = -0,43</math></p> <p><math>\Delta E^\circ = E^\circ_{ox} + E^\circ_{red}</math>  <math>\Delta E^\circ = 1,23 + (-0,83)</math>  <math>\Delta E^\circ = 0,40</math>  <b>EV 21</b></p>	<p><math>(2x) H_{2(g)} \rightarrow 2H^+_{(aq)} +</math>  <math>2e^- \quad 0,00 V</math></p> <p><math>O_{2(g)} + 2H_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(l)}</math>  <math>+1,23 V</math></p>	<p>Distancia</p>
<p><math>O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow H_2O(l) = 1,23</math>  <math>2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2(g) = 0,00</math></p> <p><math>\Delta E^\circ = E^\circ_{ox} + E^\circ_{red}</math>  <math>\Delta E^\circ = 1,23 - 0,00</math>  <math>\Delta E^\circ = 1,23</math></p> <p><math>O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \rightarrow 4OH^-(aq) = 0,40</math>  <math>2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq) = -0,83</math></p> <p><math>\Delta E^\circ = E^\circ_{ox} + E^\circ_{red}</math>  <math>\Delta E^\circ = 0,40 - (-0,83)</math>  <math>\Delta E^\circ = 0,40 + 0,83</math>  <math>\Delta E^\circ = 1,23</math>  <b>EV 22</b></p>		<p>Incorpora</p>

2. (Unicamp, 2000) Há quem afirme que as grandes questões da humanidade simplesmente restringem-se às necessidades e à disponibilidade de energia. Temos de concordar que o aumento da demanda de energia é uma das principais preocupações atuais. O uso de motores de combustão possibilitou grandes mudanças, porém seus dias estão contados. Os problemas ambientais pelos quais estes motores podem ser responsabilizados, além de seu baixo rendimento, têm levado à busca de outras tecnologias.

Uma alternativa promissora para os motores de combustão são as celas de combustível que permitem, entre outras coisas, rendimentos de até 50% e operação em silêncio. Uma das mais promissoras celas de combustível é a de hidrogênio, mostrada no esquema abaixo:



Nessa cela, um dos compartimentos é alimentado por hidrogênio gasoso e o outro, por oxigênio gasoso. As semi-reações que ocorrem nos eletrodos são dadas pelas equações:



(a) Por que se pode afirmar, do ponto de vista químico, que esta cela de combustível é “não poluente”?

Respostas dos estudantes (antes das aulas práticas)	Resposta esperada	Incorpora, tangencia ou distancia?
Sim ela não libera nada. <b>EM 12</b>	Porque libera como produtos; água, elétrons e calor.	Distancia
Pois os componentes é alimentado por gases (gasosos), e porque ela emite o 2H <sub>2</sub> O, uma substância não poluente. <b>EV 11</b>		Incorpora
Pelo fato de não produzir CO <sub>2</sub> , e usar hidrogênio como um alimento. <b>EV 17</b>		Tangencia
Por liberar só 2H <sub>2</sub> O e não polui. <b>EV 21</b>		Incorpora

(b) Qual dos gases deve alimentar o compartimento X? Justifique.

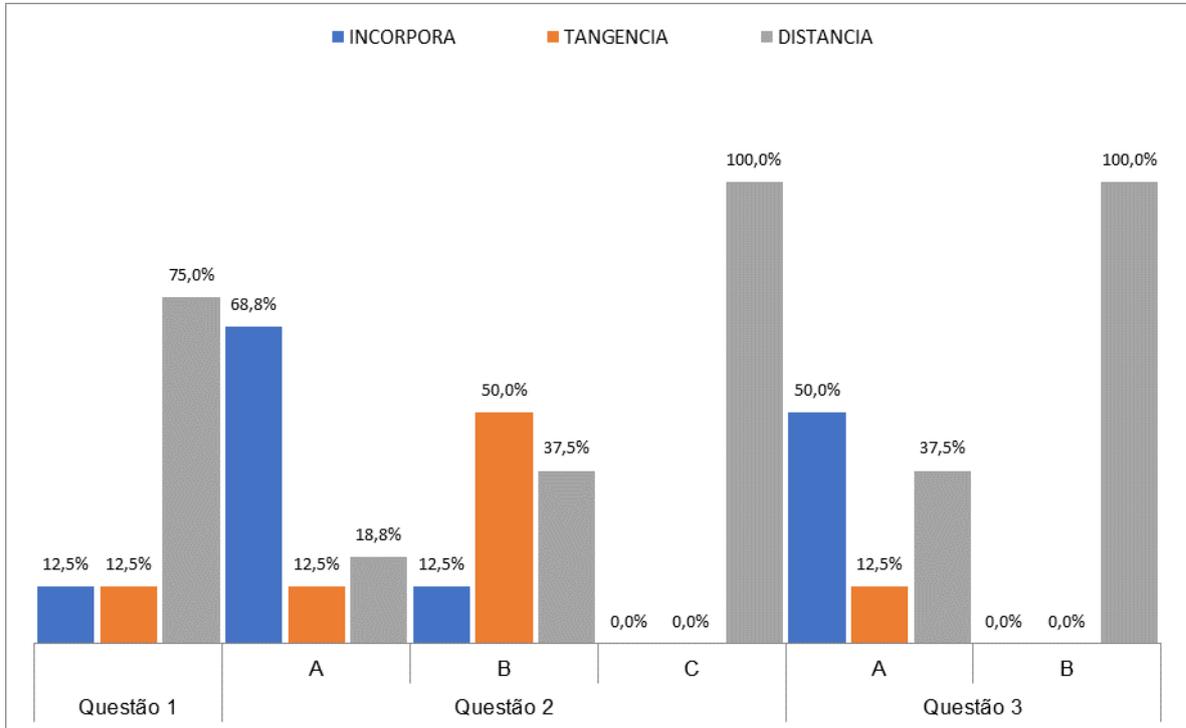
“H <sub>2</sub> , pois os opostos se atraem e H <sub>2</sub> é positivo e o compartimento X é negativo.” <b>EM 13</b>	Gás H <sub>2</sub> , porque é onde ocorre a oxidação (ou onde o H <sub>2</sub> passa para H <sup>+</sup> ) e, portanto, é onde os elétrons são liberados.	Tangencia
“Catodo = O <sub>2</sub> (g) + 4H <sup>+</sup> + 4e <sup>-</sup> = 2H <sub>2</sub> O.” <b>EV 12</b>		Distancia
“Hidrogênio, visto que o compartimento X precisa do hidrogênio.” <b>EV 14</b>		Incorpora
“Hidrogênio gasoso, pois é o ânodo, ou seja, o polo negativo.” <b>EV 17</b>		Incorpora
(c) Que proporção de massa entre os gases você usaria para alimentar a cela de combustível? Justifique.		
“Sal, pois ele conduz facilmente a eletricidade.” <b>EM 13</b>	1 H <sub>2</sub> : 8 O <sub>2</sub> ou 2 H <sub>2</sub> : 16 O <sub>2</sub> ou 4 H <sub>2</sub> : 32 O <sub>2</sub>  A estequiometria da reação mostra que reage 1 mol de H <sub>2</sub> com 1/2 mol de O <sub>2</sub> . A massa molar do H <sub>2</sub> é 2,0 e a massa molar do O <sub>2</sub> é 32, donde sai a proporção indicada.	Distancia
H <sub>2</sub> O + H <sup>+</sup> → OH <sup>-</sup> . <b>AM 14</b>		Distancia
H <sub>2</sub> O = 2H <sub>2</sub> O. <b>EV 16</b>		Distancia
“O hidrogênio porque ele alimenta a célula.” <b>EV 25</b>		Distancia
3. (PUC-Rio, 2001) A indústria automobilística está desenvolvendo, para a movimentação de veículos, novas tecnologias que são mais limpas e econômicas do que as usadas atualmente com os atuais combustíveis fósseis. Uma das possibilidades é uma pilha composta por dois terminais onde são injetados oxigênio e hidrogênio. Esses gases passam por um material poroso (níquel) para um meio rico em íons OH <sup>-</sup> que catalisam o processo a 200 °C. Abaixo, são mostradas as meia reações-padrão de redução que ocorrem na pilha e os respectivos potenciais-padrão e a reação global da pilha.		
$2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 2e \rightarrow \text{H}_{2(g)} + 2\text{OH}^{-}_{(aq)} \quad -0,83 \text{ V}$		
$\text{O}_{2(g)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 4e \rightarrow 4\text{OH}^{-}_{(aq)} \quad +0,40 \text{ V}$		
Reação global: $2\text{H}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(l)}$		
a) Identifique o ânodo e o cátodo e calcule o potencial padrão da pilha.		
Respostas dos estudantes (antes das aulas práticas)	Resposta esperada	Incorpora, tangencia ou distancia?
Ânodo = $2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 2e \rightarrow \text{H}_{2(g)} + 2\text{OH}^{-}_{(aq)}$ inverte	Como o potencial de redução da segunda	Incorpora

<p>Cátodo = <math>O_{2(g)} + 2H_2O(l) + 4e^- \rightarrow 4OH^-(aq)</math></p> <p><math>\Delta E^\circ = 0,40 + (+0,83)</math>  <math>\Delta E^\circ = 0,40 + 0,83</math>  <math>\Delta E^\circ = 1,23V</math>  <b>AV 17</b></p>	<p>meia reação é mais positivo, temos que esta é a meia cela de redução; logo a primeira meia reação tem que ser invertida por ser uma oxidação. Assim a reação total é:</p>	
<p>Anodo <math>2H_2O(l)</math>  Catodo <math>O_2 + H_2O(l)</math></p> <p><math>\Delta E^\circ = E^\circ_{oxidante} + E^\circ_{reductor}</math>  <math>\Delta E^\circ = 0,83 + 0,40</math>  <math>\Delta E^\circ = 1,23</math>  <b>AV 22</b></p>	<p><math>O_{2(g)} + 2H_{2(g)} \rightarrow 2H_2O</math></p>	<p>Incorpora</p>
<p>Cátodo = <math>2H_2(l) + 2e^- = H_2(g) + 2OH^-(aq)</math></p> <p>Ânodo = <math>O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \rightarrow 4OH^-(aq)</math></p> <p>Potencial da pilha 0,43.  <b>AV 24</b></p>	<p>e seu potencial (<math>E^0</math>) é <math>+0,83 + 0,40 = + 1,23 V</math>.</p>	<p>Distancia</p>
<p><math>\Delta E^\circ = 0,40 - (-0,83)</math>  <math>\Delta E^\circ = +0,43</math>  <b>AV 25</b></p>		<p>Distancia</p>
<p>b) Considerando que durante 1 hora de operação dessa pilha foram gerados 54g de água como subproduto, calcule a quantidade de mols de <math>O_{2(g)}</math> injetado na pilha durante esse período.</p>		
<p><math>\Delta E^\circ = 0,40 - (-0,83)</math>  <math>\Delta E^\circ = 0,40 + 0,83</math>  <math>\Delta E^\circ = 1,23</math>  <b>AV 16</b></p>		<p>Distancia</p>
<p><math>O_2</math> foi injetado 32 mols de <math>O_{2(g)}</math>  <b>AV 24</b></p>	<p>54g equivalem a 3 mols de <math>H_2O</math>. Como a estequiometria da reação é 1 mol de <math>O_2</math> para 2 de <math>H_2O</math>, seria necessária a injeção de 1,5 mols de <math>O_{2(g)}</math>.</p>	<p>Distancia</p>

\*Os códigos receberam as seguintes denominações: "E" de estudante, "M" de matutino, "V" vespertino, o primeiro número está relacionado com o grupo pertencente e o segundo número está relacionado com a ordem alfabética do primeiro nome dos estudantes".

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Figura 4 – Classificação do conhecimento dos estudantes antes da realização das aulas expositivas em associação com as aulas experimentais sobre células a combustível (APÊNDICE B – Questionário para avaliação das atividades experimentais realizadas pelos estudantes).



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Analisando a Figura 4, novamente a porcentagem de respostas classificadas como “Distancia” supera muito as outras duas classificações “Incorpora” e “Tangencia”, demonstrando mais uma vez a dificuldade dos estudantes em relação ao conteúdo de eletroquímica, novamente reforçando a necessidade de aulas experimentais com o envolvimento dos estudantes.

Considerando as dificuldades iniciais observadas em relação aos conceitos fundamentais de eletroquímica para o prosseguimento deste trabalho, decidiu-se, num primeiro momento, pelas aulas expositivas dialogadas e leitura de artigos e, num segundo momento, pelas aulas experimentais envolvendo conceitos de célula eletrolítica e célula a combustível.

### 5.3 EXPECTATIVAS COM AS AULAS EXPOSITIVAS DIALOGADAS

Após análise dos resultados obtidos com as questões de vestibulares aplicadas antes da experimentação sobre eletroquímica (APÊNDICE B – **Questionário para avaliação das atividades experimentais realizadas pelos estudantes**), decidiu-se pela necessidade de 5 (cinco) aulas expositivas de 50 minutos abordando o tema eletroquímica, que foram realizadas nos dias 09, 10, 23, 29 e 30 de outubro de 2019. As aulas expositivas foram importantes para o nivelamento dos conhecimentos entre os estudantes. O professor conduziu as aulas sempre com questões relacionadas com o cotidiano dos estudantes, como por exemplo, a deposição eletroquímica de uma fina camada de um metal sobre uma superfície metálica, a fabricação do alumínio, produção de cloro e soda cáustica. As aulas foram dinâmicas e contou com a participação dos estudantes com questões relacionadas ao tema eletroquímico, como por exemplo, ao processo de recobrimento metálico “Professor, para cromar um objeto este não é mergulhado em uma solução fundida?”, ou relacionadas ao processo de fabricação da soda cáustica “Professor, como que é feito a soda?”, “Professor, a gente consegue fazer?”, “Professor, daria para minha avó fazer sabão com essa soda?”. Ao final das aulas expositivas, os estudantes perguntavam a todo o momento quando aconteceriam as aulas experimentais no laboratório e mostravam-se curiosos, entusiasmados pelo conteúdo de eletroquímica. Os estudantes estavam empolgados para colocar em prática os conceitos aprendidos nas aulas expositivas dialogadas.

### 5.4 ESTUDO E QUESTÕES DO ARTIGO DA QUÍMICA NOVA NA ESCOLA E UTILIZAÇÃO DO KIT EXPERIMENTAL DA CÉLULA ELETROLÍTICA

A exploração do artigo da Química Nova na Escola (SARTORI *et al.*, 2013) e a utilização do *kit* experimental para montagem e funcionamento da célula eletrolítica foram previstas nos momentos 4 e 5 do Quadro 1. No laboratório preparado para a realização do experimento com a célula eletrolítica, o professor alertou os estudantes para as medidas básicas de segurança, solicitou atenção para as atividades propostas. Cada dois estudantes recebeu uma cópia impressa do artigo “Construção de Uma Célula Eletrolítica para o Ensino de Eletrólise a Partir de

Materiais de Baixo Custo”. Para otimizar o tempo de leitura do artigo na escola, o professor também o compartilhou nas redes sociais. Em seguida, o professor organizou os estudantes em 4 (quatro) grupos (ver grupos formados no Quadro 2), distribuiu as questões relacionadas com o artigo e os *kits* para montagem e funcionamento da célula eletrolítica. Os resultados obtidos nesses dois momentos encontram-se reunidos nos itens 5.4.1 e 5.4.2 de experimentos.

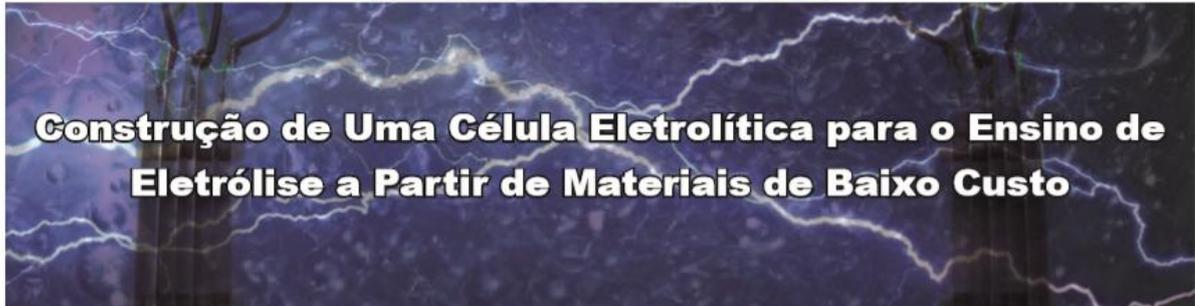
#### **5.4.1 Estudo, questões e embasamento teórico do artigo “Construção de Uma Célula Eletrolítica para o Ensino de Eletrólise a Partir de Materiais de Baixo Custo”**

Nessa atividade, priorizou-se o trabalho em grupo (ver Quadro 2). Para responder as questões os grupos receberam uma tabela de potenciais padrão de redução. Em seguida, os estudantes iniciaram a atividade de forma autônoma e supervisionados pelo professor. As respostas dos quatro grupos de estudantes relacionadas com o APÊNDICE C – 1º EXPERIMENTO – 1ª etapa, foram avaliadas, tendo como parâmetro as respostas esperadas, tendo sido atribuído os termos “Incorpora”, “Tangencia” ou “Distancia” e estão reunidas no Quadro 5. A Figura 5 apresenta os resultados obtidos após análise das respostas dos quatro grupos que responderam as questões sobre o artigo.

Quadro 5 – Avaliação das respostas elaboradas pelos grupos com base na leitura do artigo da Química Nova na Escola.

**1ª Etapa: Leitura do artigo “Construção de Uma Célula Eletrolítica para o Ensino de Eletrólise a Partir de Materiais de Baixo Custo”**

EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA



**Elen R. Sartori, Vagner B. dos Santos, Aline B. Trench e Orlando Fatibello-Filho**

Nesse artigo, é descrita a construção de uma célula eletrolítica a partir de materiais de baixo custo para um experimento de eletrólise com uma solução de KI 0,1 mol L<sup>-1</sup>. Íons iodeto foram oxidados a iodo no ânodo, visualizado pela cor castanho-amarelada formada, e a água foi reduzida no cátodo, produzindo íons hidroxilas que causaram a mudança de cor de uma solução de extrato de repolho roxo. Ademais, determinou-se o valor da constante de Avogadro a partir da carga envolvida na eletrólise.

► célula eletrolítica, reações de oxidação-redução, eletrólise ◀

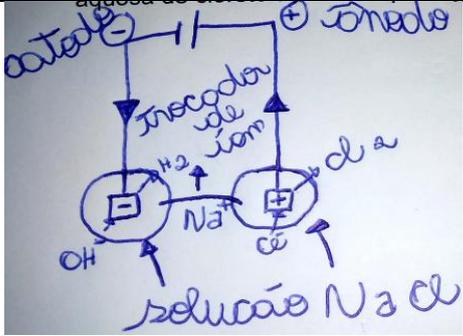
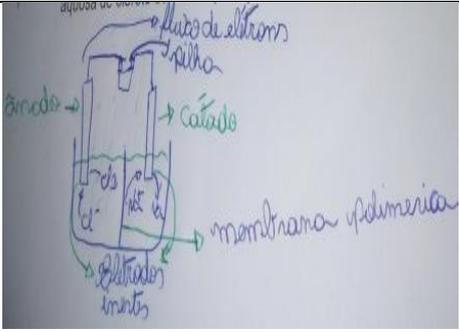
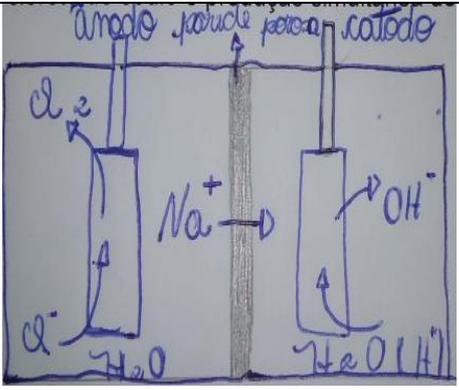
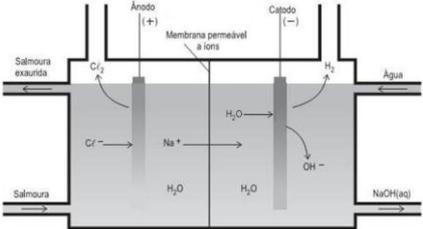
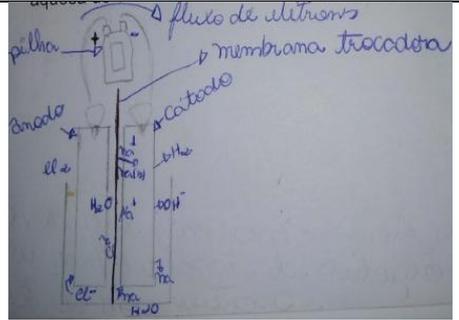
SARTORI, E. R.; SANTOS, V. B.; TRENCH, A. B.; FATIBELLO-FILHO, O. Construção de Uma Célula Eletrolítica para o Ensino de Eletrólise a Partir de Materiais de Baixo Custo. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n.35, p. 107-111, 2013. Disponível em [http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35\\_2/07-EEQ-02-12.pdf](http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35_2/07-EEQ-02-12.pdf).

1- (a) Descrever a constituição de uma célula eletrolítica.

Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
É composta por dois eletrodos o catodo (negativo) e o ânodo (positivo) e também uma fonte geradora de eletricidade.  <b>Grupo EM1</b>	Uma célula eletrolítica é constituída de dois eletrodos – o ânodo (potencial positivo) e o cátodo (potencial negativo) –, mergulhados em uma solução aquosa ou solvente contendo íons, conhecida como eletrólito, e ainda por uma fonte externa que fornecerá energia a essa célula, produzindo reações de oxidação e redução não espontâneas nos eletrodos.	Incorpora
É um dispositivo em que ocorre eletrólise.  <b>Grupo EM2</b>		Distancia

<p>É constituída de dois eletrodos inertes; ânodo (positivo) e catodo (negativo), mergulhados em uma solução aquosa ou solvente contendo íons e uma fonte externa.</p> <p><b>Grupo EV1</b></p>		<p>Incorpora</p>
<p>Constituída por um ânodo e um cátodo, potencial positivo e negativo, juntamente com uma solução iônica e um carregador de celular que fornecerá energia a essa célula, produzindo gases e metais sólidos.</p> <p><b>Grupo EV2</b></p>		<p>Incorpora</p>

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.

Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
 <p><b>Grupo EM1</b></p>		Incorpora
 <p><b>Grupo EM2</b></p>		Distancia
 <p><b>Grupo EV1</b></p>	 <p>Fonte: Kotz e Treichel, 1998 - modificada.</p>	Incorpora
 <p><b>Grupo EV2</b></p>		Incorpora

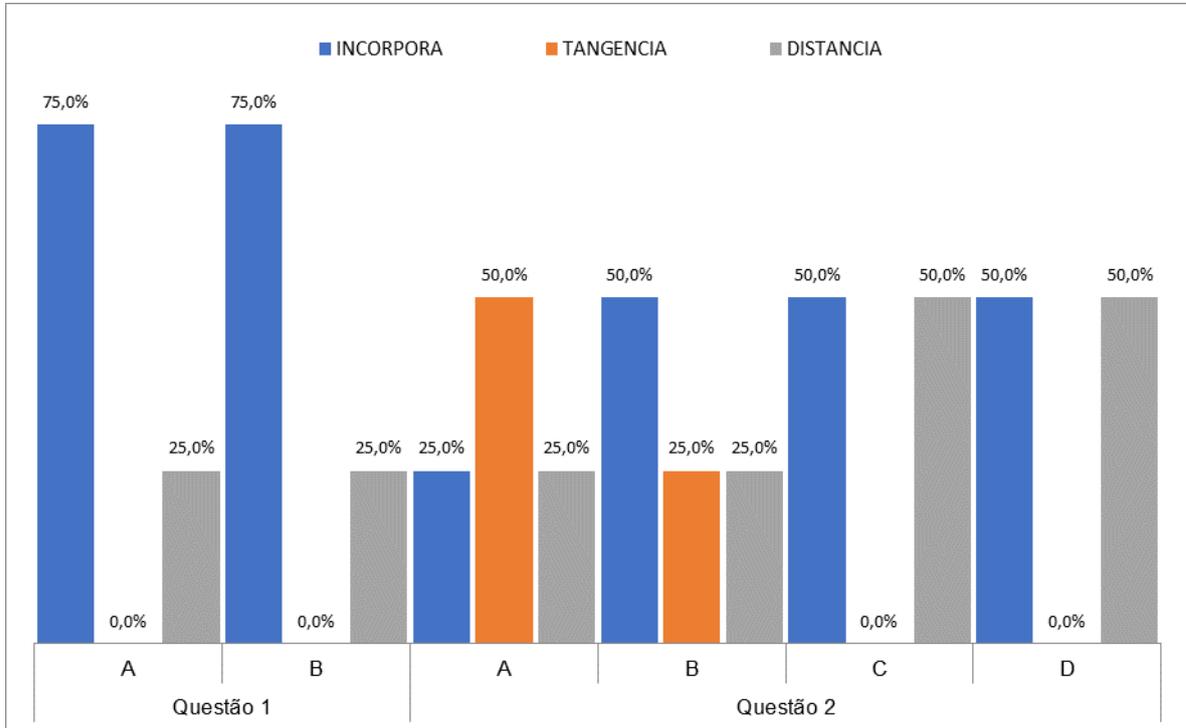
2- Para a eletrólise de uma solução aquosa de iodeto de potássio, KI, representar: (a) A semirreação no cátodo.		
Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
A água flui reduzindo no cátodo produzindo íons hidroxilos causando mudança de cor da solução de extrato de repolho roxo.  <b>Grupo EM1</b>	$2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-_{(aq)}$ ..... cátodo: $E_{red}^o = -0,83 V$	Tangencia
$\frac{1}{2} - (aq)L_2(S) + 2e^-$  <b>Grupo EM2</b>		Distancia
$2H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- - 0,83 V$  <b>Grupo EV1</b>		Tangencia
$2H_2O(aq) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq) - 0,83 V$  <b>Grupo EV2</b>		Incorpora
2- Para a eletrólise de uma solução aquosa de iodeto de potássio, KI, representar: (b) A semirreação no ânodo.		
Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
Íons iodeto foram oxidados a iodo no ânodo visualizado pela cor castanho-amarelo.  <b>Grupo EM1</b>	$2I^-_{(aq)} \rightarrow I_2(s) + 2e^-$ ..... ânodo: $E_{oxi}^o = -0,54 V$	Tangencia
$2H_3O1^+(aq) + 2e^- \rightarrow 2H_2O(l) + 1H_2(g)$  <b>Grupo EM2</b>		Distancia

$2I^- \rightarrow I_{2(s)} + 2e^- \quad E^\circ - 0,54 V$  <b>Grupo EV1</b>		Incorpora
$2I^-(aq) \rightleftharpoons I_{2(s)} + 2e^- - 0,54 V$  <b>Grupo EV2</b>		Incorpora
2- Para a eletrólise de uma solução aquosa de iodeto de potássio, KI, representar: (c) A reação global da célula eletrolítica.		
Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$  <b>Grupo EM1</b>		Distância
$2KI(aq) + 2H_2O(l)$ $\rightarrow I_{2(s)} + 1H_2(g)$ $+ 2K^+(aq)$ $+ 2OH^-(g)$  <b>Grupo EM2</b>	$2H_2O(l) + 2I^-_{(aq)}$ $\rightarrow H_{2(g)} + I_{2(s)}$ $+ 2OH^-_{(aq)}$	Distância
$2H_2O + 2I^- \rightarrow H_2 + I_2 + 2OH^- \quad \Delta E^\circ = -1,37V$  <b>Grupo EV1</b>		Incorpora
$2H_2O(l) + 2I^-(aq)$ $\rightarrow H_2(g) + I_2(S)$ $+ 2OH^-(aq) = -1,37V$  <b>Grupo EV2</b>		Incorpora
2- Para a eletrólise de uma solução aquosa de iodeto de potássio, KI, representar: (d) Identificar se os potenciais padrão são de redução ou de oxidação e determinar o potencial padrão da célula.		
Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?

<p>Esse processo constitui uma reação de oxidação e redução e a soma das duas semirreações nos elétrons é a reação global na célula eletrolítica.</p> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM1</b></p>		Distancia
<p>SRO = <math>2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^-</math>  <math>\rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})</math>  <math>= -0,83 \text{ V}</math></p> <p>SRR = <math>2\text{I}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{I}_2(\text{s}) + 2\text{e}^- = 0,54 \text{ V}</math></p> <p>RG = <math>2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{I}^-(\text{aq})</math>  <math>\rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{s})</math>  <math>+ 2\text{OH}^-(\text{aq}) = -1,37\text{V}</math></p> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM2</b></p>	$E_{red}^o = -0,83 \text{ V}$ $E_{red}^o = +0,54 \text{ V}$ $E_{célula}^o = E_{cátodo}^o - E_{ânodo}^o$ $E_{célula}^o = -0,83 - (+0,54)$ $E_{célula}^o = -1,37 \text{ V}$	Incorpora
<p>Pelas semirreações de redução da <math>\text{H}_2\text{O}</math> e oxidação do iodo com formação <math>\text{I}_2</math>, estabelece a razão molar entre <math>\text{I}_2</math> ou <math>\text{OH}^-</math>.</p> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV1</b></p>		Distancia
<p><math>\Delta E^o = (\text{ag. r}) - E^o(\text{ag. o}).</math>  <math>\Delta E^o = (-0,83) - (+0,54)</math>  <math>\Delta E^o = -1,37 \text{ V}</math></p> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV2</b></p>		Incorpora

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Figura 5 – 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” (APÊNDICE C – 1º EXPERIMENTO – 1ª etapa).



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

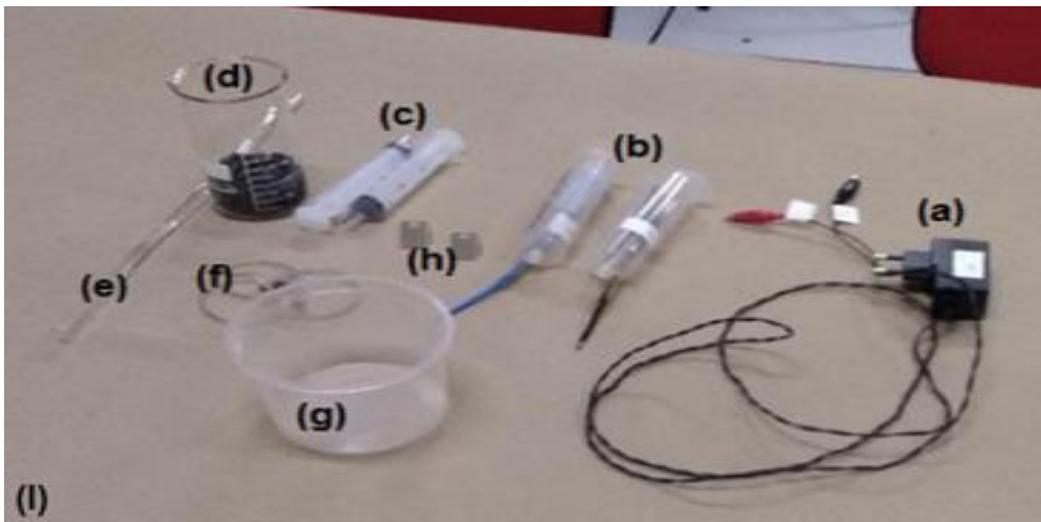
Analisando as porcentagens apresentadas na Figura 5, percebe-se que mesmo após aula expositiva dialogada e leitura do artigo assistida pelo professor, os estudantes apresentaram rendimento abaixo do esperado. Mais uma evidência de que o tema eletroquímica não é simples, exigindo do professor uma dedicação mais efetiva com a exploração do conteúdo e carga horária, justificando o uso da experimentação como metodologia didática para facilitar o processo ensino-aprendizagem.

#### 5.4.2 Utilização do *Kit* experimental para montagem da célula eletrolítica: Produção do combustível gás hidrogênio e consumo de eletricidade

Após leitura e resolução das questões do artigo pelos grupos, os estudantes iniciaram o 5º momento de atividade com a montagem da célula eletrolítica e a realização do experimento seguindo o roteiro experimental descrito no APÊNDICE C

– 1º EXPERIMENTO – 2ª etapa. Considerando a segurança dos estudantes, o professor preparou e distribuiu os materiais e reagentes químicos para a montagem da célula eletrolítica, Figura 6.

Figura 6 – Materiais (I) para montagem da célula eletrolítica e produção dos gases hidrogênio e oxigênio. (a) Fonte de corrente contínua; (b) cátodo e ânodo de aço inox; (c) seringas descartáveis de 20 mL; (d) feijão preto como indicador de pH; (e) bastão de vidro; (f) escalpes; (g) recipiente de plástico; (h) presilhas de crachá.



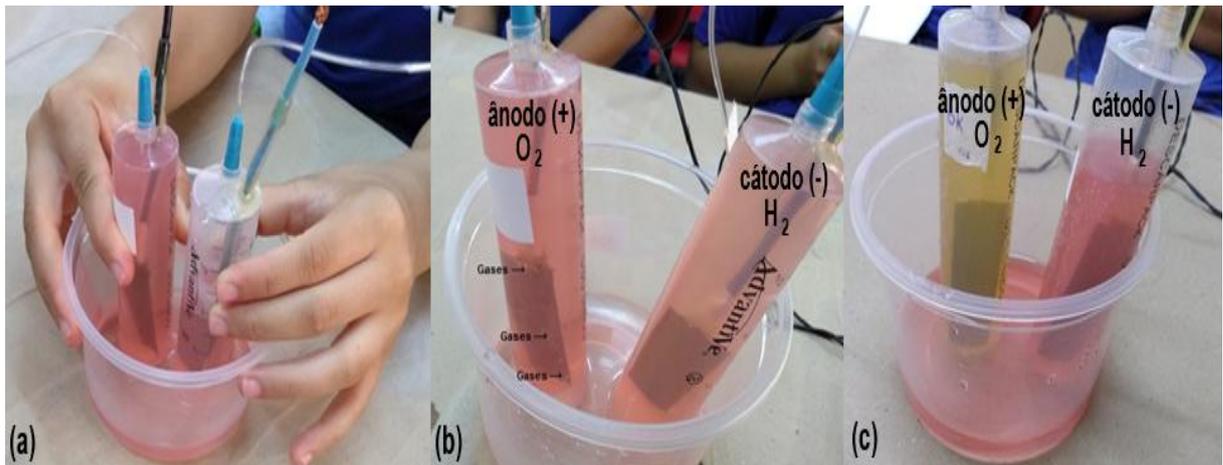
Fonte: Do Autor, 2019.

Já no início da atividade experimental, o professor observou que os estudantes adquiriram um espírito de curiosidade e ansiedade ao mesmo tempo, ao julgar hipóteses do que poderia acontecer durante a execução do experimento. O professor observou também a elevação da autoestima da turma, o que contribuiu para o entrosamento do grupo e realização do experimento. A realização do experimento em grupo favoreceu muito as trocas de ideias e opiniões, aflorando a ajuda coletiva.

A produção dos gases hidrogênio e oxigênio aconteceram de maneira espontânea. As colaborações entre os estudantes e o trabalho em equipe proporcionou trabalho compartilhado, tomadas decisão entre os estudantes, além despertar a curiosidade pela disciplina de Química.

Os estudantes consideraram importante o que poderia acontecer durante a execução da pesquisa, sempre com olhar atento a cada procedimento realizado. Os estudantes observaram a diferença em quantidades e tamanhos das bolhas formadas pelos gases hidrogênio oxigênio Figura 7.

Figura 7 – Etapas do procedimento experimental para a geração dos gases hidrogênio e oxigênio. (a) Aspiração da solução eletrolítica, ácido sulfúrico 0,5 mol/L, contendo o extrato de feijão preto como indicador alternativo de pH; (b) liberação do gás hidrogênio no cátodo (-) e do gás oxigênio no ânodo (+); (c) volume maior do gás hidrogênio em comparação ao volume do gás oxigênio.



Fonte: Do Autor, 2019.

A observação do experimento acontecendo despertou a atenção de todos, ao ponto de alguns estudantes expressarem o que estava ocorrendo, a estudante **EM23**, do grupo **EM2**, comentou com seus colegas “moço mais que louco, olha lá dentro das seringas as bolinhas saindo”. A aluna estava se referindo à redução eletrolítica da água ocorrendo no cátodo e geração do gás hidrogênio, volume maior, e oxidação eletrolítica da água ocorrendo no ânodo e geração do gás oxigênio, menor volume.

Os grupos executaram o experimento com a célula eletrolítica e responderam as 2 questões relacionadas com o experimento. As respostas elaboradas pelos quatro grupos de estudantes, relacionadas com o APÊNDICE C – 1º EXPERIMENTO – 2ª etapa, foram avaliadas, tendo como parâmetro as respostas conforme o Quadro 6. Foram atribuídos os termos “Incorpora”, “Tangencia” ou “Distancia” para as respostas. A Figura 8 apresenta os resultados em porcentagem após análise das respostas dos quatro grupos que participaram da experimentação.

Quadro 6 – Avaliação das respostas elaboradas pelos grupos com base nas observações experimentais (**APÊNDICE C – 1º EXPERIMENTO – 2ª etapa**).

<b>2ª Etapa: Montagem e funcionamento da célula eletrolítica</b>		
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.		
Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
O lado que ficou com uma cor mais clara e que a água estiver descendo mais rápido é o anodo ou seja ele está produzindo mais gás.  <b>Grupo EM1</b>	A seringa contendo a solução vermelha é o cátodo. A seringa contendo a solução amarela é o ânodo.	Distancia
O ânodo está em amarelo, oxidação da água e desprendimento de oxigênio, e o cátodo em vermelho, redução da água e desprendimento de hidrogênio.  <b>Grupo EM2</b>		Incorpora
O catodo 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.  <b>Grupo EV1</b>		Tangencia
O hidrogênio é o cátodo e o oxigênio é o ânodo, o cátodo ficou com a cor amarelada e o ânodo ficou vermelho.  <b>Grupo EV2</b>		Tangencia
1- (b) Observar os volumes dos gases produzidos. Qual a explicação para a diferença nos volumes dos gases?		
Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
O lado negativo vai produzir mais gases por ter vários elétrons positivos ao redor.  <b>Grupo EM1</b>	O volume de hidrogênio gasoso formado (seringa com solução vermelha) é o dobro do volume de oxigênio gasoso (seringa com solução amarela). Os volumes expressam as proporções dos	Tangencia

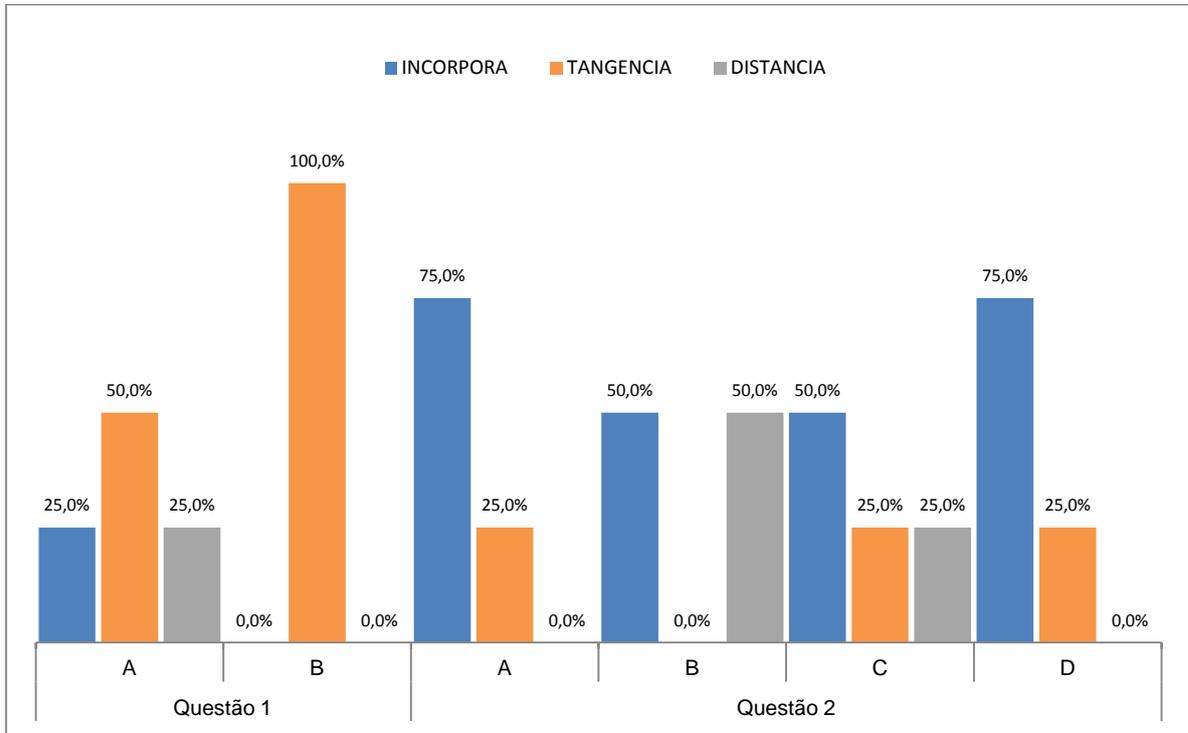
<p>Oxigênio 1mL para hidrogênio 2,5mL, o ácido sulfúrico contém maior quantidade de hidrogênio acelerando todo o processo. Isso se justifica que o ácido sulfúrico tem íons H<sup>+</sup> agindo como catalisador acelerando o processo.</p> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM2</b></p>	<p>átomos na molécula de água (reagente). A estequiometria da reação evidencia que a decomposição de 2 mols de moléculas de água produz o um mol de gás oxigênio e dois mols de gás hidrogênio, ou seja, o volume de gás hidrogênio produzido é o dobro do volume de gás oxigênio.</p>	Tangencia
<p>Porque na eletrólise usando H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> que já existe hidrogênio, acelera o procedimento gerando mais H<sup>+</sup>.</p> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV1</b></p>		Tangencia
<p>Os volumes dos gases eram diferentes, pois um reproduzia mais rápido que o outro.</p> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV2</b></p>		Tangencia
<p>2- Para a eletrólise de uma solução aquosa de ácido sulfúrico, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 mol/L, representar: (a) A semirreação no cátodo.</p>		
Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
$4H^+_{(aq)} + 4e^- \rightleftharpoons 2H_{2(g)}$ $E^\circ = 0,0 V$  <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM1</b></p>	$4H^+_{(aq)} + 4e^- \rightarrow 2H_{2(g)} \dots\dots\dots$  cátodo: $E^\circ_{red} = 0,00 V$	Incorpora
$4H^+(aq) + 4e^- \rightleftharpoons 2H_2(g) = 0,00V$  <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM2</b></p>		Incorpora
$4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2(g)$ $E^\circ_{red} = 0,0V$  <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV1</b></p>		Incorpora
$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$  <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV2</b></p>		Tangencia
<p>2- Para a eletrólise de uma solução aquosa de ácido sulfúrico, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 mol/L, representar: (b) A semirreação no ânodo.</p>		

Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
$2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{H}^+(\text{aq}) + 4\text{e}^- \quad E^\circ = +1,23 \text{ V}$ <b>Grupo EM1</b>	$2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 4\text{e}^-$ ..... ânodo: $E_{\text{red}}^\circ = +1,23 \text{ V}$	Distancia
$2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 4\text{e}^-$ $= +1,23\text{V}$ <b>Grupo EM2</b>		Incorpora
$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \quad E_{\text{red}}^\circ = +1,23\text{V}$ <b>Grupo EV1</b>		Incorpora
$2\text{OH}^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2 + 2\text{e}^-$ <b>Grupo EV2</b>		Distancia
<p>2- Para a eletrólise de uma solução aquosa de ácido sulfúrico, <math>\text{H}_2\text{SO}_4</math> 0,5 mol/L, representar:</p> <p>(c) A reação global da célula eletrolítica.</p>		
Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
$2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{O}_2(\text{g})$ <b>Grupo EM1</b>	$2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g})$	Distancia
$2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g})$ <b>Grupo EM2</b>		Incorpora
$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g})$ <b>Grupo EV1</b>		Incorpora
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ $2\text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + \text{H}_2 + 2\text{e}^-$ $2\text{H}^+ + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ <b>Grupo EV2</b>		Tangencia

2- Para a eletrólise de uma solução aquosa de ácido sulfúrico, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,5 mol/L, representar: (d) Determinar o potencial padrão da célula.		
Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
$E_{\text{oxidante}}^{\circ} - E_{\text{reductor}}^{\circ}$ $0,0 - (+1,23)$ $E^{\circ} = -1,23 \text{ V}$ <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM1</b></p>		Incorpora
$E_{\text{célula}}^{\circ} = E_{\text{cátodo}}^{\circ} - E_{\text{ânodo}}^{\circ}$ $E_{\text{célula}}^{\circ} = 0,0 - (+1,23)$ $E_{\text{célula}}^{\circ} = -1,23 \text{ V}$ <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM2</b></p>		Incorpora
$\Delta E^{\circ} = E_{(\text{ag oxi})}^{\circ} - E_{(\text{ag red})}^{\circ}$ $\Delta E^{\circ} = 1,23 - 0,00$ $\Delta E^{\circ} = +1,23 \text{ V}$ <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV1</b></p>		Tangencia
$2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{H}_2 \quad E^{\circ} = 0,0\text{V}$ $\underline{2\text{OH}^{-} \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^{-} \quad E^{\circ} = 1,23\text{V}}$ $2\text{H}^{+} + 2\text{OH}^{-} \rightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ $\Delta E^{\circ} = E_{(\text{ag oxi})}^{\circ} - E_{(\text{ag red})}^{\circ}$ $\Delta E^{\circ} = 0 - (+1,23\text{V})$ $\Delta E^{\circ} = -1,23\text{V}$ <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV2</b></p>		Incorpora

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Figura 8 – Classificação das respostas dos estudantes para as duas questões relacionadas montagem e funcionamento da célula eletrolítica (**APÊNDICE C – 1º EXPERIMENTO – 2ª etapa**).



Fonte: Do Autor, 2020.

Comparando o quantitativo de respostas com atribuição do termo "Incorpora", obtidas concomitantemente com a experimentação, em relação às respostas das questões baseadas na leitura do artigo e nas respostas das questões de vestibulares aplicadas no momento inicial do projeto, considerou-se muito bom o aproveitamento dos conceitos abordados com a aula prática.

## 5.5 ESTUDO E QUESTÕES DO ARTIGO DA QUÍMICA NOVA NA ESCOLA E UTILIZAÇÃO DO KIT EXPERIMENTAL DA CÉLULA A COMBUSTÍVEL

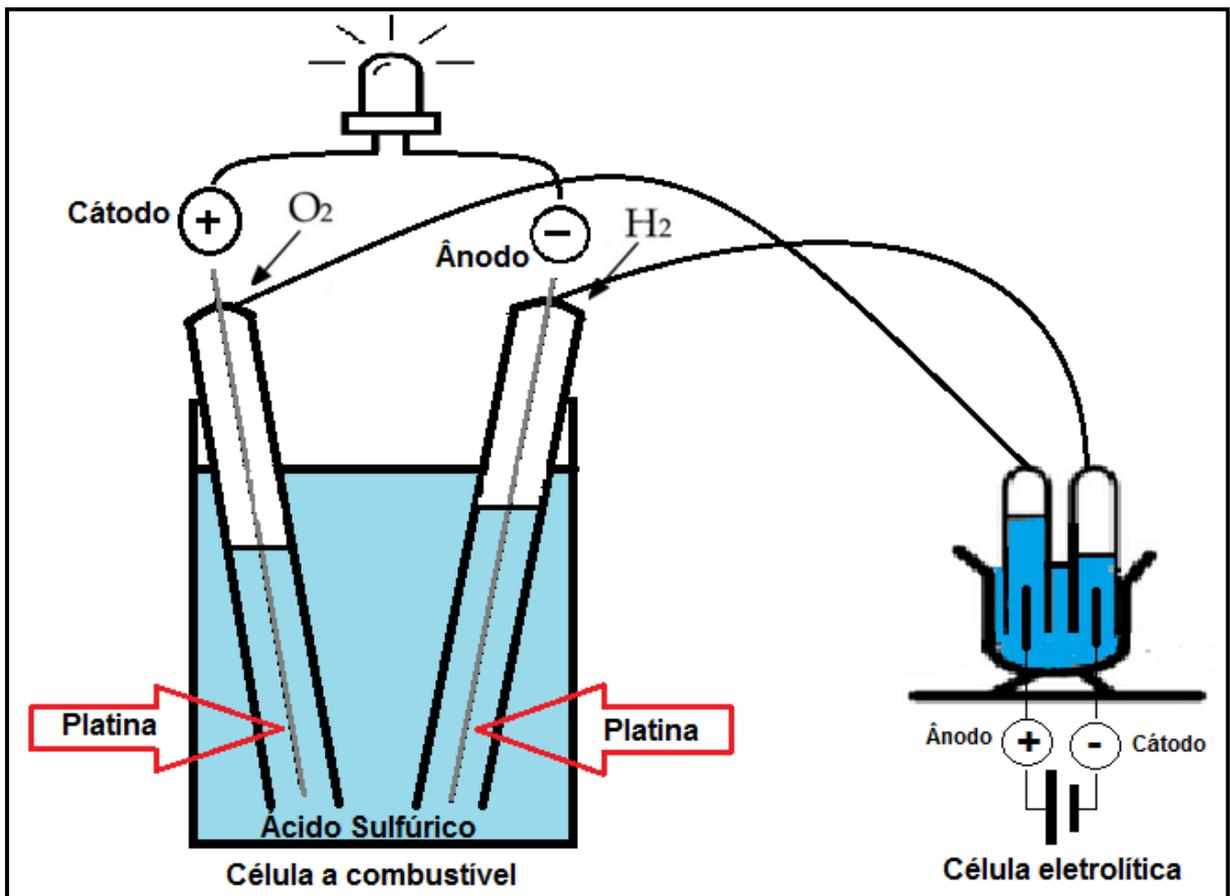
Para otimizar o tempo de experimentação e facilitar a compreensão das etapas de atividades, seguiu-se a mesma sequência adotada para o item 5.4 (ESTUDO E QUESTÕES DO ARTIGO DA QUÍMICA NOVA NA ESCOLA E UTILIZAÇÃO DO KIT EXPERIMENTAL DA CÉLULA ELETROLÍTICA). O estudo da célula a combustível iniciou com a exploração do artigo da Química Nova na Escola

(VILLULLAS *et al.*, 2002), experimento com associações em série e em paralelo de pilhas comuns e a utilização do *kit* experimental para montagem e funcionamento da célula a combustível, como previsto nos momentos 6, 7 e 8 do Quadro 1. Novamente o professor alertou os estudantes para as medidas básicas de segurança, solicitou atenção para as atividades propostas. Cada dois estudantes recebeu uma cópia impressa do artigo “Células a Combustível: Energia Limpa a Partir de Fontes Renováveis”. Para otimizar o tempo de leitura do artigo na escola, o professor também o compartilhou nas redes sociais, com certa antecedência. Em seguida o professor organizou os estudantes em 4 (quatro) grupos (ver grupos formados no Quadro 2), distribuiu as questões relacionadas com o artigo e os dois *kits* para montagem e funcionamento da célula eletrolítica. Os resultados obtidos nesses três momentos encontram-se reunidos nos itens 5.5.1, 5.5.2 e 5.5.3 de experimentos.

#### **5.5.1 Estudo, questões e embasamento teórico do artigo “Células a Combustível: Energia Limpa a Partir de Fontes Renováveis”.**

Novamente priorizou-se o trabalho em grupo (ver Quadro 2). A dinâmica de estudo foi a seguinte, o professor determinou que cada estudante lesse um trecho do artigo como estímulo e participação de todos na leitura e interpretação, levando-os a compreender os fenômenos abordados, bem como discutir e expor as ideias de acordo com a interpretação. Os questionamentos dos estudantes demonstravam o envolvimento deles com o conteúdo de eletroquímica, como por exemplo, a aluna EV25 compara as explicações teóricas prévias do professor com o descrito no artigo: “Pera aí professor, como assim? o senhor disse em aulas anteriores que a gente ia fazer a célula a combustível utilizando platina e ácido sulfúrico e aqui não aparece este tipo de célula.” Nesse momento o professor esquematizou na lousa e explicou o funcionamento do conjunto célula eletrolítica (conversão de energia elétrica em energia química) acoplada à célula a combustível (conversão de energia química em energia elétrica), Figura 9. A dinâmica favoreceu o envolvimento dos estudantes com as discussões e demonstrou a grande ansiedade para explorar a experimentação.

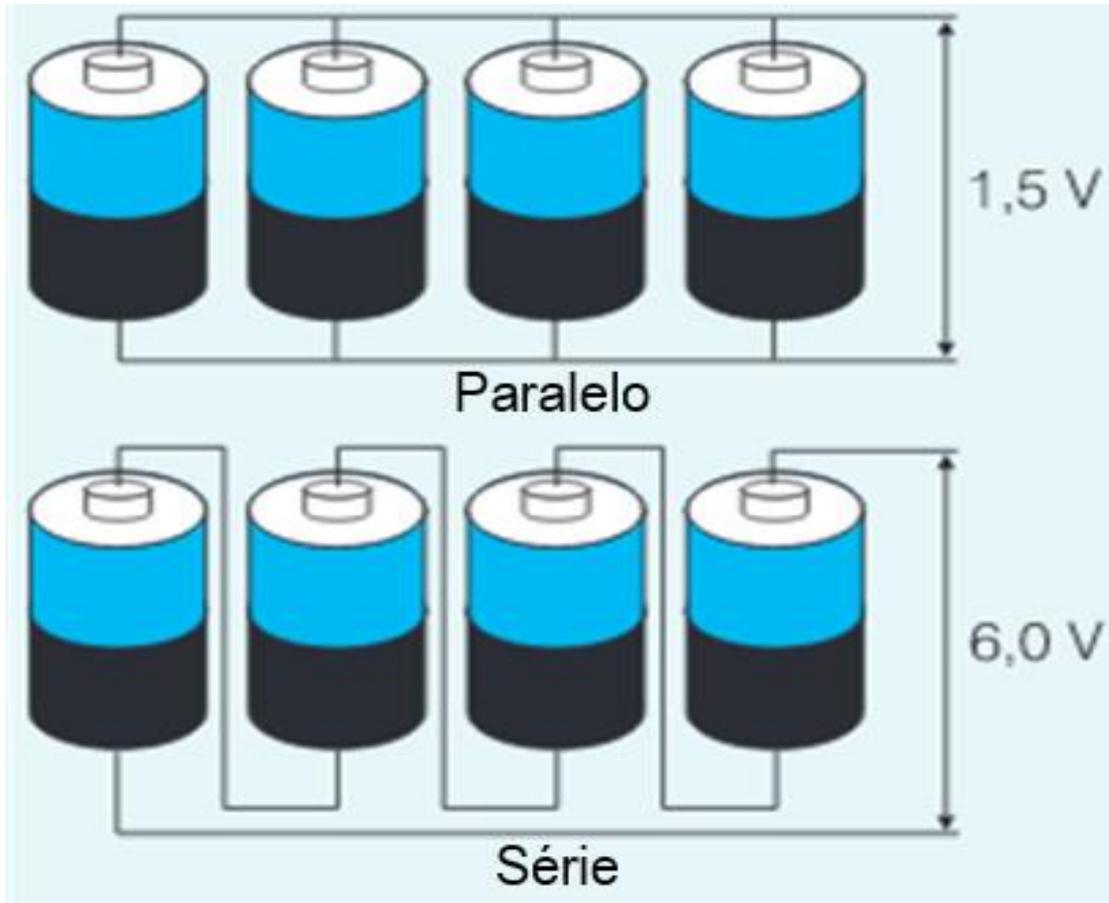
Figura 9 – Acoplamento da célula eletrolítica com a célula a combustível usado para explicar a conversão de energia elétrica em energia química e vice-versa.



Fonte: Do Autor, 2019.

Na sequência das discussões, o professor abordou um ponto descrito no artigo (APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 1ª etapa) e também importante para a realização das etapas seguintes relacionadas com a experimentação: “o que é uma associação em série?”. O professor utilizou o esquema da Figura 10 para explicar o circuito elétrico associado em série ou em paralelo (Bocchi *et al.*, 2000).

Figura 10 – Pilhas comuns associadas em paralelo e em série



Fonte: Adaptado de Bocchi; Ferracin; Biaggio, 2000.

Rapidamente os estudantes começaram a fazer relações com vivências cotidianas, como por exemplo, o estudante do turno matutino **EM12**, fez a seguinte colocação: “professor, a ligação em série é utilizada para ligar módulos de som automotivo de alta voltagem?”; já o estudante do turno vespertino **EV12**, fez a seguinte colocação “professor, a ligação em série é quando colocamos polo positivo com negativo, igual nas lanternas de duas ou três pilhas?”. Após leitura e discussões sobre o artigo (APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 1ª etapa) os estudantes responderam as questões descritas no 6º momento do Quadro 1. Importante destacar que o tempo de 2 (duas) aulas de 50 minutos para a realização do APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 1ª etapa foi insuficiente para os dois turnos. As atividades da 1ª etapa foram finalizadas porque as professoras de Inglês, matutino, e Português, vespertino, cederam seus horários, totalizando 3 aulas de 50 minutos.

As respostas dos quatro grupos de estudantes relacionadas com o APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 1ª etapa, foram avaliadas, tendo como

parâmetro as respostas esperadas, tendo sido atribuído os termos “Incorpora”, “Tangencia” ou “Distancia” e estão reunidas no Quadro 7. A Figura 11 apresenta os resultados obtidos após análise das respostas dos quatro grupos que responderam as questões sobre o artigo.

Quadro 7 – Avaliação das respostas elaboradas pelos grupos com base na leitura do artigo da Química Nova na Escola.

**1ª Etapa: Leitura do artigo “Células a Combustível: Energia Limpa a Partir de Fontes Renováveis”**

ATUALIDADES EM QUÍMICA



# Células a Combustível:

## Energia Limpa a Partir de Fontes Renováveis

**H. Mercedes Villullas, Edson A. Ticianelli e Ernesto R. González**

Uma das principais forças motivadoras da pesquisa científica e tecnológica é procurar soluções para os problemas que afetam a sociedade, como, por exemplo, a geração de energia. Este artigo define o que são as células a combustível, discute de forma resumida os princípios que determinam o seu funcionamento e apresenta alguns dos mais recentes progressos nas suas aplicações.

► Célula a combustível, geração de energia, células galvânicas ◀

VILLULLAS, H. M; TICIANELLI, E. A.; GONZÁLEZ, E. R. Células a Combustível: Energia Limpa a Partir de Fontes Renováveis. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n.15, p. 28-34, 2002. Disponível em <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc15/v15a06.pdf>>.

1- Preencher a tabela com as informações relacionadas com as diferenças entre uma célula galvânica e uma célula eletrolítica.

Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?

<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parâmetro</th> <th>Célula galvânica</th> <th>Célula eletrolítica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Conversão de energia</td> <td>Química - Elétrica</td> <td>Elétrica - Química</td> </tr> <tr> <td>Tendência termodinâmica</td> <td>Espontânea</td> <td>Necessita de corrente elétrica</td> </tr> <tr> <td>Energia de Gibbs</td> <td>-</td> <td>+</td> </tr> <tr> <td>Polaridade dos eletrodos</td> <td>Ânodo: - Cátodo: +</td> <td>Ânodo: + Cátodo: -</td> </tr> <tr> <td>Funcionamento da célula</td> <td>Spontâneo</td> <td>Auto quimicamente</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM1</b></p>	Parâmetro	Célula galvânica	Célula eletrolítica	Conversão de energia	Química - Elétrica	Elétrica - Química	Tendência termodinâmica	Espontânea	Necessita de corrente elétrica	Energia de Gibbs	-	+	Polaridade dos eletrodos	Ânodo: - Cátodo: +	Ânodo: + Cátodo: -	Funcionamento da célula	Spontâneo	Auto quimicamente		<p style="text-align: center;">Incorpora</p>																								
Parâmetro	Célula galvânica	Célula eletrolítica																																										
Conversão de energia	Química - Elétrica	Elétrica - Química																																										
Tendência termodinâmica	Espontânea	Necessita de corrente elétrica																																										
Energia de Gibbs	-	+																																										
Polaridade dos eletrodos	Ânodo: - Cátodo: +	Ânodo: + Cátodo: -																																										
Funcionamento da célula	Spontâneo	Auto quimicamente																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parâmetro</th> <th>Célula galvânica</th> <th>Célula eletrolítica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Conversão de energia</td> <td>Química em elétrica</td> <td>Elétrica em química</td> </tr> <tr> <td>Tendência termodinâmica</td> <td>Processo espontâneo</td> <td>Necessita de corrente elétrica</td> </tr> <tr> <td>Energia de Gibbs</td> <td>ΔG = negativa</td> <td>ΔG = positiva</td> </tr> <tr> <td>Polaridade dos eletrodos</td> <td>Ânodo: negativo Cátodo: positivo</td> <td>Ânodo: positivo Cátodo: negativo</td> </tr> <tr> <td>Funcionamento da célula</td> <td>Spontâneo</td> <td>Forçado</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM2</b></p>	Parâmetro	Célula galvânica	Célula eletrolítica	Conversão de energia	Química em elétrica	Elétrica em química	Tendência termodinâmica	Processo espontâneo	Necessita de corrente elétrica	Energia de Gibbs	ΔG = negativa	ΔG = positiva	Polaridade dos eletrodos	Ânodo: negativo Cátodo: positivo	Ânodo: positivo Cátodo: negativo	Funcionamento da célula	Spontâneo	Forçado	<p>Tabela 1: Comparação das células galvânicas e eletrolíticas.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Parâmetro</th> <th>Célula galvânica</th> <th>Célula eletrolítica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Transformação</td> <td>química → elétrica</td> <td>elétrica → química</td> </tr> <tr> <td>Tendência termodinâmica</td> <td>espontânea</td> <td>não espontânea</td> </tr> <tr> <td>ΔG</td> <td>&lt;0</td> <td>&gt;0</td> </tr> <tr> <td>Polaridade dos eletrodos</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ânodo</td> <td>-</td> <td>+</td> </tr> <tr> <td>Cátodo</td> <td>+</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Tipo de célula</td> <td>auto-impulsionada</td> <td>impulsionada</td> </tr> </tbody> </table>	Parâmetro	Célula galvânica	Célula eletrolítica	Transformação	química → elétrica	elétrica → química	Tendência termodinâmica	espontânea	não espontânea	ΔG	<0	>0	Polaridade dos eletrodos			Ânodo	-	+	Cátodo	+	-	Tipo de célula	auto-impulsionada	impulsionada	<p style="text-align: center;">Tangencia</p>
Parâmetro	Célula galvânica	Célula eletrolítica																																										
Conversão de energia	Química em elétrica	Elétrica em química																																										
Tendência termodinâmica	Processo espontâneo	Necessita de corrente elétrica																																										
Energia de Gibbs	ΔG = negativa	ΔG = positiva																																										
Polaridade dos eletrodos	Ânodo: negativo Cátodo: positivo	Ânodo: positivo Cátodo: negativo																																										
Funcionamento da célula	Spontâneo	Forçado																																										
Parâmetro	Célula galvânica	Célula eletrolítica																																										
Transformação	química → elétrica	elétrica → química																																										
Tendência termodinâmica	espontânea	não espontânea																																										
ΔG	<0	>0																																										
Polaridade dos eletrodos																																												
Ânodo	-	+																																										
Cátodo	+	-																																										
Tipo de célula	auto-impulsionada	impulsionada																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parâmetro</th> <th>Célula galvânica</th> <th>Célula eletrolítica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Conversão de energia</td> <td>energia química em elétrica e química</td> <td>elétrica em química</td> </tr> <tr> <td>Tendência termodinâmica</td> <td>Processo espontâneo</td> <td>necessita de corrente elétrica</td> </tr> <tr> <td>Energia de Gibbs</td> <td>negativa</td> <td>positiva</td> </tr> <tr> <td>Polaridade dos eletrodos</td> <td>Ânodo: polo negativo Cátodo: positivo</td> <td>Ânodo: polo positivo Cátodo: negativo</td> </tr> <tr> <td>Funcionamento da célula</td> <td>gera utilidade de</td> <td>força de utilidade</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV1</b></p>	Parâmetro	Célula galvânica	Célula eletrolítica	Conversão de energia	energia química em elétrica e química	elétrica em química	Tendência termodinâmica	Processo espontâneo	necessita de corrente elétrica	Energia de Gibbs	negativa	positiva	Polaridade dos eletrodos	Ânodo: polo negativo Cátodo: positivo	Ânodo: polo positivo Cátodo: negativo	Funcionamento da célula	gera utilidade de	força de utilidade	<p>Fonte: Villullas; Ticianelli; González, 2002.</p>	<p style="text-align: center;">Incorpora</p>																								
Parâmetro	Célula galvânica	Célula eletrolítica																																										
Conversão de energia	energia química em elétrica e química	elétrica em química																																										
Tendência termodinâmica	Processo espontâneo	necessita de corrente elétrica																																										
Energia de Gibbs	negativa	positiva																																										
Polaridade dos eletrodos	Ânodo: polo negativo Cátodo: positivo	Ânodo: polo positivo Cátodo: negativo																																										
Funcionamento da célula	gera utilidade de	força de utilidade																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parâmetro</th> <th>Célula galvânica</th> <th>Célula eletrolítica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Conversão de energia</td> <td>química em elétrica</td> <td>elétrica em química</td> </tr> <tr> <td>Tendência termodinâmica</td> <td>espontânea</td> <td>não espontânea</td> </tr> <tr> <td>Energia de Gibbs</td> <td>ΔG negativo</td> <td>ΔG positivo</td> </tr> <tr> <td>Polaridade dos eletrodos</td> <td>Ânodo: negativo Cátodo: positivo</td> <td>Ânodo: positivo Cátodo: negativo</td> </tr> <tr> <td>Funcionamento da célula</td> <td>positivo</td> <td>negativo</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV2</b></p>	Parâmetro	Célula galvânica	Célula eletrolítica	Conversão de energia	química em elétrica	elétrica em química	Tendência termodinâmica	espontânea	não espontânea	Energia de Gibbs	ΔG negativo	ΔG positivo	Polaridade dos eletrodos	Ânodo: negativo Cátodo: positivo	Ânodo: positivo Cátodo: negativo	Funcionamento da célula	positivo	negativo		<p style="text-align: center;">Tangencia</p>																								
Parâmetro	Célula galvânica	Célula eletrolítica																																										
Conversão de energia	química em elétrica	elétrica em química																																										
Tendência termodinâmica	espontânea	não espontânea																																										
Energia de Gibbs	ΔG negativo	ΔG positivo																																										
Polaridade dos eletrodos	Ânodo: negativo Cátodo: positivo	Ânodo: positivo Cátodo: negativo																																										
Funcionamento da célula	positivo	negativo																																										
<p>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<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>):</p>																																												
<p style="text-align: center;">Respostas dos grupos</p>	<p style="text-align: center;">Respostas esperadas</p>	<p style="text-align: center;">Incorpora, tangencia ou distancia?</p>																																										
$2H_2(g) \rightarrow 4H^+(aq) + 4e^- \quad E^\circ = 0 \text{ V}$ $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O \quad E^\circ = 1,23 \text{ V}$ $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O$ $\Delta E^\circ = E^\circ_{\text{maior}} - E^\circ_{\text{menor}}$ $\Delta E^\circ = 1,23 - 0$	<p style="text-align: center;">Ânodo:</p> $2H_{2(g)} \rightarrow 4H_{(aq)}^+ + 4e^-$ $E_{red}^\circ = 0,00 \text{ V}$	<p style="text-align: center;">Incorpora</p>																																										

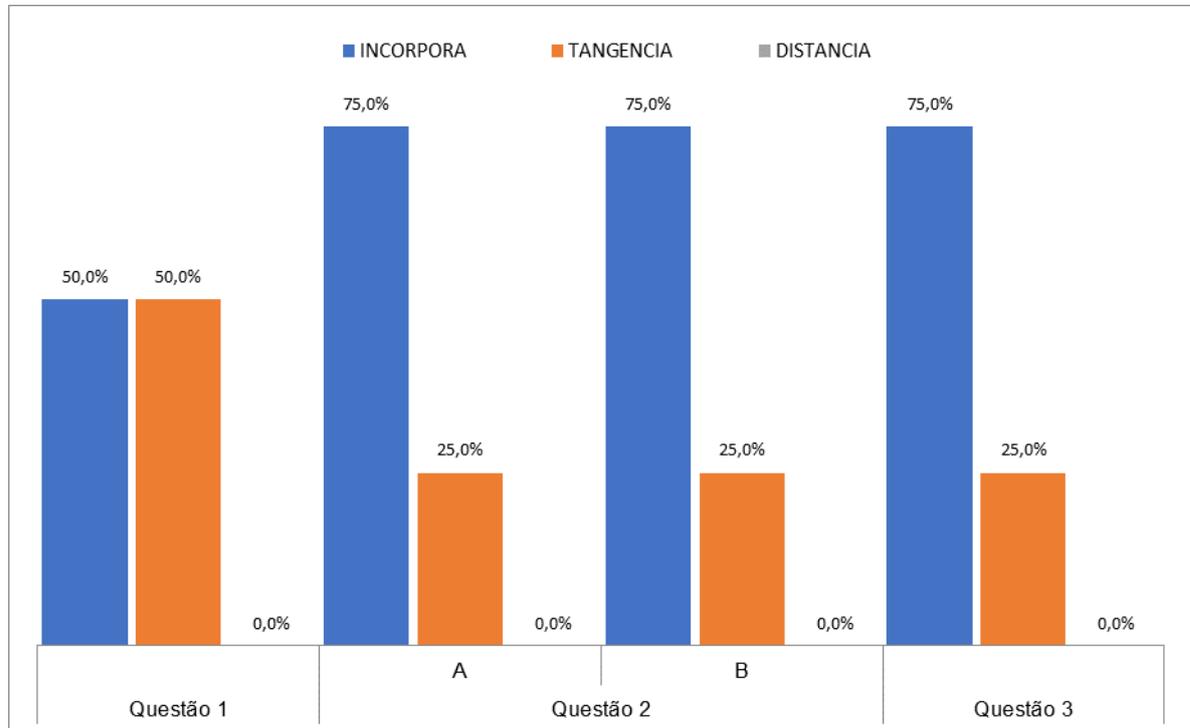
$\Delta E^\circ = 1,23 \text{ V}$ <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM1</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Cátodo:</b></p> $O_{2(g)} + 4H_{(aq)}^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O_{(l)} \quad E_{red}^\circ = +1,23 \text{ V}$	
$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2 \text{ inverte} \rightarrow \text{oxida} \quad E^\circ = 0,0V$ $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^- \rightarrow \text{oxida (ânodo)} \quad E^\circ = 0,0V$ $\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O \text{ redução (cátodo)} \quad E^\circ = 1,23V$ $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$ $\Delta E^\circ = \text{maior} - \text{menor}$ $\Delta E^\circ = 1,23 - (0,0)$ $\Delta E^\circ = 1,23 \text{ V}$ <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM2</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Reação global:</b></p> $2H_2O_{(l)} \rightarrow O_{2(g)} + 2H_{2(g)}$ <p style="text-align: center;"><b>Potencial padrão da célula:</b></p> $E_{célula}^\circ = E_{cátodo}^\circ - E_{ânodo}^\circ$ $E_{célula}^\circ = +1,23 - (+0,00)$ $E_{célula}^\circ = +1,23 \text{ V}$	Incorpora
$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O \text{ (X2)} \quad E^\circ = +1,23$ $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^- \text{ (X2)} \quad E^\circ = 0,0$ <hr/> $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O \quad E^\circ = +1,23$ $2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^- \quad E^\circ = 0,0$ $O_2 + 2H_2 \rightarrow 2H_2O \quad \Delta E^\circ = +1,23 \text{ V}$ <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV1</b></p>		Incorpora
$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^- \rightarrow \text{agente redutor (ânodo)} \quad E^\circ = 0,0V$ $\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O \rightarrow \text{agente oxidante (cátodo)} \quad E^\circ = 1,23V$ <hr/> $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O \text{ (reação global)}$ $\Delta E^\circ = E^\circ_{\text{ag oxidante}} - E^\circ_{\text{ag redutor}}$ $\Delta E^\circ = 1,23 - (0,0)$ $\Delta E^\circ = 1,23 \text{ V}$ <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV2</b></p>		Incorpora
<p>2- Determinar o potencial padrão dos diferentes tipos de células a combustível (considerar a tabela de potenciais padrão de redução): (b) Célula alcalina (KOH):</p>		
Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?

$2\text{H}_2(\text{g}) + 4\text{OH}^- \rightarrow 4\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \quad (-) E^\circ = -0,83 \text{ V}$ $\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{l}) + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-(\text{g}) \quad (+) E^\circ = 0,4 \text{ V}$ $\Delta E^\circ = \text{maior} - \text{menor}$ $\Delta E^\circ = 0,4 - (-0,83)$ $\Delta E^\circ = 1,23 \text{ V (Reação espontânea)}$ <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM1</b></p>		Incorpora
$\text{H}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \text{ (oxida)}$ $2\text{OH}^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{(reduz inverte)}$ $\text{H}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \text{ oxida } (-) E^\circ = -0,83 \text{ V}$ $\underline{\frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- \text{ reduz } (+) E^\circ = +0,4 \text{ V}}$ $\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ $\Delta E^\circ = \text{maior} - \text{menor}$ $\Delta E^\circ = 0,40 - (-0,83)$ $\Delta E^\circ = 1,23 \text{ V}$ <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM2</b></p>	<p style="text-align: center;">Ânodo:</p> $2\text{H}_{2(\text{g})} + 4\text{OH}^-_{(\text{aq})} \rightarrow 4\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} + 4\text{e}^- \quad \text{ânodo: } E^\circ_{\text{red}} = -0,83 \text{ V}$ <p style="text-align: center;">Cátodo:</p> $\text{O}_{2(\text{g})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-_{(\text{aq})} \quad \text{cátodo: } E^\circ_{\text{red}} = +0,40 \text{ V}$ $4\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} \rightarrow \text{O}_{2(\text{g})} + 2\text{H}_{2(\text{g})}$	Incorpora
$\text{H}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{agente redutor (ânodo)} E^\circ = +0,83 \text{ V}$ $\underline{\frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- \text{ agente oxidante (cátodo)} E^\circ = 0,4 \text{ V}}$ $\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} \text{ (reação global)}$ $\Delta E^\circ = E^\circ_{\text{ag oxidante}} - E^\circ_{\text{ag redutor}}$ $\Delta E^\circ = 0,4 - (0,83)$ $\Delta E^\circ = 0,4 + 0,83$ $\Delta E^\circ = 1,23 \text{ V}$ <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV1</b></p>	<p style="text-align: center;">Potencial padrão da célula:</p> $E^\circ_{\text{célula}} = E^\circ_{\text{cátodo}} - E^\circ_{\text{ânodo}}$ $E^\circ_{\text{célula}} = +0,40 - (-0,83)$ $E^\circ_{\text{célula}} = +1,23 \text{ V}$	Incorpora
$\text{KOH} \rightarrow \text{K}^+ + \text{OH}^-$ $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$ $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ $2\text{OH}^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{(redução água)}$ $\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- E^\circ = +0,40 \text{ V}$ $\text{H}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- X2 E^\circ = +0,83 \text{ V}$		Tangencia

$2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^- \quad E^\circ = +0,40 \text{ V}$ $\underline{2\text{H}_2 + 4\text{OH}^- \rightarrow 4\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-}$ $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} \quad \Delta E^\circ = +1,23\text{V}$ <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV2</b></p>		
3- Citar as vantagens das células a combustível que operam com hidrogênio.		
Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
<p>Não é poluente, produz água, utiliza apenas oxigênio e hidrogênio.</p> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM1</b></p>		Tangencia
<p>Vantagens que não polui, pode ser estacionada em lugares de difícil acesso, centrais de produção de energia através de células de combustível podem ser implementadas junto dos pontos de fornecimento permitindo a redução dos custos de transporte e de perdas energéticas nas redes de distribuição.</p> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM2</b></p>		Incorpora
<p>Uma célula de combustível é uma célula eletroquímica que converte energia potencial de um combustível em eletricidade através de uma reação eletroquímica. Como qualquer célula eletroquímica, uma célula de combustível consiste em dois eletrodos, o ânodo e o cátodo, e um eletrólito dois componentes são essenciais: o hidrogênio como combustível, e o oxigênio como oxidante. Em princípios, as células de combustível, não são poluentes visto que tem água com o produto da reação.</p> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV1</b></p>	<p>As células a combustível têm vantagens em comparação com outros dispositivos de geração de energia porque são mais eficientes e porque os produtos gerados pelo funcionamento das células que operam com hidrogênio são água e calor e elétrons, ou seja, as células são dispositivos essencialmente não contaminantes.</p>	Incorpora
<p>Não poluente para o meio ambiente. Compacta, pode ser levada para qualquer lugar. Possui alta densidade de potência, elevada eficiência comparada as pilhas convencionais.</p> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV2</b></p>		Incorpora

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Figura 11 – Classificação das respostas dos estudantes para três questões relacionadas ao artigo “Células a Combustível: Energia Limpa a Partir de Fontes Renováveis” (APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 1ª etapa).



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

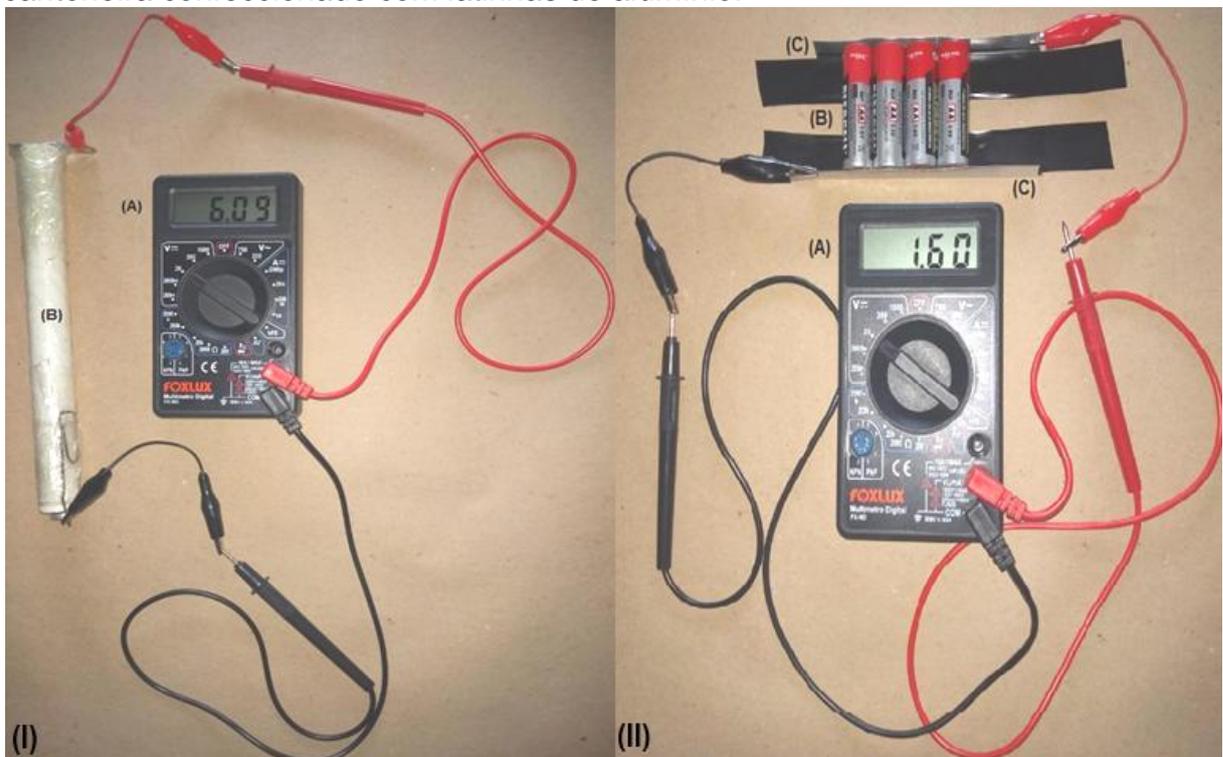
Analisando as porcentagens apresentadas na Figura 11, percebe-se que houve um avanço no domínio de conceitos de eletroquímica, lembrando que nesse ponto da pesquisa os estudantes já passaram por várias etapas, estudaram conteúdos importantes de eletroquímica e realizaram experimentos com a célula eletrolítica. A sequência metodológica adotada facilitou a compreensão, a memorização e a consolidação dos conceitos apresentados no artigo, promovendo as participações nas discussões e a concentração nos estudos.

### 5.5.2 Utilização de pilhas comuns para explorar as associações em série e em paralelo

Após leitura e resolução das questões do artigo pelos estudantes, o professor acrescentou um sétimo momento (ver Quadro 1, item 4.2), experimentos com pilhas pequenas comuns para que os estudantes vivenciassem na prática a associação de

pilhas em série e em paralelo, Figura 12. O professor disponibilizou a associação das pilhas em série para o grupo EM1 e a associação em paralelo para o grupo EM2. Após as medidas, os grupos fizeram as permutas dos suportes. As mesmas medidas foram feitas com os grupos EV1 e EV2 do turno vespertino. No final das medidas, os grupos compararam os valores obtidos nas duas associações.

Figura 12 – Experimento com 4 pilhas comerciais comuns explorando a associação em série (I): (A) multímetro, (B) suporte cilíndrico contendo as 4 pilhas comuns; e a associação em paralelo (II): (A) multímetro, (B) pilhas comuns, (C) suporte formato cantoneira confeccionado com latinhas de alumínio.



Fonte: Do Autor, 2019.

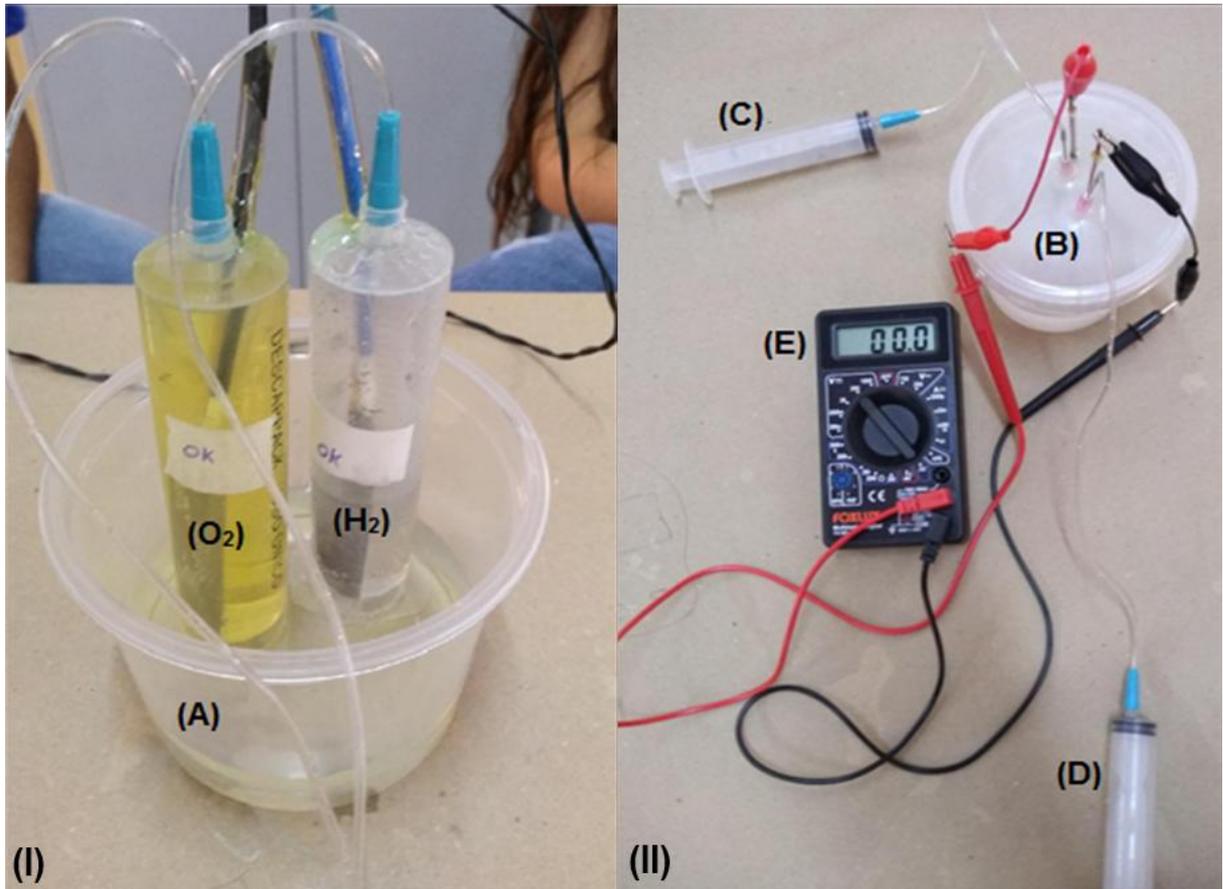
Na associação das pilhas em série, o potencial medido com o multímetro é igual a soma dos potenciais de cada pilha e a corrente que circula entre os terminais é igual à corrente de cada pilha isoladamente. Já na associação das pilhas em paralelo o potencial é igual ao potencial de cada pilha isoladamente e a corrente é igual a soma das correntes de cada pilha. O experimento foi importante para explorar também as configurações das polaridades do multímetro e das pilhas. Professor e estudantes fizeram medidas conectando o polo positivo do multímetro (cabo vermelho) com o ânodo da pilha (polo negativo) e o polo negativo do multímetro (cabo preto) com o cátodo da pilha (polo positivo) e o valor de potencial

mostrado no visor do multímetro era positivo, quando as conexões eram invertidas o valor de potencial do visor do multímetro era negativo. Novamente os estudantes se envolveram com a prática e formularam perguntas, como por exemplo, a aluna EM13, do grupo EM1, “Professor, porque o estudante EM12 mediu o potencial da pilha e encontrou 1,55 V e a medida que eu fiz com outra pilha o valor foi diferente? Sendo ambas as pilhas novas, retiradas da embalagem agora”. O professor comentou que mesmo numa linha de produção, com os processos de fabricação controlados, podem ocorrer variações do potencial, pois podemos considerar alguns fatores, como temperatura, pressão concentração e aproveitou as medidas com a pilha comum para relacionar com o potencial da célula a combustível.

### **5.5.3 Utilização do *Kit* experimental para montagem e medida do potencial da célula a combustível: Consumo do combustível gás hidrogênio e produção de eletricidade**

Após explorações das associações das pilhas comuns, os estudantes iniciaram o 8º momento de atividade com a montagem e medida do potencial da célula a combustível seguindo o roteiro experimental descrito no APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 2ª, 3ª e 4ª etapas (ver Quadro 1, item 4.2). Considerando a segurança dos estudantes, o professor preparou e distribuiu os materiais e reagentes químicos para a montagem da célula eletrolítica, consumo de eletricidade e produção dos gases hidrogênio e oxigênio, e da célula a combustível, consumo dos gases hidrogênio e oxigênio e geração de eletricidade, APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 2ª etapa, Figura 13.

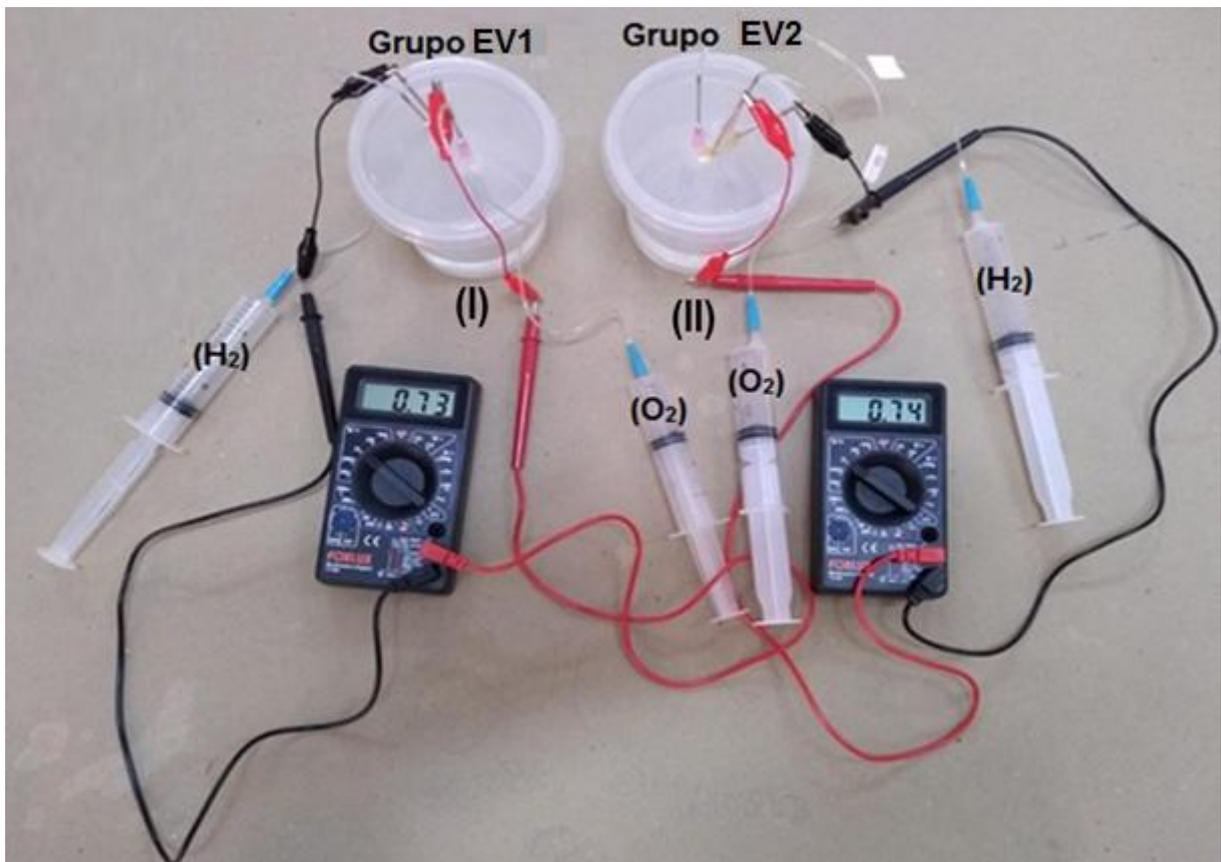
Figura 13 – (I) Célula eletrolítica: (A) pote descartável de plástico contendo solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,5 mol/L e os gases hidrogênio e oxigênio; (II) célula a combustível: (B) pote descartável de plástico contendo solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,5 mol/L, (C) seringa para injetar o gás oxigênio na célula a combustível, (D) seringa para injetar o gás hidrogênio na célula a combustível, (E) multímetro.



Fonte: Do Autor, 2019.

Nessa etapa inicial de produção dos gases hidrogênio e oxigênio com a célula eletrolítica, o professor observou a inquietação dos estudantes com o experimento, eles estavam curiosos para ver o funcionamento da célula a combustível com os gases produzidos. Finalizado a produção, os estudantes aspiraram os gases e injetaram com a seringa na célula a combustível. Os estudantes realizaram as conexões elétricas e mediram o potencial de cada célula a combustível isoladamente, Figura 14.

Figura 14 – Duas células a combustível de hidrogênio em funcionamento montadas pelos dois grupos do turno vespertino (EV1 e EV2).



Fonte: Do Autor, 2019.

O resultado do potencial da célula a combustível medido foi de acordo com esperado. Ao perceber os valores no visor do multímetro o estudante EV15 ficou impressionado e disse: “Não acredito que os gases fizeram funcionar a célula a combustível”. Neste momento, os estudantes já tinham visto a teoria sobre célula eletrolítica e célula a combustível, porém os estudantes apresentavam certa dúvida se o experimento realmente iria funcionar e gerar uma diferença de potencial elétrico. A realização do experimento evidenciou a importância da conjugação de aulas práticas e teóricas para a construção do conhecimento.

Os 4 (quatro) grupos executaram o experimento com a célula a combustível e responderam as 3 questões relacionadas com o experimento. As respostas elaboradas pelos 4 (quatro) grupos de estudantes, relacionadas com o APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 2ª etapa, foram avaliadas, tendo como parâmetro as respostas esperadas, tendo sido atribuído os termos “Incorpora”, “Tangencia” ou “Distancia” e estão reunidas no Quadro 8. A Figura 15 apresenta os resultados em

porcentagem após análise das respostas dos 4 (quatro) grupos que participaram da experimentação.

Quadro 8 – Avaliação das respostas elaboradas pelos grupos com base nas observações experimentais da célula a combustível (**APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 2ª etapa**).

<b>2ª Etapa: Montagem e medida do potencial da célula a combustível</b>		
1- Qual o potencial medido na célula a combustível (I) e na (II)?		
Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
I = 0,79 V II = 0,54 V <b>Grupo EM1</b>	Célula a combustível (I): $E_{célula} = \sim + 0,68 V$ Célula a combustível (II): $E_{célula} = \sim + 0,57 V$	Incorpora
I = 0,79 V II = 0,54 V <b>Grupo EM2</b>		Incorpora
Célula a combustível I = 0,73 V Célula a combustível II = 0,74 V <b>Grupo EV1</b>		Incorpora
Célula (I) = 0,73 V Célula (II) = 0,74 V <b>Grupo EV2</b>		Incorpora
2- Utilizando o multímetro, identifique o cátodo e o ânodo na célula a combustível (I) e na (II).		
Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
I – O cátodo sempre será positivo na pilha, que mede pelo multímetro, pelo fio vermelho. II – O ânodo sempre será negativo na	Ânodo: eletrodo onde ocorre a oxidação do gás hidrogênio, $H_{2(g)}$	Tangencia

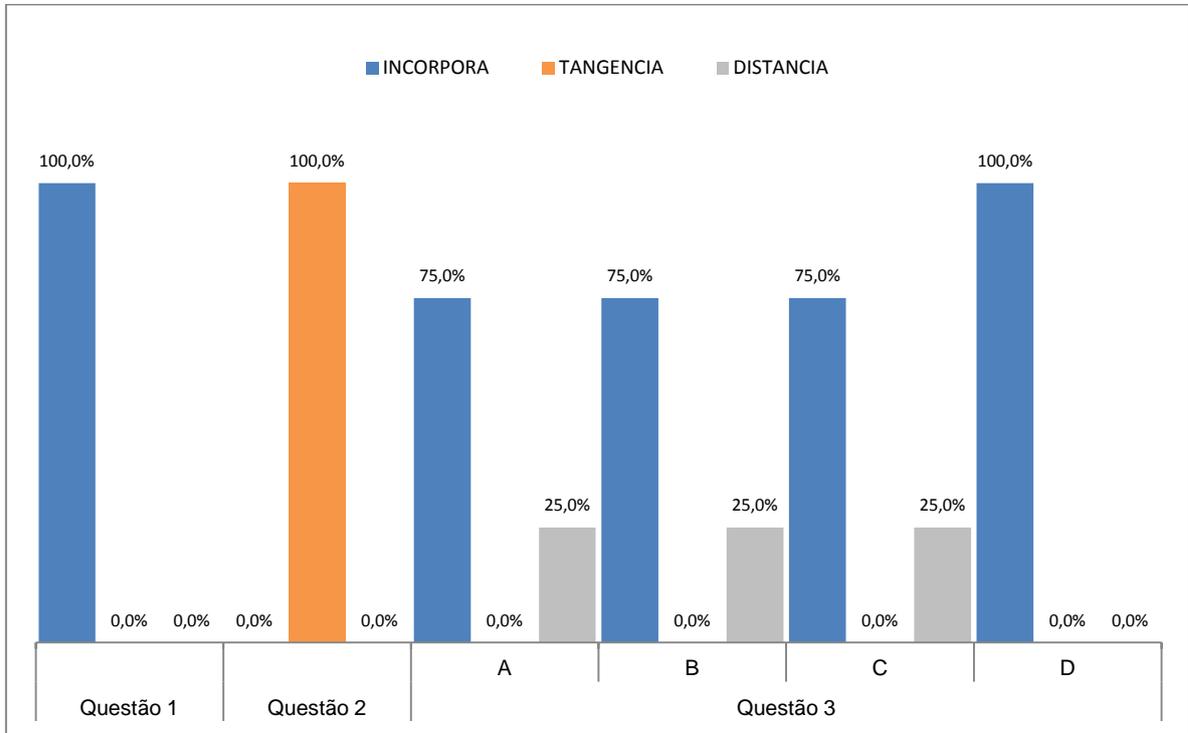
<p>pilha mede pelo multímetro, pelo fio preto.</p> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM1</b></p>	<p>Cátodo: eletrodo onde ocorre a redução do gás oxigênio, <math>O_{2(g)}</math></p>	
<p>Utilizando o multímetro descobre-se que no fio vermelho é o positivo (cátodo) e o fio preto é o negativo (ânodo).</p> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM2</b></p>		Tangencia
<p>Cátodo é o vermelho e o ânodo é o preto.</p> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV1</b></p>		Tangencia
<p>Cátodo é o vermelho e o ânodo é o preto.</p> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV2</b></p>		Tangencia
<p>3- Para a célula a combustível de hidrogênio em solução aquosa de ácido sulfúrico, <math>H_2SO_4</math> 0,5 mol/L, representar: (a) A semirreação no ânodo.</p>		
<p style="text-align: center;">Respostas dos grupos</p>	<p style="text-align: center;">Respostas esperadas</p>	<p style="text-align: center;">Incorpora, tangencia ou distancia?</p>
<p style="text-align: center;"><i>Oxidação <math>H_2</math></i> <math>H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^- E^\circ = 0,0 V</math></p> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM1</b></p>	<p style="text-align: center;"><math>2H_{2(g)} \rightarrow 4H_{(aq)}^+ + 4e^- E_{oxi}^\circ = 0,00 V</math></p>	<p style="text-align: center;">Incorpora</p>
<p style="text-align: center;"><math>2H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \text{ânodo}, E^\circ \text{red} = +1,23V</math></p> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM2</b></p>		<p style="text-align: center;">Distancia</p>
<p style="text-align: center;"><math>H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^- E^\circ = 0,0</math></p> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV1</b></p>		<p style="text-align: center;">Incorpora</p>
<p style="text-align: center;"><math>H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^- E^\circ = 0 V</math></p> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV2</b></p>		<p style="text-align: center;">Incorpora</p>

3- Para a célula a combustível de hidrogênio em solução aquosa de ácido sulfúrico, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,5 mol/L, representar: (b) A semirreação no cátodo.		
Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
<p>Redução H<sub>2</sub>O</p> $\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O \quad E^\circ = 1,23 \text{ V}$ <p><b>Grupo EM1</b></p>	$O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^- \rightarrow 2H_2O_{(l)}$ $E^\circ_{red} = +1,23 \text{ V}$	Incorpora
$4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2(g) \text{ cátodo. } E^\circ_{red} = 0,00 \text{ V}$ <p><b>Grupo EM2</b></p>		Distancia
$O_2(g) + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O \quad E^\circ = 1,23 \text{ V}$ <p><b>Grupo EV1</b></p>		Incorpora
$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O \quad E^\circ = 1,23 \text{ V}$ <p><b>Grupo EV2</b></p>		Incorpora
3- Para a célula a combustível de hidrogênio em solução aquosa de ácido sulfúrico, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,5 mol/L, representar: (c) A reação global da célula eletrolítica.		
Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^- \quad E^\circ = 0,0 \text{ V}$ $\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O \quad E^\circ = 1,23 \text{ V}$ $H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(l)$ <p><b>Grupo EM1</b></p>	$O_{2(g)} + 2H_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(l)}$	Incorpora
$2H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 2H_2(g) \text{ reação global}$ <p><b>Grupo EM2</b></p>		Distancia
$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^- \quad \times 2$ $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$		Incorpora

$2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \quad E^\circ = 0,0$ $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} \quad E^\circ = 1,23 \text{ V}$ $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} \quad \Delta E^\circ = 1,23 \text{ V}$ <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV1</b></p>		
$\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ $\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ $\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV2</b></p>		Incorpora
<p>3- Para a célula a combustível de hidrogênio em solução aquosa de ácido sulfúrico, <math>\text{H}_2\text{SO}_4</math> 0,5 mol/L, representar:</p> <p>(d) Determinar o potencial padrão da célula (considerar a tabela de potenciais padrão).</p>		
Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
$\Delta E^\circ = E^\circ_{\text{maior}} - E^\circ_{\text{menor}}$ $\Delta E^\circ = 1,23 - (0,0)$ $\Delta E^\circ = 1,23 \text{ V}$ <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM1</b></p>		Incorpora
<p>O potencial padrão é equivalente a + 1,23 V.</p> <p style="text-align: center;"><b>Grupo EM2</b></p>	$E^\circ_{\text{célula}} = E^\circ_{\text{cátodo}} - E^\circ_{\text{ânodo}}$ $E^\circ_{\text{célula}} = +1,23 - (+0,00)$	Incorpora
$\Delta E^\circ = E^\circ_{\text{ag ox}} - E^\circ_{\text{ag redu}}$ $\Delta E^\circ = 1,23 - 0,0$ $\Delta E^\circ = 1,23 \text{ V}$ <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV1</b></p>	$E^\circ_{\text{célula}} = +1,23 \text{ V}$	Incorpora
$\Delta E^\circ = E^\circ_{\text{maior}} - E^\circ_{\text{menor}}$ $\Delta E^\circ = 1,23 - 0$ $\Delta E^\circ = 1,23 \text{ V}$ <p style="text-align: center;"><b>Grupo EV2</b></p>		Incorpora

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Figura 15 – Classificação das respostas dos estudantes para as três questões relacionadas montagem e funcionamento da célula a combustível (**APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 2ª etapa**).

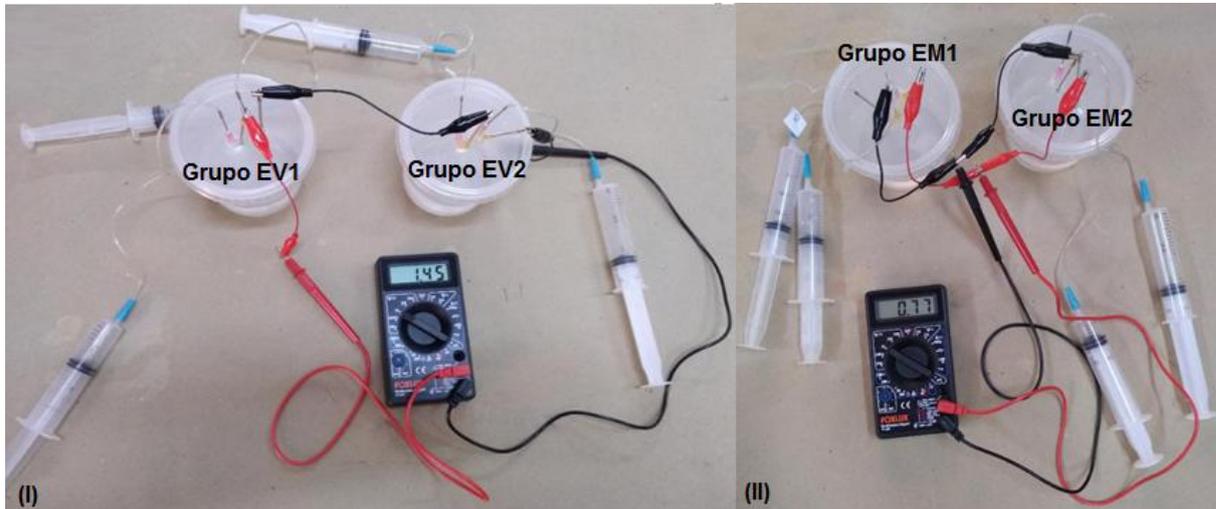


Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Os resultados obtidos reforçam a importância da experimentação no domínio de novos conhecimentos. Os estudantes perceberam a necessidade de gás hidrogênio para o funcionamento da célula a combustível. Na ausência do gás hidrogênio o potencial elétrico medido era zero, na presença do gás hidrogênio o potencial elétrico era diferente de zero. O aproveitamento dos estudantes foi muito bom em relação aos conceitos abordados com a aula prática.

Continuando com a prática planejada no 8º momento do Quadro 1, item 4.2, os estudantes iniciaram a 3ª etapa: medida do potencial da célula a combustível (I) e (II) associadas em série e em paralelo (APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 3ª etapa). Os grupos EM1 e EM2, turno matutino, e EV1 e EV2, turno vespertino, se juntaram e realizaram a associação em série e em paralelo dos dois *kits* disponibilizados pelo professor, Figura 16.

Figura 16 – Funcionamento de duas células a combustível de hidrogênio: (I) Associação em série montadas pelos dois grupos do turno vespertino (EV1 e EV2) e (II) associação em paralelo montadas pelos dois grupos do turno matutino (EM1 e EM2).



Fonte: Do Autor, 2019.

O professor acompanhou a liderança de alguns estudantes. No turno matutino destacou a aluna EM13, e no turno vespertino as alunas EV24 e EV25. Todos os demais estudantes permaneceram apenas observando a prática das alunas com as conexões dos fios para conseguir as associações em série e em paralelo das duas células a combustível. Ao finalizar as conexões dos fios, todos os estudantes perceberam no visor digital do multímetro que o valor do potencial elétrico total para a associação em série era igual à soma do potencial elétrico de cada célula a combustível e para a associação em paralelo o potencial era igual ao potencial de cada pilha isoladamente. Importante destacar que as alunas não necessitaram do roteiro (APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 3ª etapa) para fazer as associações em série e em paralelo, demonstrando estudo e interesse pela aula prática.

Após as associações em série e em paralelo das células a combustível, os 4 (quatro) grupos responderam as 2 questões relacionadas com as medidas de potencial elétrico. As respostas elaboradas pelos 4 (quatro) grupos de estudantes, relacionadas com o APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 3ª etapa, foram avaliadas, tendo como parâmetro as respostas esperadas, tendo sido atribuído os termos “Incorpora”, “Tangencia” ou “Distancia” e estão reunidas no Quadro 9. A Figura 17

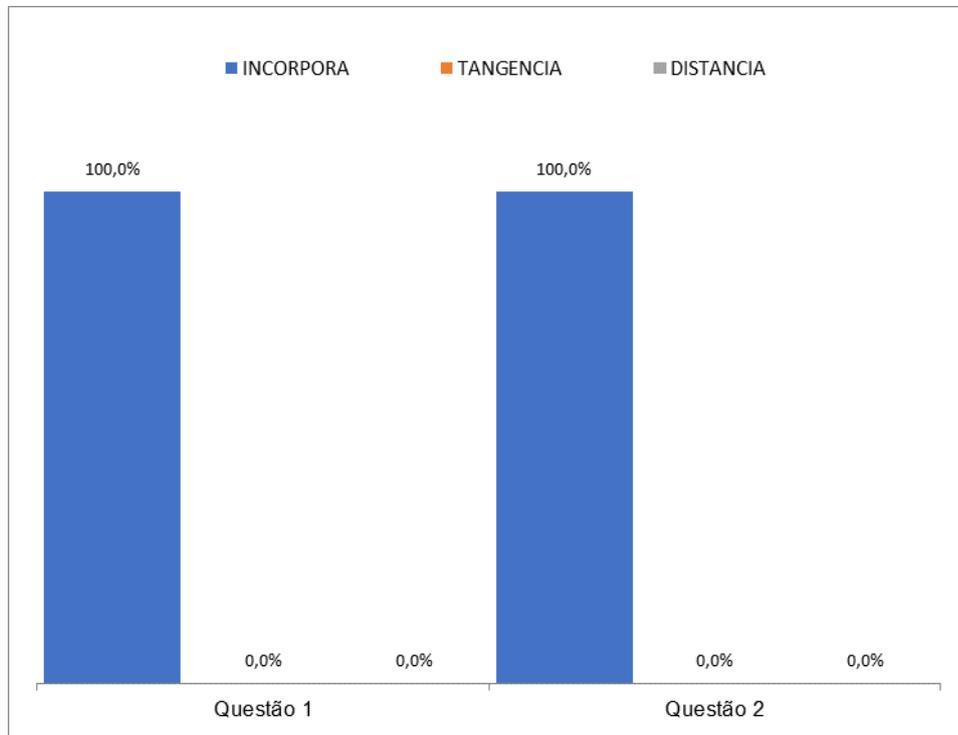
apresenta os resultados em porcentagem após análise das respostas dos 4 (quatro) grupos que participaram da experimentação.

Quadro 9 – Avaliação das respostas elaboradas pelos grupos com base nas observações experimentais com as células a combustível de hidrogênio (**APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 3ª etapa**).

<b>3ª Etapa: Medida do potencial de duas células a combustível associadas em série e em paralelo</b>		
1- Qual foi o potencial medido quando as duas células a combustível foram associadas em série?		
Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
1,19V <b>Grupo EM1</b>	Células a combustível associadas em série: $E_{células\ em\ série} = \sim + 1,25\ V$	Incorpora
1,19V <b>Grupo EM2</b>		Incorpora
1,45V <b>Grupo EV1</b>		Incorpora
1,45V <b>Grupo EV2</b>		Incorpora
2- Alterar a configuração e associar as duas células a combustível em paralelo. Qual foi o potencial medido?		
Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
0,77V <b>Grupo EM1</b>	Células a combustível associadas em paralelo: $E_{células\ em\ paralelo} = \sim + 0,70\ V$	Incorpora
0,77V <b>Grupo EM2</b>		Incorpora
0,77V <b>Grupo EV1</b>		Incorpora
0,77V <b>Grupo EV2</b>		Incorpora

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Figura 17 – Classificação das respostas dos estudantes para as duas questões relacionadas com as associações em série e em paralelo da célula a combustível (APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 3ª etapa).

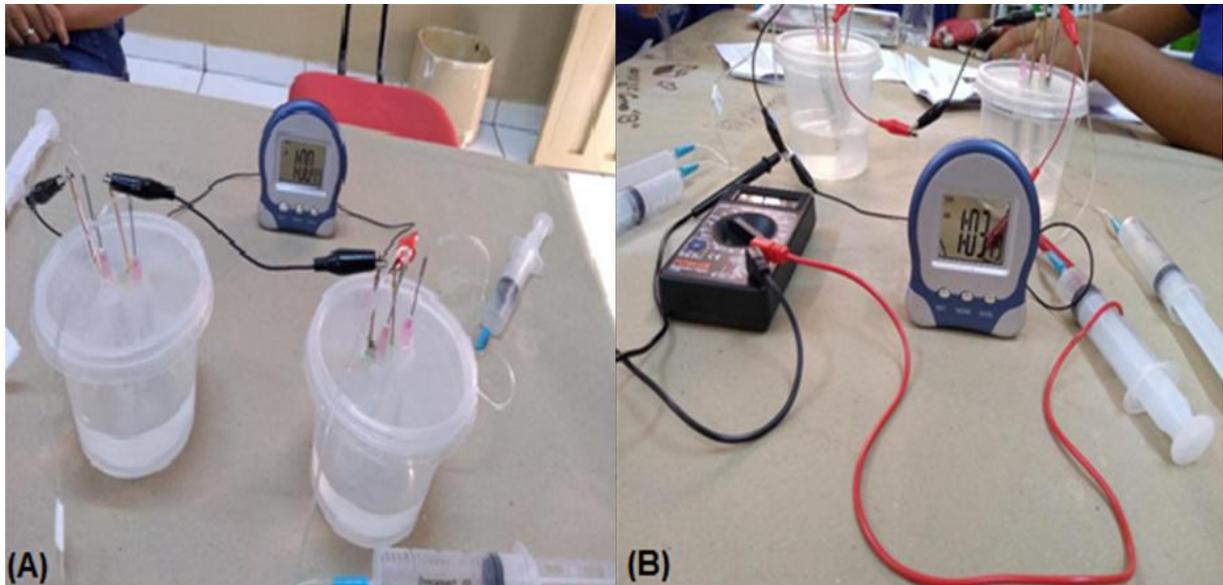


Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Importante relatar que os acertos das questões dependiam das corretas conexões elétricas entre as duas células a combustíveis. Uma outra observação para o bom desempenho experimental estava relacionada com a vivência prévia de alguns estudantes, como por exemplo, o pai da aluna EV25 é soldador e eletricista e ensinou-a a usar o multímetro para medir a tensão da rede elétrica.

Na última etapa da prática planejada no 8º momento do Quadro 1, item 6.2, os estudantes realizaram a associação em série de duas células a combustível para colocar em funcionamento um relógio digital (APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 4ª etapa). Os grupos EM1 e EM2, turno matutino, e EV1 e EV2, turno vespertino, se juntaram para fazer a associação em série e conseguir um potencial elétrico maior, suficiente para ligar o relógio digital, Figura 18. Os dois grupos do turno vespertino (EV1 e EV2) aproveitaram o funcionamento do relógio e conectaram o multímetro em paralelo, eles observaram uma pequena queda no potencial elétrico quando o relógio era ligado.

Figura 18 – Associação em série de duas células a combustível de hidrogênio: (A) experimento dos dois grupos do turno matutino (EM1 e EM2) e (B) experimento dos dois grupos do turno vespertino (EV1 e EV2).



Fonte: Do Autor, 2019.

O funcionamento do relógio digital deixou todos perplexos, os estudantes haviam formado um círculo em torno do experimento, silêncio total e de olhos fixados no visor digital do relógio, todos observavam o passar dos segundos. Os estudantes do turno vespertino (grupos EV1 e EV2) ajustaram as horas e observaram o correto funcionamento do relógio digital até o final da aula. As observações foram importantes para comprovar que o experimento atingiu o seu objetivo estando os estudantes curiosos e atentos com vontade de aprender.

Após realização do experimento com o funcionamento do relógio digital, usando a associação em série de duas células a combustível, os 4 (quatro) grupos responderam as 2 questões relacionadas com as medidas de potencial elétrico. As respostas elaboradas pelos grupos de estudantes, relacionadas com o APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 4ª etapa, foram avaliadas, tendo como parâmetro as respostas esperadas, tendo sido atribuído os termos “Incorpora”, “Tangencia” ou “Distancia” e estão reunidas no Quadro 10. A Figura 19 apresenta os resultados em porcentagem após análise das respostas dos grupos que participaram da experimentação.

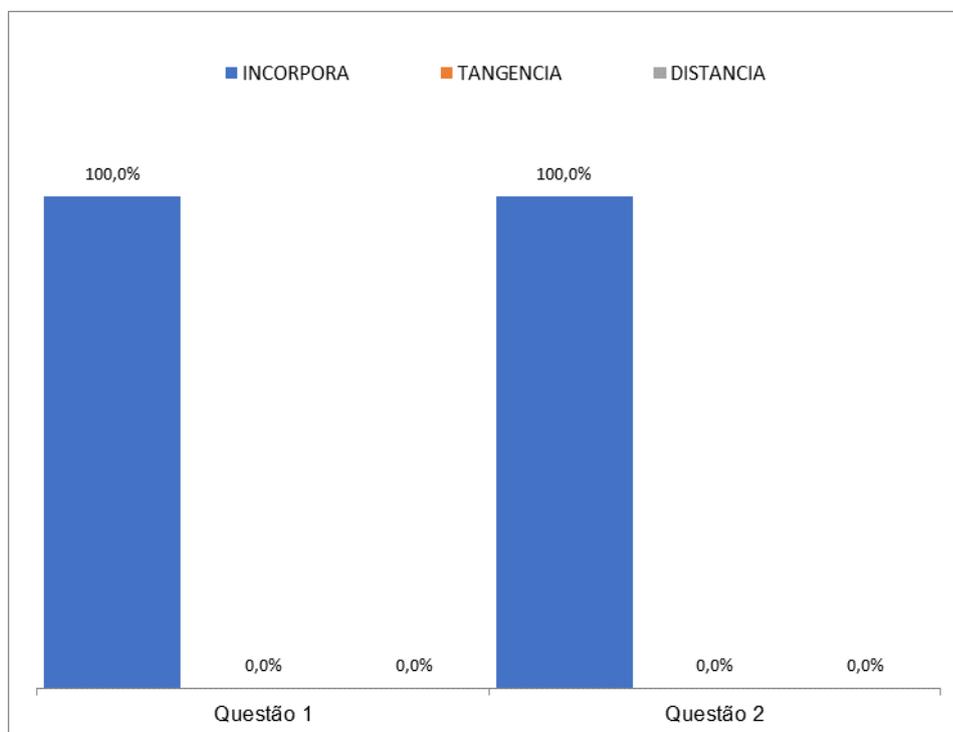
Quadro 10 – Avaliação das respostas elaboradas pelos grupos com base nas observações do relógio digital em funcionamento usando as células a combustível de hidrogênio (**APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 4ª etapa**).

<b>4ª Etapa: Funcionamento do relógio digital ou calculadora com duas células a combustível associadas em série</b>		
1- Foi possível ligar o relógio digital quando as duas células a combustível foram associadas em série? Explique.		
Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
<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><b>Grupo EM1</b></p>	<p>Sim. As células a combustível associadas em série fornecem o potencial e corrente suficientes para o funcionamento do relógio.</p>	Incorpora
<p>Sim, pois ligado em série a voltagem dobra atingindo o mínimo potencial para ser ligado o relógio.</p> <p><b>Grupo EM2</b></p>		Incorpora
<p>Sim; quando a célula foi ligada em série sua tensão dobrou, fazendo que o relógio funcionasse.</p> <p><b>Grupo EV1</b></p>		Incorpora
<p>Sim, ele gerou energia o suficiente para que ligasse o relógio.</p> <p><b>Grupo EV2</b></p>		Incorpora
2- Alterar a configuração e ligar as duas células a combustível em paralelo. Foi possível ligar o relógio? Qual a explicação?		
Respostas dos grupos	Respostas esperadas	Incorpora, tangencia ou distancia?
<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><b>Grupo EM1</b></p>	<p>Não. As células a combustível associadas em paralelo não fornecem o potencial necessário para o funcionamento do relógio.</p>	Incorpora

Não, não atingiu o mínimo de potencial para o relógio ser ligado, no processo de ligação entre os dois polos positivos e negativos (paralelo). <b>Grupo EM2</b>		Incorpora
Não, a tensão gerada pela pilha não gerou potencial necessária para que o relógio funcionasse. <b>Grupo EV1</b>		Incorpora
Não, pois ele não gerou energia o suficiente para que ligasse o relógio. <b>Grupo EV2</b>		Incorpora

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Figura 19 – Classificação das respostas dos estudantes para as duas questões relacionadas com as observações do relógio digital em funcionamento usando as células a combustível de hidrogênio (**APÊNDICE C – 2º EXPERIMENTO – 4ª etapa**).



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Importante salientar o entusiasmo dos estudantes com a realização de todas as etapas da pesquisa. O envolvimento de todos do início ao fim das atividades, a vontade e a curiosidade em fazer funcionar o relógio digital. A experimentação estimulou o interesse dos estudantes pelos conceitos de eletroquímica abordados e pela química.

## 5.6 CONCEPÇÕES DOS ESTUDANTES APÓS EXPERIMENTAÇÃO EM RELAÇÃO ÀS QUESTÕES DE VESTIBULARES ABORDANDO CONCEITOS SOBRE CÉLULA ELETROLÍTICA E CÉLULA A COMBUSTÍVEL

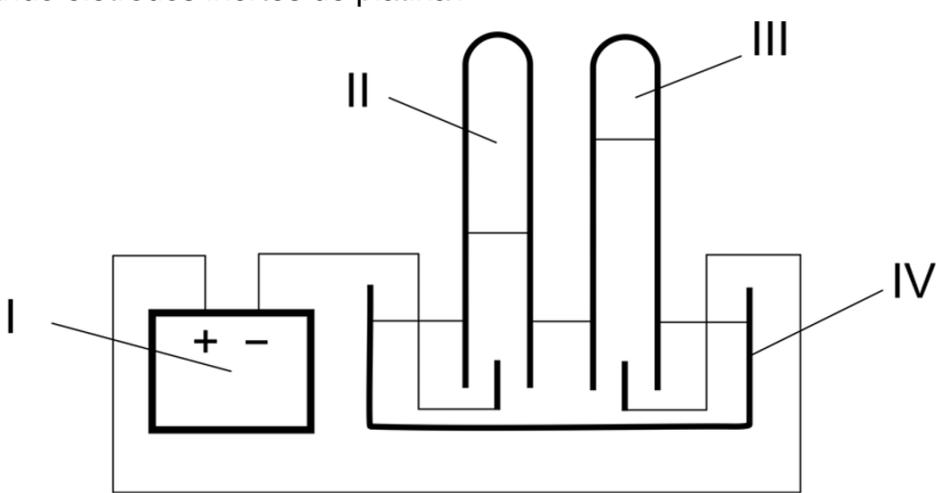
Os resultados do 9º momento basearam-se na aplicação das mesmas questões descritas no item 5.2, relacionadas com o APÊNDICE B – célula eletrolítica e célula a combustível, e também das questões do APÊNDICE D – questionário para avaliação pelos estudantes das atividades experimentais realizadas. Repetir as questões do APÊNDICE B foi importante para mensurar a evolução dos estudantes após a realização das aulas expositivas em associação com as aulas experimentais, abordando conceitos para entender o funcionamento de uma célula eletrolítica e, também, de uma célula a combustível. A aplicação do APÊNDICE D possibilitou conhecer o posicionamento dos estudantes em relação às atividades experimentais realizadas. A resolução das questões de vestibulares do APÊNDICE B, individual e sem consulta, e as questões do APÊNDICE D foram aplicadas no dia 05 de dezembro de 2019, com duração de três aulas de cinquenta minutos. Novamente, as professoras de Inglês, matutino, e Português, vespertino, cederam os seus horários de aula para que não houve interrupções na resolução das questões. As respostas dos estudantes foram avaliadas, tendo como parâmetro as respostas esperadas, tendo sido atribuído os termos “Incorpora”, “Tangencia” ou “Distancia”.

### 5.6.1 Questões relacionadas com célula eletrolítica: Produção do combustível gás hidrogênio e consumo de eletricidade

As mesmas questões do item 5.2.1 também foram aplicadas após as aulas teóricas e práticas, os estudantes responderam as 3 questões relativas à célula eletrolítica (ver questões no APÊNDICE B – **Questionário para avaliação das atividades experimentais realizadas pelos estudantes**). As respostas dos

estudantes obtidas encontram-se reunidas no Quadro 11. A Figura 20 expressa os resultados obtidos considerando todos os 18 estudantes que responderam as questões sobre célula eletrolítica. Os estudantes EM11, EV12 e EV23 simplesmente deixaram em branco as respostas das questões.

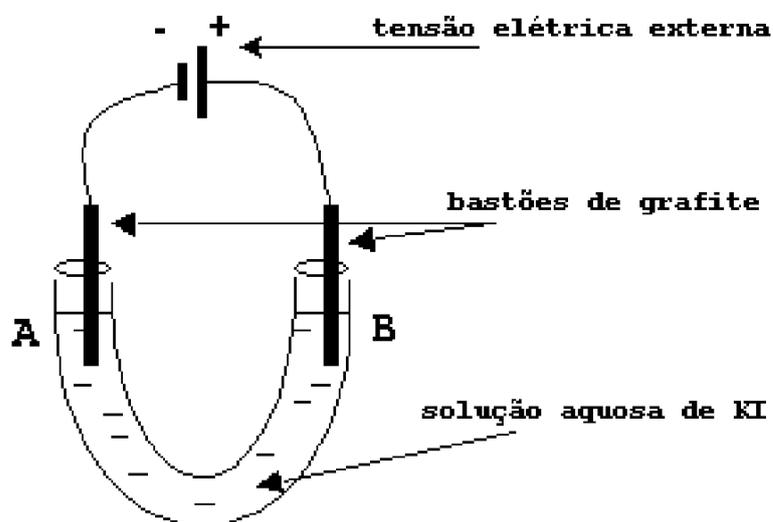
Quadro 11 – Respostas dos estudantes depois da realização das aulas expositivas em associação com as aulas experimentais sobre células eletrolíticas.

<p>1. (Fuvest, 2009) Água pode ser eletrolisada com a finalidade de se demonstrar sua composição. A figura representa uma aparelhagem em que foi feita a eletrólise da água, usando eletrodos inertes de platina?</p> 		
<p>a) Nesse experimento, para que ocorra a eletrólise da água, o que deve ser adicionado, inicialmente, à água contida no recipiente IV? Justifique.</p>		
<p>Respostas dos estudantes (antes das aulas práticas)</p>	<p>Resposta esperada</p>	<p>Incorpora, tangencia ou distancia?</p>
<p>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, pois o ácido sulfúrico não interfere na reação.  <b>EM13</b></p>	<p>Para haver condução de corrente elétrica em solução aquosa, é necessária a presença de íons livres na solução. No caso, para fazermos a eletrólise da água, devemos adicionar no recipiente IV um eletrólito.</p>	<p>Tangencia</p>
<p>Acido sulfúrico para que ocorra a reação liberando íons.  <b>EM24</b></p>		<p>Tangencia</p>
<p>Deve ser adicionado o eletrólito, provoca a passagem de corrente elétrica através de uma solução aquosa de eletrólito.  <b>EV14</b></p>		<p>Incorpora</p>

<p>Um eletrólito (condutor iônico), o eletrólito participa no processo global fundamental no transporte de carga elétrica no interior do sistema.</p> <p><b>EV17</b></p>		<p>Incorpora</p>
<p>b) Dê as fórmulas moleculares das substâncias recolhidas, respectivamente, nos tubos II e III.</p>		
<p>Soda, sal e cloro.</p> <p><b>EM12</b></p>	<p>As fórmulas das substâncias recolhidas nos tubos II e III são, respectivamente, H<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>.</p>	<p>Distancia</p>
<p>2H<sub>2</sub>O</p> <p><b>EM13</b></p>		<p>Distancia</p>
<p>Não respondeu essa questão.</p> <p><b>EM14</b></p>		<p>Distancia</p>
<p>Tubo II = Produz o hidrogênio Tubo III = Produz o oxigênio</p> <p><b>EV15</b></p>		<p>Incorpora</p>
<p>c) Qual a relação estequiométrica entre as quantidades de matéria (mols) recolhidas em II e III?</p>		
<p>Apenas 1 mol de reação.</p> <p><b>EV22</b></p>	<p>A proporção em mols de H<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> formados e de 1 mol para 0,5 mol. Proporção 2:1</p>	<p>Distancia</p>
<p><math>H_2O \rightarrow H^+ + OH^-</math> <math>2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2</math> <math>4OH^- \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-</math> <math>2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)</math></p> <p><b>EM13</b></p>		<p>Tangencia</p>
<p>Deixou em branco.</p> <p><b>EM14</b></p>		<p>Distancia</p>
<p>A relação entre as quantidades II e III foi dobrada de 2 para 1.</p> <p><b>EV11</b></p>		<p>Incorpora</p>

d) Escreva a equação balanceada que representa a semirreação que ocorre no eletrodo (anodo) inserido no tubo III.		
$H_2O(l) \rightarrow 4H^+(aq) + O_2(g) + 4e^-$	$H_2O(l) \rightarrow 2H^+_{(aq)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} + 2e^-$	Incorpora
<b>EM22</b>		
$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ $\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$ $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$		Tangencia
<b>EV14</b>		
$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$		Tangencia
<b>EV21</b>		
$H_2O + H^+ + OH^-$		Distancia
<b>EV25</b>		

2. (Fuvest, 1999, modificada) Uma solução aquosa de iodeto de potássio (KI) foi eletrolisada, usando-se a aparelhagem esquematizada na figura. Após algum tempo de eletrólise, adicionaram-se algumas gotas de solução de fenolftaleína na região do eletrodo A e algumas gotas de solução de amido na região do eletrodo B. Verificou-se o aparecimento da cor rosa na região de A e da cor azul (formação de iodo) na região de B.



Nessa eletrólise,

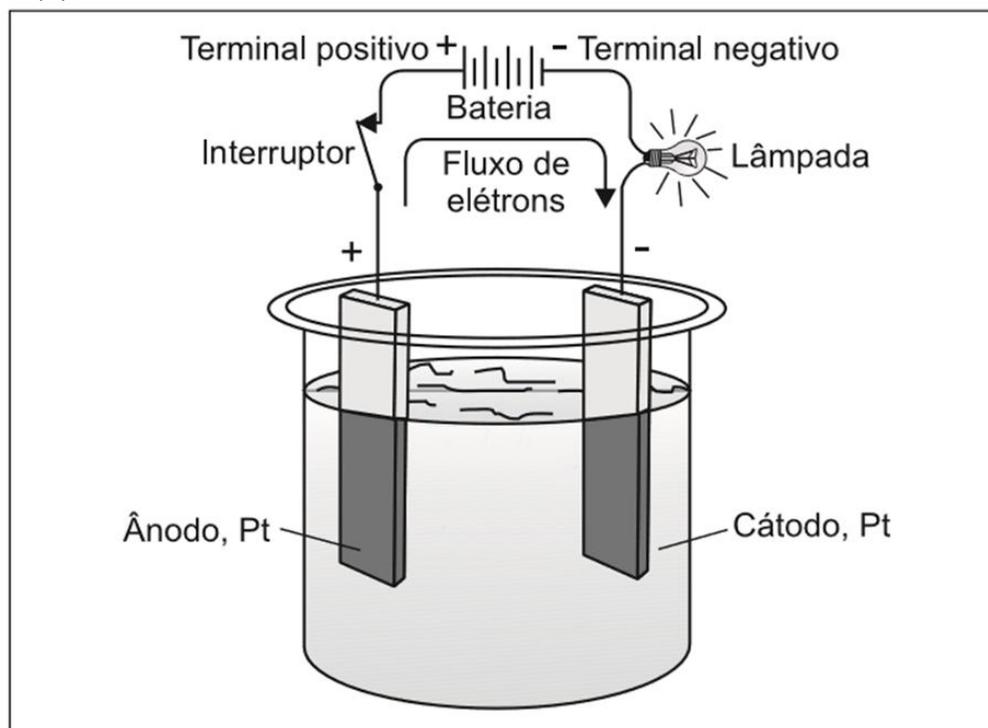
a) O que acontece no polo negativo? Quais espécies são formadas?

Respostas dos estudantes (antes das aulas práticas)	Resposta esperada	Incorpora, tangencia ou distancia?
Forma o gás.	no polo negativo, ocorre redução da água com formação de $OH^-$ e de $H_2$ .	Distancia
<b>EM12</b>		

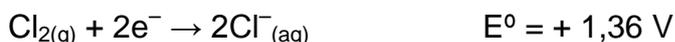
Ele fica positivo, oxigênio. <b>EV24</b>		Distancia
O negativo é formado o hidrogênio que é das espécies dos gases. <b>EV11</b>		Tangencia
Acontece no polo negativo o ânodo, que reduz, água formando gás na região. <b>EV14</b>		Tangencia
<b>b) O que acontece no polo positivo? Quais espécies são formadas?</b>		
Ele atrai formando a reação. <b>EM14</b>	no polo positivo, o iodeto perde elétrons e forma iodo.	Distancia
No polo positivo ocorre a redução e se forma o iodo. <b>EV15</b>		Tangencia
No polo positivo é o cátodo que é formado hidrogênio na solução aquosa. <b>EV16</b>		Distancia
Concentração de gás de hidrogênio ou oxigênio. <b>EV22</b>		Distancia
<b>c) Qual a função dos bastões de grafite?</b>		
São os eletrodos inertes que conduz a eletricidade fazendo assim que aja uma reação. <b>EM13</b>	a grafite atua como condutora de elétrons.	Incorpora
Conduz energia, não sofre alteração na substância. <b>EV14</b>		Incorpora
Conduzir eletricidade. <b>EV22</b>		Incorpora

Transferências de energia.		Tangencia
<b>EV24</b>		

3. (UFScar, 2005) A figura apresenta a eletrólise de uma solução aquosa de cloreto de níquel(II),  $\text{NiCl}_2$ .



São dadas as semirreações de redução e seus respectivos potenciais:



a) Indique as substâncias formadas no ânodo e no cátodo. Justifique.

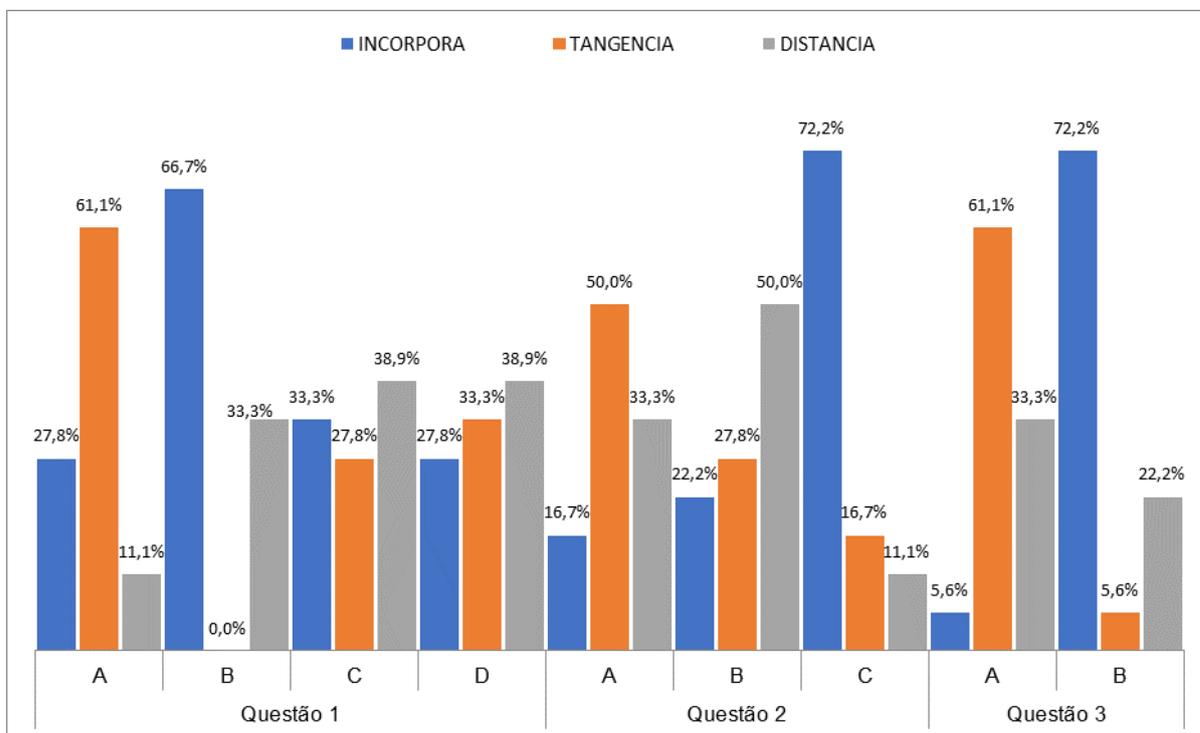
Respostas dos estudantes (antes das aulas práticas)	Resposta esperada	Incorpora, tangencia ou distancia?
No ânodo é + no cátodo é -. <b>EM12</b>	polo negativo (cátodo): $\text{Ni}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}_{(\text{s})}$ polo positivo (ânodo): $2\text{Cl}^-_{(\text{aq})} \rightarrow 2\text{e}^- + \text{Cl}_{2(\text{g})}$	Distancia
Cátodo $\text{Ni}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}_{(\text{s})}$ transforma em metal Sólido. (maior potencial de redução é o cloro, sofre redução, inverte a reação) Ânodo $2\text{Cl}^-_{(\text{aq})} \rightarrow \text{Cl}_{2(\text{g})} + 2\text{e}^-$ transforma em gás. <b>EM13</b>	No cátodo (onde ocorre a redução), temos a formação do metal níquel e no ânodo (onde ocorre a oxidação), a formação do gás cloro.	Incorpora

<p>Ânodo = <math>\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}(\text{s})</math> <math>E^\circ = -0,24\text{V}</math>  Cátodo = <math>2\text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{e}^-</math> <math>E^\circ = -1,36\text{V}</math>  Pois os opostos se atraem.</p> <p style="text-align: center;"><b>EV11</b></p>		Distancia
<p>O polo + ocorre a solidificação do Ni.</p> <p style="text-align: center;"><b>EV12</b></p>		Distancia
<p>b) Qual deve ser o mínimo potencial aplicado pela bateria para que ocorra a eletrólise? Justifique.</p>		
<p><math>P = -0,24 + (-1,36)</math>  <math>P = -1,60\text{V}</math>  Mínimo da bateria é 1,60V</p> <p style="text-align: center;"><b>EM13</b></p>		Incorpora
<p><math>\Delta E^\circ = E^\circ(\text{el. recebe}) - E^\circ(\text{el. perde})</math>  <math>\Delta E^\circ = -0,24 - (+1,36)</math>  <math>\Delta E^\circ = E^\circ - 1,60\text{V}</math>  Mínimo de potencial 1,60V</p> <p style="text-align: center;"><b>EM23</b></p>	<p><math>\text{Ni}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}_{(\text{s})} -0,24\text{V}</math>  <math>2\text{Cl}^-_{(\text{aq})} \rightarrow 2\text{e}^- + \text{Cl}_{2(\text{g})} -1,36\text{V}</math></p> <hr style="width: 50%; margin: auto;"/> <p><math>\text{Ni}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{Cl}^-_{(\text{aq})} \rightarrow \text{Ni}_{(\text{s})} + \text{Cl}_{2(\text{g})} - 1,60\text{V}</math></p>	Incorpora
<p><math>\Delta E^\circ = -1,36 - 0,24</math>  <math>\Delta E^\circ = -1,60</math>  <math>\Delta E^\circ = +1,60\text{V}</math>  Esse é o mínimo potencial para que ocorra, caso contrário, não irá ocorrer.</p> <p style="text-align: center;"><b>EV13</b></p>	<p>O mínimo potencial aplicado pela bateria para que ocorra a eletrólise é 1,60V.</p>	Incorpora
<p>Potencial de 1,22V</p> <p style="text-align: center;"><b>EV25</b></p>		Distancia

\*Os códigos receberam as seguintes denominações: “E” de estudante, “M” de matutino, “V” vespertino, o primeiro número está relacionado com o grupo pertencente e o segundo número está relacionado com a ordem alfabética do primeiro nome dos estudantes”.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Figura 20 – Classificação do conhecimento dos estudantes depois da realização das aulas expositivas em associação com as aulas experimentais sobre células eletrolíticas (APÊNDICE B – **Questionário para avaliação das atividades experimentais realizadas pelos estudantes**).



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Comparando apenas o termo “Distancia” de todas as questões sobre célula eletrolítica aplicadas antes e depois das aulas expositivas e aulas práticas, observou uma redução de aproximadamente 50 % das respostas totalmente distante do esperado, refletindo a importância das aulas experimentais com a participação dos estudantes.

### 5.6.2 Questões relacionadas com célula a combustível: Consumo do combustível gás hidrogênio e geração de eletricidade

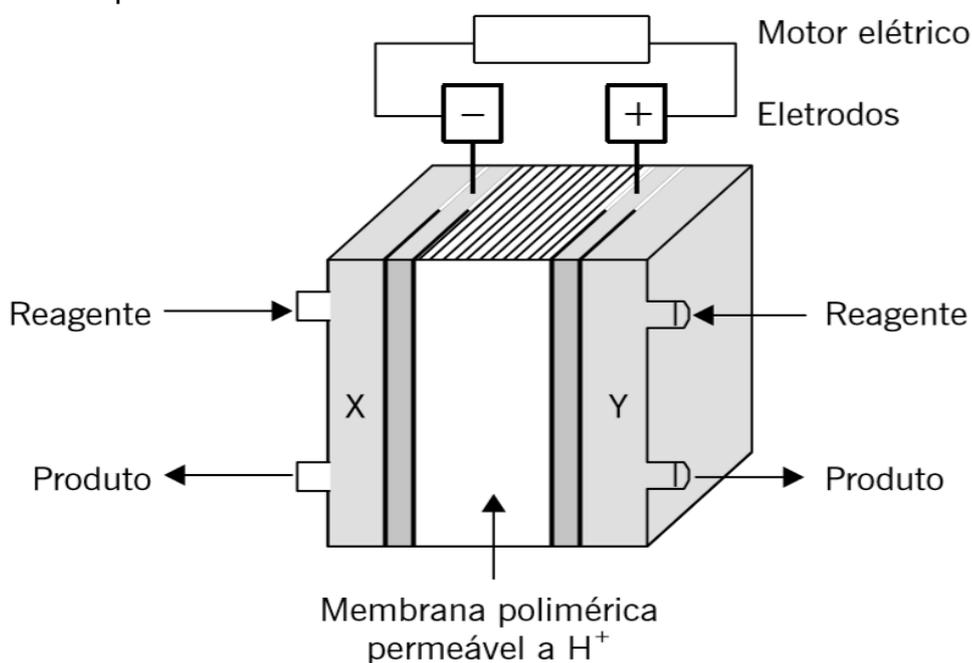
As mesmas questões do item 5.2.2, relacionadas com a célula a combustível, também foram aplicadas após as aulas teóricas e práticas (ver questões no APÊNDICE B – **Questionário para avaliação das atividades experimentais realizadas pelos estudantes**). As respostas dos estudantes obtidas encontram-se reunidas no Quadro 12. A Figura 21 expressa os resultados obtidos considerando



$\Delta E = E^\circ - E^\circ$ $\Delta E = 1,23 + (-0,83)$ $\Delta E = +2,06$ $\Delta E = E^\circ - E^\circ$ $\Delta E = 0,40 - (-0,83)$ $\Delta E = 1,23$ <p style="text-align: center;"><b>EV21</b></p>	<p style="text-align: center;">Célula de ácido fosfórico</p> $O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^-$ $\rightarrow 2H_2O_{(l)} + 1,23$ $(2x) H_{2(g)} \rightarrow 2H^+_{(aq)}$ $+ 2e^-$	Distancia
$B = 2OH^-(aq) + H_2(g) \rightarrow 2H_2O(l) + 2e^-$ $= +0,83$ $O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \rightarrow 4OH^-(aq) E^\circ = +0,40$ $1,23V$ $A = O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(l)$ $= +1,23$ $H_2(g) \rightarrow 2H^+ + 2e^- = +0,00$ $1,23V$ <p style="text-align: center;"><b>EV22</b></p>	<p style="text-align: center;">0,00</p> $O_{2(g)} + 2H_{2(g)} \rightarrow$ $2H_2O_{(l)} + 1,23 V$	Incorpora

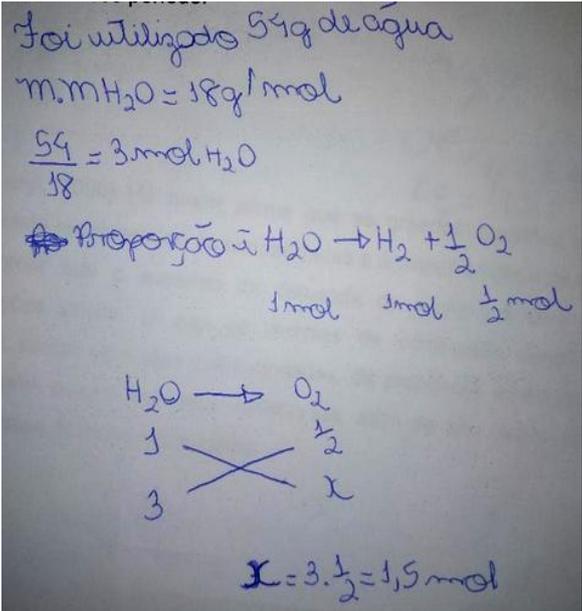
2. (Unicamp, 2000) Há quem afirme que as grandes questões da humanidade simplesmente restringem-se às necessidades e à disponibilidade de energia. Temos de concordar que o aumento da demanda de energia é uma das principais preocupações atuais. O uso de motores de combustão possibilitou grandes mudanças, porém seus dias estão contados. Os problemas ambientais pelos quais estes motores podem ser responsabilizados, além de seu baixo rendimento, têm levado à busca de outras tecnologias.

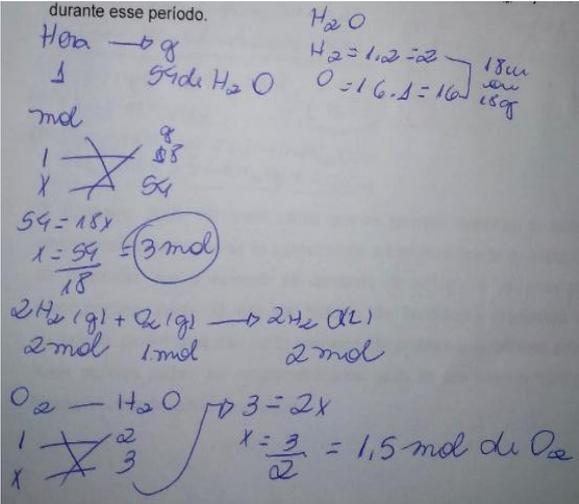
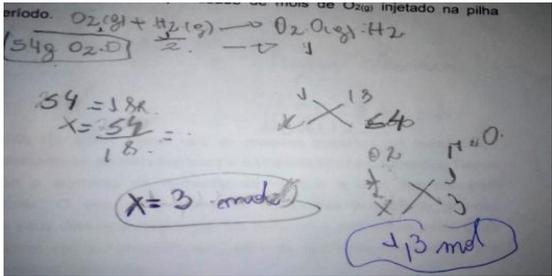
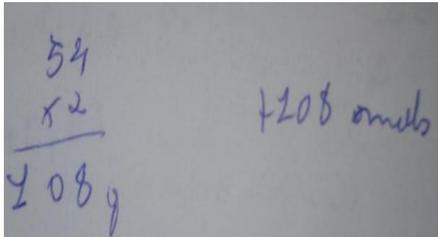
Uma alternativa promissora para os motores de combustão são as celas de combustível que permitem, entre outras coisas, rendimentos de até 50% e operação em silêncio. Uma das mais promissoras celas de combustível é a de hidrogênio, mostrada no esquema abaixo:



<p>Nessa cela, um dos compartimentos é alimentado por hidrogênio gasoso e o outro, por oxigênio gasoso. As semi-reações que ocorrem nos eletrodos são dadas pelas equações:  ânodo: <math>\text{H}_{2(g)} \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-</math>  cátodo: <math>\text{O}_{2(g)} + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}</math></p>		
<p>(a) Por que se pode afirmar, do ponto de vista químico, que esta cela de combustível é “não poluente”?</p>		
Respostas dos estudantes (antes das aulas práticas)	Resposta esperada	Incorpora, tangencia ou distancia?
<p>Não respondeu</p> <p><b>EM12</b></p>	<p>Porque libera como produtos; água, elétrons e calor.</p>	Distancia
<p>Pois ela se alimenta de oxigênio e do hidrogênio e em vez de soltar gás carbônico produz água (<math>\text{H}_2\text{O}</math>).</p> <p><b>EV11</b></p>		Incorpora
<p>Pois ela gera <math>\text{H}_2\text{O}</math> (água) que não é poluente para o ambiente.</p> <p><b>EV17</b></p>		Incorpora
<p>Por que produz água é renovável.</p> <p><b>EV21</b></p>		Incorpora
<p>(b) Qual dos gases deve alimentar o compartimento X? Justifique.</p>		
<p><math>\text{O}_{2(g)}</math></p> <p><b>EM13</b></p>	<p>Gás <math>\text{H}_2</math>, porque é onde ocorre a oxidação (ou onde o <math>\text{H}_2</math> passa para <math>\text{H}^+</math>) e, portanto, é onde os elétrons são liberados.</p>	Distancia
<p>Não respondeu</p> <p><b>EV12</b></p>		Distancia
<p>Hidrogênio, devido a eletricidade exposta na semirreação eliminando o componente X.</p> <p><b>EV14</b></p>		Tangencia
<p>O gás hidrogênio, pois nesse tipo de célula os eletrodos são expostos a um fluxo de gases para suprir os reagentes (o combustível é oxidado).</p> <p><b>EV17</b></p>		Incorpora



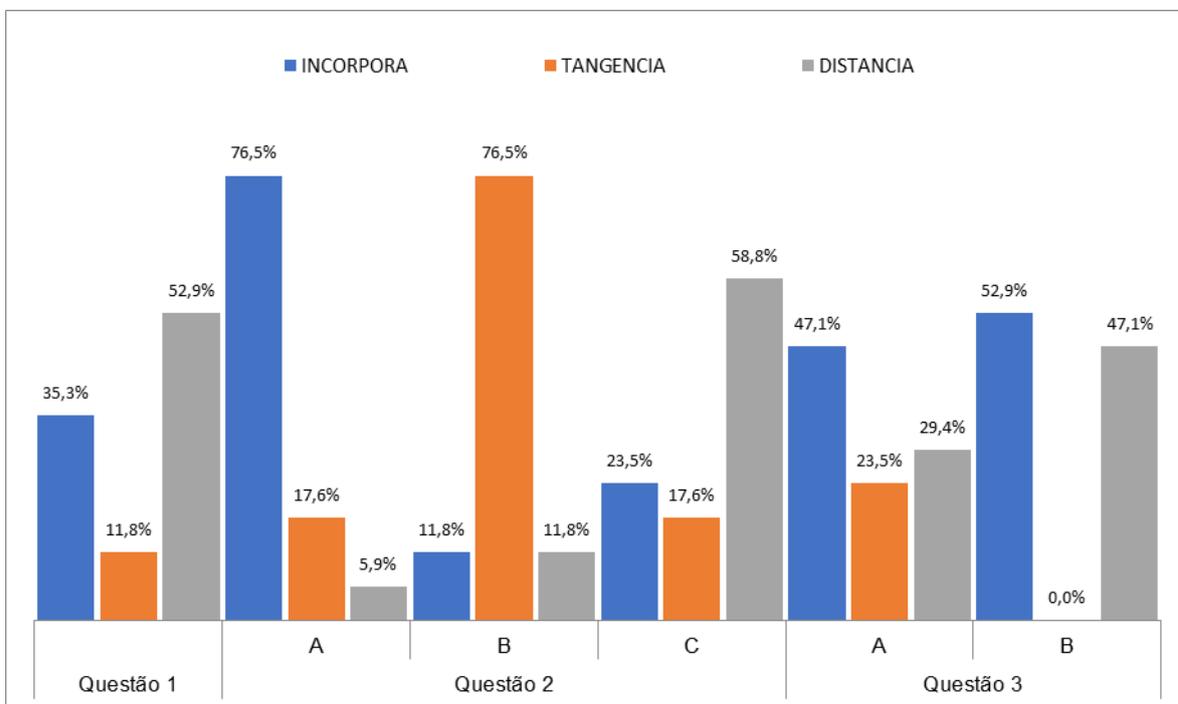
<p>Oxidação (ânodo) inverte potencial menor  <math>\text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-(\text{aq}) \rightarrow 4\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 4\text{e}^- = +0,83 \text{ V}</math></p> <p>Redução (cátodo) potencial maior <math>\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-(\text{aq}) = +0,40 \text{ V}</math></p> $\Delta E^\circ = 0,83 + 0,40$ $\Delta E^\circ = 1,23\text{V}$ <p><b>EV22</b></p>	<p>reação total é:  <math>\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}</math>  e seu potencial (<math>E^0</math>) é  <math>+0,83 + 0,40 =</math>  <math>+ 1,23 \text{ V}.</math></p>	Incorpora									
$\begin{array}{r} -0,83 \\ +0,40 \\ \hline +0,43 \end{array}$ <p>Potencial da pilha + 0,43</p> <p><b>EV24</b></p>		Distancia									
$\Delta E^\circ = E_{\text{ag oxi}} - E_{\text{ag red}}$ $\Delta E^\circ = +0,40 - (-0,83)$ $\Delta E^\circ = -0,43$ <p><b>EV25</b></p>		Distancia									
<p>b) Considerando que durante 1 hora de operação dessa pilha foram gerados 54g de água como subproduto, calcule a quantidade de mols de <math>\text{O}_2(\text{g})</math> injetado na pilha durante esse período.</p>											
 <p>Foi utilizado 54g de água  <math>m.m \text{H}_2\text{O} = 18\text{g/mol}</math>  <math>\frac{54}{18} = 3 \text{ mol H}_2\text{O}</math></p> <p>Proporção: <math>\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2</math>  1 mol      1 mol      <math>\frac{1}{2}</math> mol</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td><math>\text{H}_2\text{O}</math></td> <td><math>\rightarrow</math></td> <td><math>\text{O}_2</math></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td><math>\times</math></td> <td><math>\frac{1}{2}</math></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td><math>\times</math></td> <td>x</td> </tr> </table> $x = 3 \cdot \frac{1}{2} = 1,5 \text{ mol}$ <p><b>EM21</b></p>	$\text{H}_2\text{O}$	$\rightarrow$	$\text{O}_2$	1	$\times$	$\frac{1}{2}$	3	$\times$	x	<p>54g equivalem a 3 mols de <math>\text{H}_2\text{O}</math>. Como a estequiometria da reação é 1 mol de <math>\text{O}_2</math> para 2 de <math>\text{H}_2\text{O}</math>, seria necessária a injeção de 1,5 mols de <math>\text{O}_2(\text{g})</math>.</p>	Incorpora
$\text{H}_2\text{O}$	$\rightarrow$	$\text{O}_2$									
1	$\times$	$\frac{1}{2}$									
3	$\times$	x									

 <p>durante esse período.</p> <p><math>H_2O</math>  <math>H_2 = 1.2 = 2</math>  <math>O = 16.1 = 16</math> } 18cu    18cu    18g</p> <p><math>H_2O \rightarrow g</math>  <math>\downarrow</math> 54 de <math>H_2O</math></p> <p>mol  <math>1 \times 18</math>  <math>x \times 36</math></p> <p><math>54 = 18x</math>  <math>x = \frac{54}{18} = 3 \text{ mol}</math></p> <p><math>2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)</math>    2 mol 1 mol 2 mol</p> <p><math>O_2 - H_2O \rightarrow 3 = 2x</math>  <math>x = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ mol de } O_2</math></p>		Incorpora
 <p>período. <math>O_2(g) + H_2(g) \rightarrow H_2O(l)</math>    54g <math>O_2</math> 16g <math>H_2</math></p> <p><math>54 = 32x</math>  <math>x = \frac{54}{32} = 1,6875</math></p> <p><math>16 = 2x</math>  <math>x = \frac{16}{2} = 8</math></p> <p><math>x = 3 \text{ mol}</math></p> <p><math>1,6875 \text{ mol}</math></p>		Distancia
 <p>54  <math>\times 2</math>    -----    108g</p> <p>108g</p>		Distancia

\*Os códigos receberam as seguintes denominações: “E” de estudante, “M” de matutino, “V” vespertino, o primeiro número está relacionado com o grupo pertencente e o segundo número está relacionado com a ordem alfabética do primeiro nome dos estudantes”.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Figura 21 – Classificação das respostas dos estudantes para as questões aplicadas depois da realização das aulas expositivas em associação com as aulas experimentais sobre células a combustível (APÊNDICE B – **Questionário para avaliação das atividades experimentais realizadas pelos estudantes**).

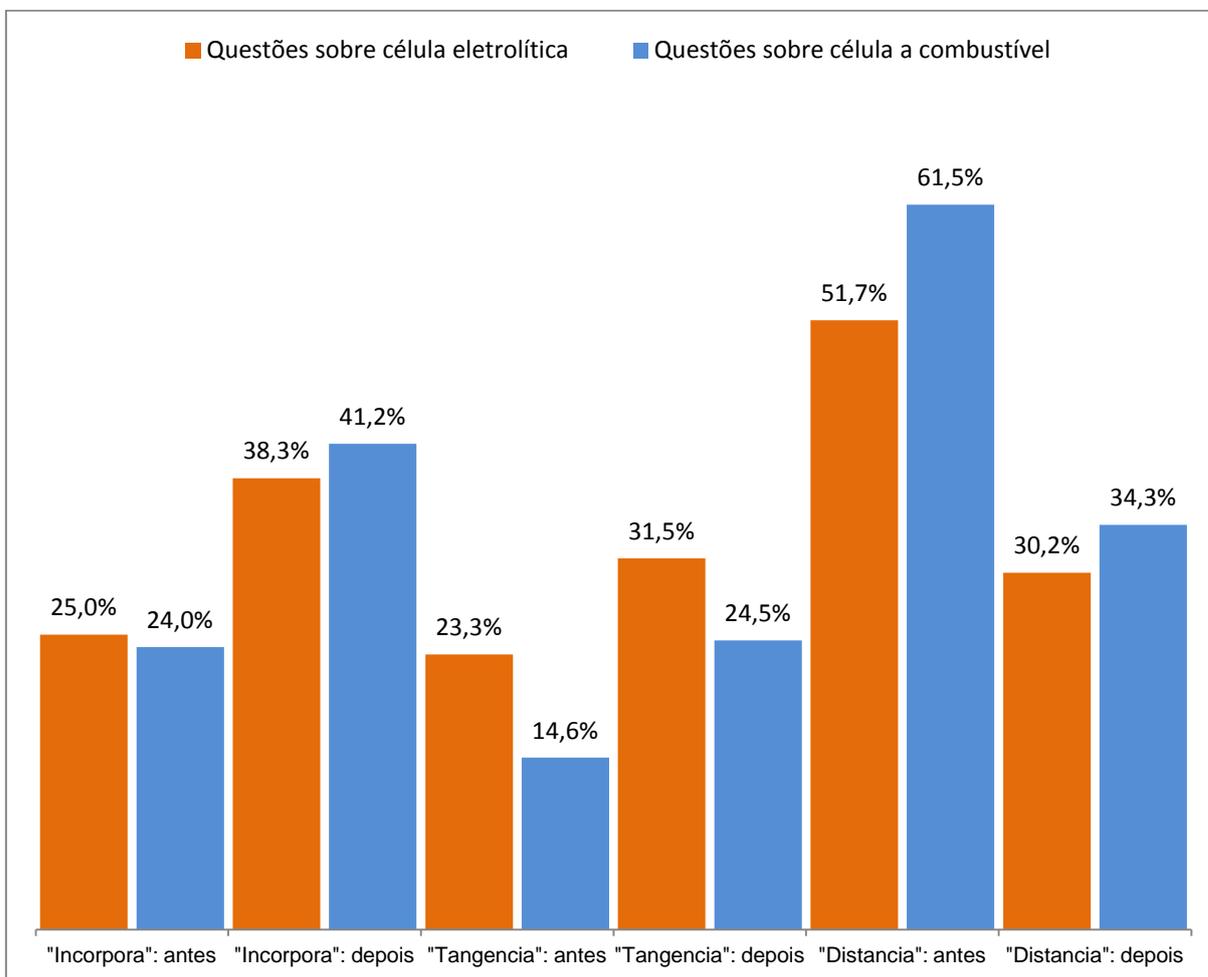


Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Percebemos nos dados expostos da figura acima a grande dificuldade dos estudantes em representar as células a combustível utilizando diferentes tipos de eletrólitos, bem como as proporções de gases necessárias para seu funcionamento.

A comparação do progresso dos estudantes depois das aulas teóricas e práticas é apresentada na Figura 22. Comparando apenas o termo “Distancia” de todas as questões sobre célula a combustível aplicadas antes e depois das aulas expositivas e aulas práticas, observou também uma redução de aproximadamente 50 % das respostas totalmente distante do esperado, refletindo a importância das aulas experimentais com a participação dos estudantes.

Figura 22 – Média aritmética de todas as respostas classificadas com os termos “Incorpora”, “Tangencia” ou “Distancia”, das questões aplicadas antes e depois das aulas teóricas e práticas (APÊNDICE B – **Questionário para avaliação das atividades experimentais realizadas pelos estudantes**).



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Alguns fatores foram pontuados para melhorar os modestos avanços, como por exemplo, aumentar as aulas práticas de conteúdos básicos para a preparação prévia do estudante, desenvolver habilidades com os estudantes com dificuldades. O processo de aprendizagem é lento, uma maior vivência com aulas práticas corrobora com a fixação do conteúdo, favorecendo a promoção e transformação do estudante.

### 5.6.3 Aplicação do questionário para avaliação pelos estudantes das atividades experimentais realizadas

Os resultados obtidos a partir da análise do questionário de coleta de informações sobre a percepção dos estudantes com relação às atividades experimentais de eletroquímica desenvolvidas (APÊNDICE D – **Questionário para avaliação pelos estudantes das atividades experimentais realizadas**), cuja parte objetiva apresentou 5 afirmativas, na escala *Likert* de 5 pontos, foram aplicados na última aula da pesquisa. A atividade contou com a participação de 19 estudantes, outros dois estudantes deixaram em branco as questões, os resultados foram agrupados e expressos na forma de porcentagem.

**Questão 1.** As atividades experimentais desenvolvidas em sala de aula despertaram o meu interesse pelo conteúdo e pela disciplina de Química.

Os seguintes resultados foram obtidos: 52,6 % dos estudantes CPI, 31,6 % dos estudantes CPa, 10,5 % dos estudantes NCD, 0,0 % dos estudantes DPa e 5,3 % DT (ver resultados reunidos na Figura 23). A soma dos estudantes que CPI e CPa resulta em 84,2 %, a quase totalidade dos estudantes consideraram importante a experimentação como ferramenta motivadora, o comentário expresso por uma aluna reforça esse resultado “Me fez eu me interessar pela matéria e eu fiquei apaixonada pelo fato”.

**Questão 2.** Eu consegui relacionar as observações experimentais com os conceitos de eletroquímica.

Os seguintes resultados foram obtidos: 52,6 % dos estudantes CPI, 26,3 % dos estudantes CPa, 10,5 % dos estudantes NCD, 5,3 % dos estudantes DPa e 5,3 % DT (ver resultados reunidos na Figura 23). A soma dos estudantes que CPI e CPa resulta em 78,9 %, uma evidência de que os estudantes compreenderam os conceitos. Um estudante fez o seguinte comentário “Sim, você fez o seu papel muito bem”, evidenciando o envolvimento do professor com as aulas e com os estudantes.

**Questão 3.** Eu adquiri novos conhecimentos após a realização dos experimentos.

Os seguintes resultados foram obtidos: 68,4 % dos estudantes CPI, 26,3 % dos estudantes CPa, 0,0 % dos estudantes NCD, 5,3 % dos estudantes DPa e 0,0 % DT (ver resultados reunidos na Figura 23). A soma dos estudantes que CPI e CPa resulta em 94,7 %, evidenciando a importância da experimentação para a

compreensão de conceitos de Química. O comentário de um estudante “Sim, eu aprendi várias coisas novas, até como ligar um relógio com líquidos e gases”, o que reforça a importância da experimentação no domínio de novos conhecimentos.

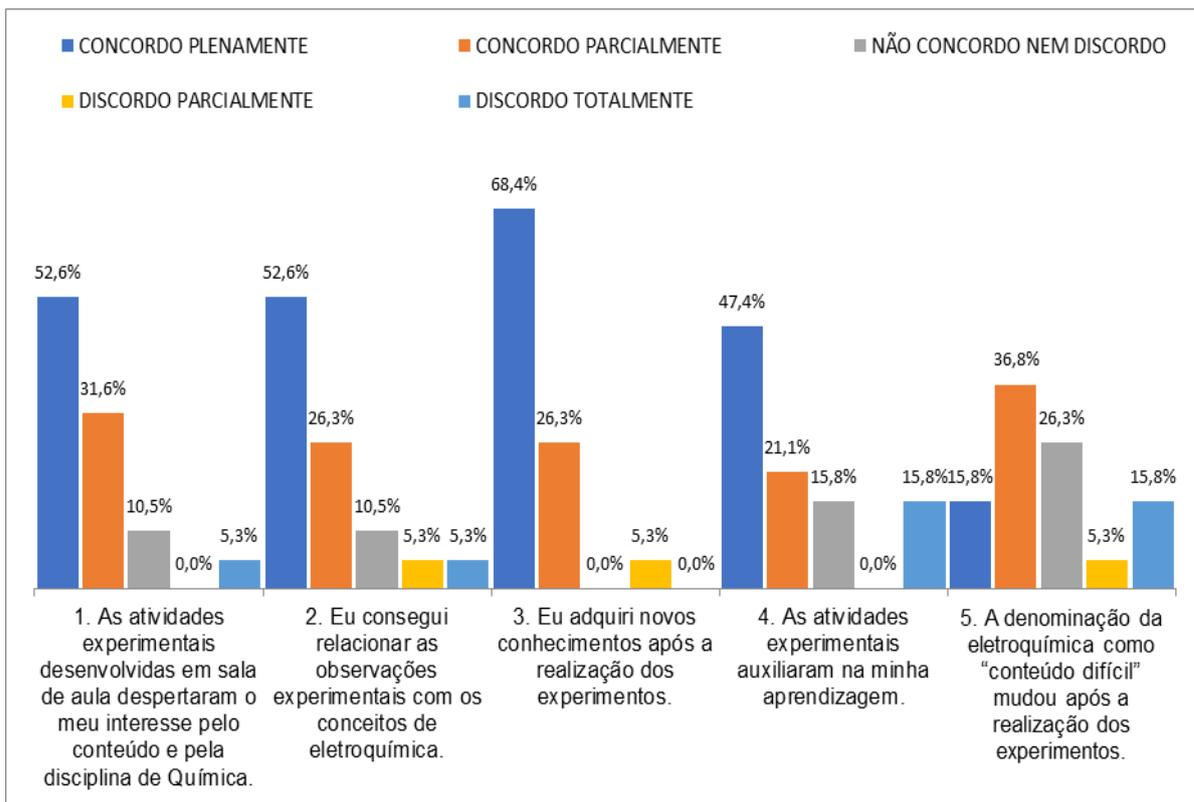
**Questão 4.** As atividades experimentais auxiliaram na minha aprendizagem.

Os seguintes resultados foram obtidos: 47,4 % dos estudantes CPI, 21,1 % dos estudantes CPa, 15,8 % dos estudantes NCD, 0,0 % dos estudantes DPa e 15,8 % DT (ver resultados reunidos na Figura 23). Considerando a soma de CPI e CPa tem-se apenas 68,5 %, que representa a dificuldade dos estudantes com o conteúdo de eletroquímica, contraponto com os novos conhecimentos adquiridos. O comentário de um estudante reforça a importância das aulas práticas e ao mesmo tempo as dificuldades com o conteúdo trabalhado “Sim, eu aprendi muito com sua aula”.

**Questão 5.** A denominação da eletroquímica como “conteúdo difícil” mudou após a realização dos experimentos.

Os seguintes resultados foram obtidos: 15,8 % dos estudantes CPI, 36,8 % dos estudantes CPa, 26,3 % dos estudantes NCD, 5,3 % dos estudantes DPa e 15,8 % DT (ver resultados reunidos na Figura 23). Considerando as escalas CPI e CPa têm-se apenas 52,6 % dos estudantes mudaram de opinião após a realização das práticas. Os comentários reforçaram que houveram progressos dos estudantes “É, não aprendi totalmente, é um pouco difícil, mas eu aprendi muito” e “Algumas coisas que eu não estava entendendo, vendo as atividades experimentais me ajudou a ter um pouco de noção”

Figura 23 – Percepção dos estudantes em relação as atividades disciplina de Química no 2º ano do ensino médio, na escala *Likert* de cinco pontos para as 5 afirmativas do questionário (APÊNDICE D – **Questionário para coleta de informações sobre a percepção dos estudantes do 2º ano do ensino médio sobre as atividades realizadas**)



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apontam que a experimentação ligada aos conteúdos sobre eletroquímica permite ao estudante uma nova concepção concreta e prospectiva dos conceitos, favorecendo as trocas de ideias e opiniões e a colaboração coletiva. A participação dos estudantes durante as aulas práticas mostrou o quanto esses momentos são importantes, possibilitando aos estudantes fazerem parte do processo, deixando-os vislumbrados e com desejo de aprender. A pesquisa evidenciou a importância das atividades experimentais no ensino de química, despertou a curiosidade, promoveu reflexões sobre experiências cotidianas vivenciadas pelos estudantes, transcendendo a aprendizagem de conteúdos, como por exemplo, a união dos estudantes, o respeito mútuo e o diálogo. É importante destacar que as atividades desenvolvidas também favoreceram a construção do conhecimento e aprimoramento da cidadania dos estudantes.

As atividades experimentais envolvendo as células eletrolíticas e as células a combustível motivaram os estudantes para as aulas de química, resultando em aulas mais produtivas. Aquele alto grau de dificuldade com a eletroquímica permitiu um melhor entendimento dos conceitos e maior valor da química perante a sociedade. As aulas práticas atraíram a atenção dos estudantes e superaram a concorrência com as novidades das redes sociais e os jogos eletrônicos nos telefones móveis. A pesquisa sustentou a importância das aulas práticas no processo ensino-aprendizagem da disciplina de química. A inserção de aulas práticas de química favoreceu a superação de obstáculos cognitivos, propiciou o entendimento de novos conceitos de química. A pesquisa apresentou uma sequência didática para servir de base aos professores da educação básica, disponibilizou o produto da dissertação, assim como os resultados da sua aplicação em duas turmas do 2º ano do ensino médio de uma escola estadual. A mediação do professor durante execução da sequência didática se faz necessária para que os estudantes superem as dificuldades e compreendam os conceitos de química. O produto da dissertação apresenta a possibilidade de planejamento de aulas práticas de eletroquímica com materiais alternativos de fácil acesso e baixo custo.

A reflexão apresentada “O animal satisfeito dorme” faz-se referência ao professor em suas práticas pedagógicas. O professor jamais poderá se sentir satisfeito, a satisfação não traz inovação, não promove o aperfeiçoando das

metodologias de ensino-aprendizagem. O autor dessa dissertação se considera insatisfeito enquanto docente da educação básica, insatisfeito com as práticas atuais desenvolvidas em sala de aula e agraciado com o produto da dissertação publicado. A insatisfação levou o autor a desenvolver a presente dissertação de mestrado.

## REFERÊNCIAS

- 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 (2019). **Química Nova**, São Paulo, v. 42, n. 4, p. 453-457, 2019.
- BARRETO, B. S. J.; BATISTA, C. H.; CRUZ, M. C. P. Células Eletroquímicas, Cotidiano e Concepções dos Educandos. **Química Nova na Escola**, São Paulo, V. 39, n. 1, p. 52-58, FEVEREIRO 2017.
- BATANERO, C.; ESTEPA, A.; GODINO, J. **Análisis exploratório de datos: sus posibilidades en la enseñanza secundaria**. Granada, 1991. Suma, n.9, p.25-31.
- BECKER, Fernando; MARQUES, Tania Beatriz Iwaszko (Org.). Ser professor é ser pesquisador. 3.a ed. Porto Alegre: Mediação, 2012.
- BIZZO, Nélio. **Ciências: fácil ou difícil**. São Paulo: Ed. 2º, 7º Impressão, Ática, 2002. ISBN: 8508071922.
- BOCCHI, N.; BIAGGIO, S. R.; FILHO, R. R. Prêmio Nobel de Química de 2019 Láurea pelo Desenvolvimento das Baterias de Íons Lítio. **Química Nova na Escola**, São Paulo, Vol. 41, n. 4, p. 320-326, Nov. 2019.
- BOCCHI, N.; FERRACIN, L. C. ; BIAGGIO, S. R.. Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n.11, p. 3-9, 2000.
- BRAIBANTE, M. E. F.; OLIVEIRA, F. V.; KLEIN, S. G. Reações redox através de uma atividade experimental de verificação. 34º Encontro de Debates sobre o Ensino de Química (EDEQ), p. 531-538, 2014.
- BRASIL, 2000. Disponível em: [http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/14\\_24.pdf](http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/14_24.pdf). Acesso em: 30 nov. 2018.
- BRASIL, 1999. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2018.
- BRASIL, 2006. **Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Secretaria de Educação Básica. – Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006. 135 p. (Orientações curriculares para o ensino médio; volume 2).
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. **Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio**. Brasília, MEC/Secretaria de Educação Básica, 2018. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_versaofinal\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf). Acesso em: 30 mar. 2020.
- CASTRO, E. A.; PAIVA, F. M.; SILVA, A. M. APRENDIZAGEM EM QUÍMICA: DESAFIOS DA EDUCAÇÃO BÁSICA. **Rev. Nova Paideia - Revista Interdisciplinar em Educação e Pesquisa**. Brasília/DF, v. 1 n. 1 p. 73-88 - jan./jun. ANO 2019.

CORTELLA, M.S. Não nascemos prontos... **Folha de São Paulo**. São Paulo, quinta-feira, 28 de setembro de 2000. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/equilibrio/eq2809200027.htm>> Acesso em 30 mar. 2020.

EILKS, I. Experiences and Reflections about Teaching Atomic Structure in a Jigsaw Classroom in Lower Secondary School Chemistry Lessons. **Journal of Chemical Education**, v. 82, n. 2, p. 313, 2005.

FATARELI, E. F., FERREIRA, L. N. A., FERREIRA, J. Q. e QUEIROZ, S. L. Método Cooperativo de Aprendizagem *Jigsaw* no Ensino de Cinética Química. **Química Nova na Escola**, n. 32, p.161-168, 2010.

FELTRE, R. **Química**, v. 2, Físico-Química. 6ª ed. São Paulo: Moderna, 2004. 418p.

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**, v. 39, n. 1, p.12-117, 2016.

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**, V. 33, n. 4, p. 216-222, NOVEMBRO 2011.

FRANCO, Maria Amélia Santoro. Pedagogia da pesquisa-ação. **Educ. Pesqui.** São Paulo, v. 31, n. 3, p. 483-502, dezembro de 2005.

FREIRE, M., S.; JUNIOR, C., N., S.; SILVA, M., G., L. Dificuldades de aprendizagem no ensino e eletroquímica segundo licenciandos de química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Temas de ensino de Formação de professores de ciências. 1. ed. vol. 1, p. 185-199. Natal: EDUFRN, 2012.

GALIAZZI, M. C.; ROCHA, J.M.B.; SCHMITZ, L. C.; SOUZA, M.L.; GIESTA, S.; GONÇALVES, F. P. Objetivo das atividades experimentais no ensino médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 249-263, 2001.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química Nova na Escola**, n. 10, p.43-49, 1999.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar**: como fazer pesquisa qualitativa em Ciências Sociais. Rio de Janeiro: Record, 1999.

GUIMARÃES, C. C. Experimentação no ensino de química: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa. **Química Nova na Escola**. V. 31, n. 3, p.198-202, 2009.

HODSON, D. Experiments in Science and Science Teaching. Educational. **Philosophy and Theory**. v. 20, p. 53-66, 1988.

KLEIN, S. G.; BRAIBANTE, M. E. F. Reações de oxi-redução e suas diferentes abordagens. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 35-45, FEVEREIRO 2017.

KOTZ, J.C.; Treichel, P. **Química e Reações Químicas**. Vol II. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998. 644p.

LIMA, J. O. G. Perspectivas de novas metodologias no Ensino de Química. **Revista espaço acadêmico**, nº 136, Setembro, p.95-101, 2012.

MACHADO, C.; Atividades laboratoriais com materiais de baixo custo: um estudo com professores timorenses. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, V. 18, n. 1, p.198-223, 2019.

NIAZ, M.; CHACÓN, E. A. Conceptual Change Teaching Strategy to Facilitate High School Students' Understanding of Eletrochemistry. *Journal of Science Education and Technology*, v. 12, n. 2, p. 129-134, 2003.

ROCHA, J. S.; VASCONCELOS, T. C. Dificuldades de aprendizagem no ensino de química: algumas reflexões. In: **XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química (XVIII ENEQ)**. Florianópolis-SC, 2016. 10p. Disponível em: < <http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R0145-2.pdf> >. Acesso em 30 mar. 2020.

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**, V. 31, n. 3, p. 190-197, AGOSTO 2009.

SANTOS, D. M. F.; SEQUEIRA, C. A. C.; FIGUEIREDO, J. L. HYDROGEN PRODUCTION BY ALKALINE WATER ELECTROLYSIS. **Química Nova**, v. 36, n. 8, p. 1176-1193, 2013.

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**, v.9, n. 5, p. 01-07, 2013.

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**. v. 40, n. 4, p.258-266, 2018.

SANTOS, W.; SCHNETZLER.; R.P. **Educação em Química**: Compromisso com a cidadania. 3ª ed. Ijuí: Ed. Unijuí, 2003.

SARTORI, E. R.; BATISTA, E. F.; FATIBELLO-FILHO, O. Escurecimento e Limpeza de Objetos de Prata - Um Experimento Simples e de Fácil Execução Envolvendo Reações de Oxidação-Redução. **Química Nova na Escola**, n. 30, p. 61-65, NOVEMBRO 2008.

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**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 107-111, 2013.

SILVA, A. F. R.; GUERREIRO, S. L. G. G.; PAOLINELLI, S. M. R.; AMUY, E.; PENA, M.; LIMA, D. Universidade Federal do Triângulo Mineiro. Biblioteca Central Manual para elaboração de trabalhos acadêmicos baseado nas normas de documentação da ABNT / Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Biblioteca Central, Uberaba-MG. 3. ed. p. 01-139, 2019<sup>1</sup>.

SILVA, I.F., SILVA, A.J.P. A experimentação na Educação em Química: Estudo Exploratório Sobre as Percepções de Licenciandos. **Rev. Virtual Quim.** v. 11, n.3, Maio-Junho, 2019.

SILVA, R.M., SILVA, R.C., ALMEIDA, M.G.O., AQUINO, K.A.S. Conexões entre Cinética Química e Eletroquímica: A Experimentação na Perspectiva de Uma Aprendizagem Significativa. **Química nova na escola**, São Paulo, v.38, n. 3, p. 237-243, 2016.

SILVA, V. G. **A importância da experimentação no ensino de química e ciências.** Trabalho de conclusão de curso (TCC em Química) – UNESP. Bauru, 2016.

TICIANELLI, E. A.; GONZALEZ, E. R.; **Eletroquímica**, 2<sup>a</sup>. ed., Edusp: São Paulo, 2013.

VILLULLAS, H. M; TICIANELLI, E. A.; GONZÁLEZ, E. R. Células a Combustível: Energia Limpa a Partir de Fontes Renováveis. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n.15, p. 28-34, 2002.

WARTHA, E. J.; REIS, M. S.; Silveira, M. P.; GUZZI FILHO, N. J.; JESUS, R. M. A Maresia no Ensino de Química. **Química Nova na Escola**, n.26, p. 17-20, NOVEMBRO 2007.

WEISSBART, J. *Fuel cells—Electrochemical converters of chemical to electrical energy.* **Journal of Chemical Education**, v.38, n.05, p.267-272, 1961.

WENDT, H.; GÖTZ, M.; LINARDI, M. TECNOLOGIA DE CÉLULAS A COMBUSTÍVEL. **Química Nova**, v.23, n.4, p. 538-546, 2000.

ZULIANI, S. R. Q. A.; ÂNGELO, A. C. D. **A utilização de metodologias alternativas:** o método investigativo e a aprendizagem de química. In: Educação em Ciências da pesquisa à prática docente. Ed. Escrituras: Autores Associados, p. 69-80, 2001.

---

<sup>1</sup> As normas desta pesquisa foram baseadas no manual de Apresentação de trabalhos acadêmicos da UFTM.

## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO SOBRE INFORMAÇÕES GERAIS DOS ESTUDANTES DO 2º ANO DO ENSINO MÉDIO SOBRE A DISCIPLINA DE QUÍMICA

Quanto você concorda ou discorda das afirmações 1 a 5, sobre a disciplina de Química? Marque apenas uma alternativa.

1. A Química que estudamos está presente no nosso dia-a-dia.

1. Concordo plenamente	2. Concordo parcialmente	3. Não concordo nem discordo	4. Discordo parcialmente	5. Discordo totalmente
------------------------	--------------------------	------------------------------	--------------------------	------------------------

Esse espaço é livre, caso deseje escrever algo: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2. Estudar Química é importante para a minha vida.

1. Concordo plenamente	2. Concordo parcialmente	3. Não concordo nem discordo	4. Discordo parcialmente	5. Discordo totalmente
------------------------	--------------------------	------------------------------	--------------------------	------------------------

Esse espaço é livre, caso deseje escrever algo: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3. Estudar Química é divertido e fascinante.

1. Concordo plenamente	2. Concordo parcialmente	3. Não concordo nem discordo	4. Discordo parcialmente	5. Discordo totalmente
------------------------	--------------------------	------------------------------	--------------------------	------------------------

Esse espaço é livre, caso deseje escrever algo: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. Compreender Química é muito complicado.

1. Concordo plenamente	2. Concordo parcialmente	3. Não concordo nem discordo	4. Discordo parcialmente	5. Discordo totalmente
------------------------	--------------------------	------------------------------	--------------------------	------------------------

Cite as dificuldades encontradas, se for o caso: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5. Aulas práticas de Química são importantes.

1. Concordo plenamente	2. Concordo parcialmente	3. Não concordo nem discordo	4. Discordo parcialmente	5. Discordo totalmente
------------------------	--------------------------	------------------------------	--------------------------	------------------------

Cite as atividades práticas desenvolvidas, se for o caso: \_\_\_\_\_

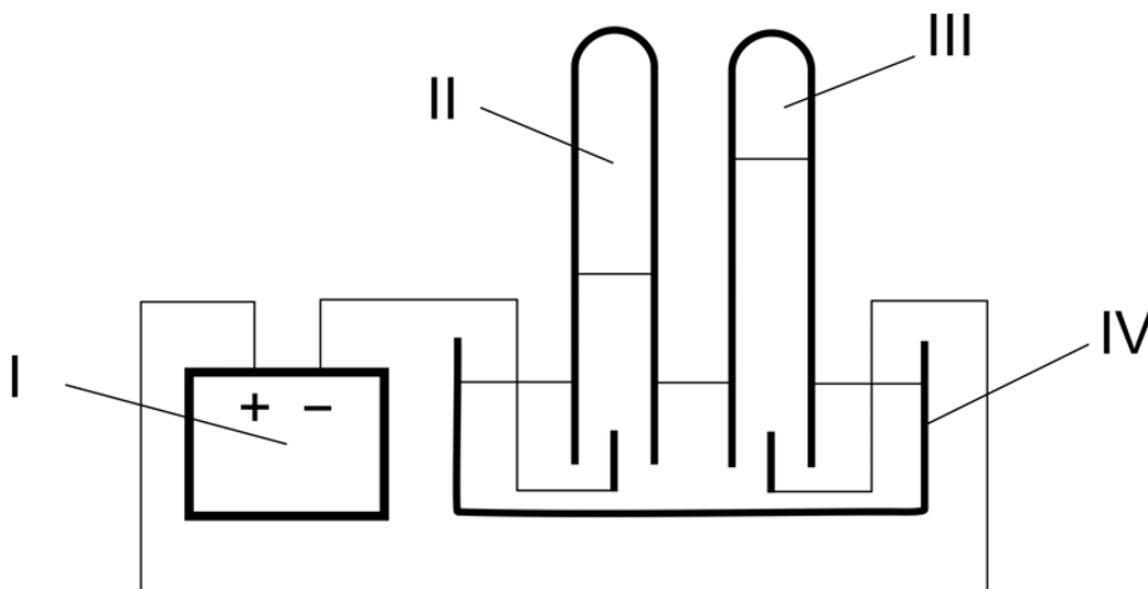
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS REALIZADAS PELOS ESTUDANTES

### *Questões relacionadas com célula eletrolítica: Produção do combustível gás hidrogênio e consumo de eletricidade*

1. (Fuvest, 2009) Água pode ser eletrolisada com a finalidade de se demonstrar sua composição. A figura representa uma aparelhagem em que foi feita a eletrólise da água, usando eletrodos inertes de platina.



I = gerador de corrente contínua

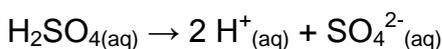
- Nesse experimento, para que ocorra a eletrólise da água, o que deve ser adicionado, inicialmente, à água contida no recipiente IV? Justifique.
- Dê as fórmulas moleculares das substâncias recolhidas, respectivamente, nos tubos II e III.
- Qual a relação estequiométrica entre as quantidades de matéria (mols) recolhidas em II e III?
- Escreva a equação balanceada que representa a semi-reação que ocorre no eletrodo (anodo) inserido no tubo III.

Resposta esperada:

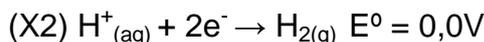
a) Para haver condução de corrente elétrica em solução aquosa, é necessária a presença de íons livres na solução. No caso, para fazermos a eletrólise da água, devemos adicionar no recipiente IV um eletrólito.

O cátion desse eletrólito deve apresentar potencial de redução menor que o de  $H^+$  (exemplos: alcalino, alcalino terroso e alumínio, como  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ , ...) e o ânion deve apresentar potencial de oxidação menor que o da  $OH^-$  (exemplos:  $F^-$  e ânions oxigenados, como  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ , entre outros).

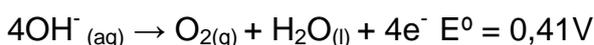
Como exemplos, podemos citar:  $H_2SO_4$  (diluído),  $NaNO_3$ , entre outros:



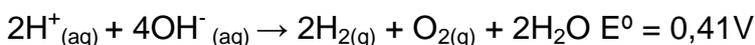
b) No cátodo (II), ocorre redução da água de acordo com a equação da reação:



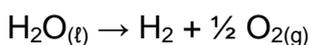
No ânodo (III), ocorre oxidação da água:



As fórmulas das substâncias recolhidas nos tubos II e III são, respectivamente,  $H_2$  e  $O_2$ .



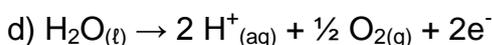
c) A equação global que representa a reação da eletrólise da água é:



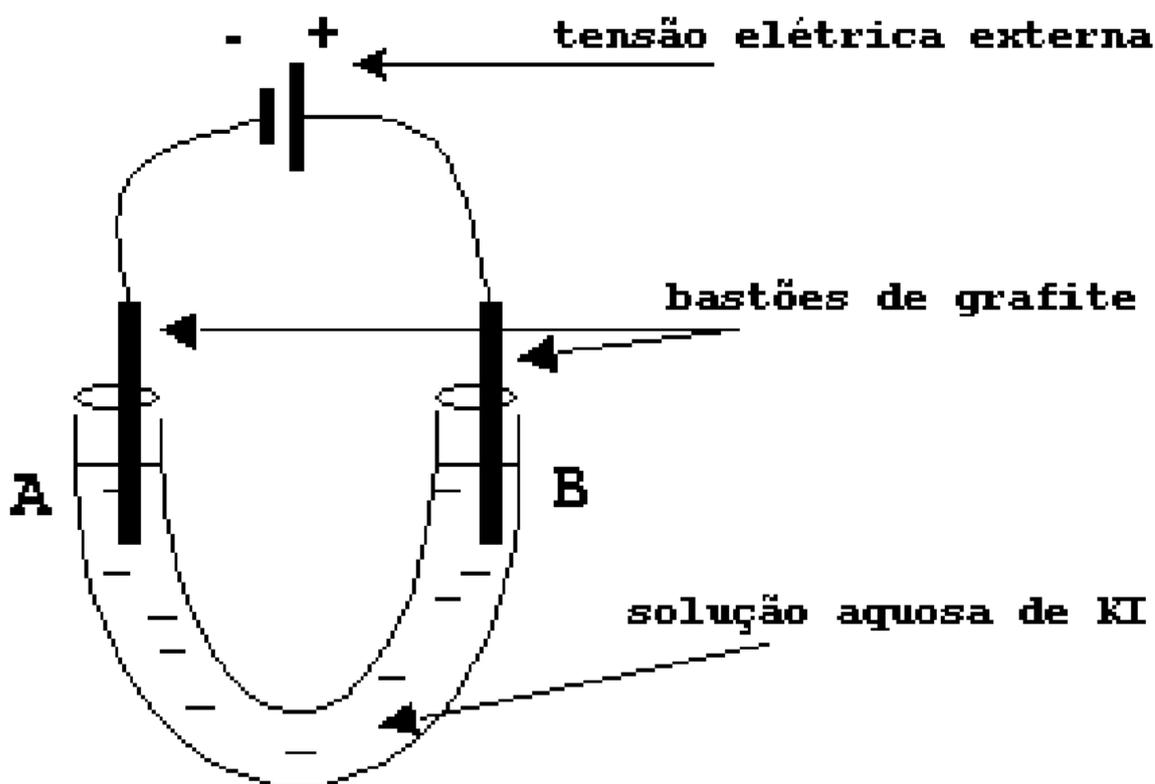
1 mol 0,5 mol

A proporção em mols de  $H_2$  e  $O_2$  formados é de 1 mol para 0,5 mol.

Proporção 2: 1



2. (Fuvest, 1999, modificada) Uma solução aquosa de iodeto de potássio (KI) foi eletrolisada, usando-se a aparelhagem esquematizada na figura. Após algum tempo de eletrólise, adicionaram-se algumas gotas de solução de fenolftaleína na região do eletrodo A e algumas gotas de solução de amido na região do eletrodo B. Verificou-se o aparecimento da cor rosa na região de A e da cor azul (formação de iodo) na região de B.



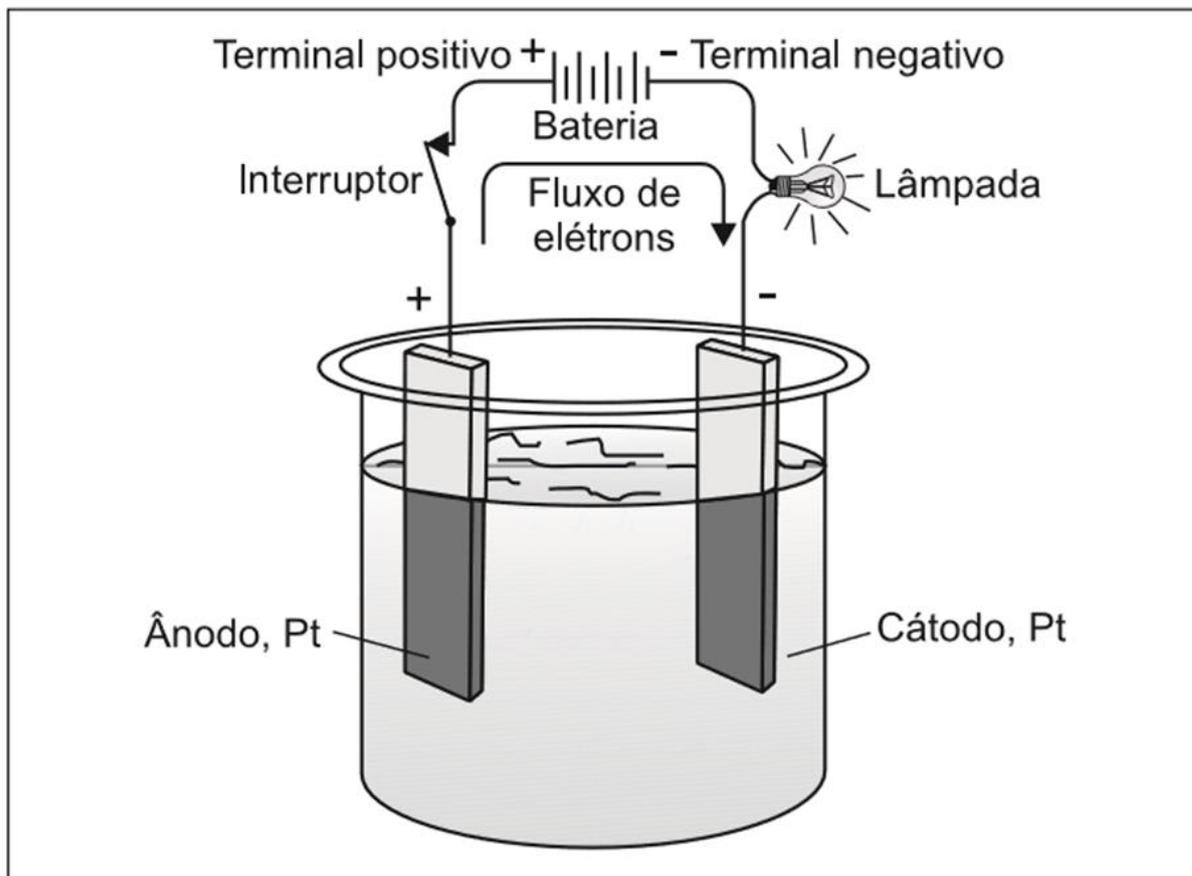
Nessa eletrólise,

- O que acontece no polo negativo? Quais espécies são formadas?
- O que acontece no polo positivo? Quais espécies são formadas?
- Qual a função dos bastões de grafite?

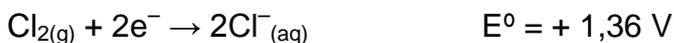
Respostas esperadas:

- no polo negativo, ocorre redução da água com formação de  $\text{OH}^-$  e de  $\text{H}_2$ .
- no polo positivo, o iodeto perde elétrons e forma iodo.
- a grafite atua como condutora de elétrons.

3. (UFScar, 2005, modificada) A figura apresenta a eletrólise de uma solução aquosa de cloreto de níquel(II),  $\text{NiCl}_2$ .



São dados as semi-reações de redução e seus respectivos potenciais:

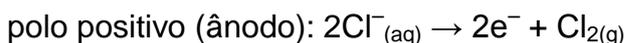
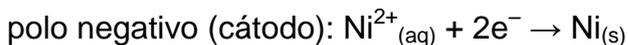


(a) Indique as substâncias formadas no ânodo e no cátodo. Justifique.

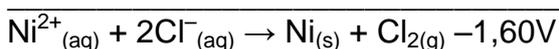
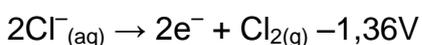
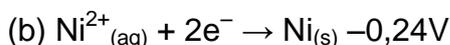
(b) Qual deve ser o mínimo potencial aplicado pela bateria para que ocorra a eletrólise? Justifique.

Respostas esperadas:

(a) As semi-reações que ocorrem na eletrólise são:



No cátodo (onde ocorre a redução), temos a formação do metal níquel e no ânodo (onde ocorre a oxidação), a formação do gás cloro.



Facilidade descarga

Cátions: metais >  $\text{H}^{+}$  > 1A, 2A, Al.

Ânions: outros >  $\text{OH}^{-}$  > oxigenados

O mínimo potencial aplicado pela bateria para que ocorra a eletrólise é 1,60V.

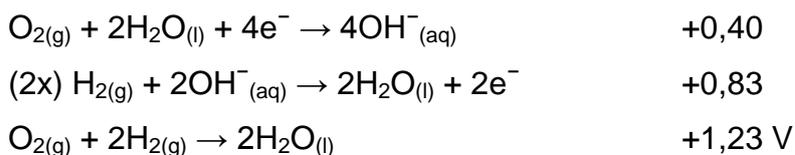
**Questões relacionadas com Célula a combustível: Consumo do combustível gás hidrogênio e geração de eletricidade**

1. (UFG, 2007, modificada) Células a combustível geram eletricidade usando reagentes que são fornecidos continuamente. Veículos movidos com essas células são soluções promissoras para a emissão zero, ou seja, não são produzidos gases poluentes, uma vez que os únicos produtos são água, elétrons e calor. Considere duas células a combustível, sendo uma alcalina, empregando  $\text{KOH}_{(aq)}$  como eletrólito, e uma de ácido fosfórico, empregando  $\text{H}_3\text{PO}_{4(aq)}$  como eletrólito. Com base nas semirreações abaixo, calcule o potencial-padrão de cada célula.

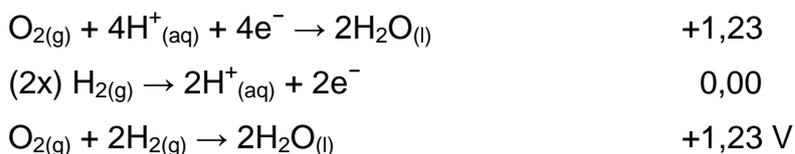
	$E^\circ / \text{V}$
$\text{O}_{2(g)} + 4\text{H}^+_{(aq)} + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	+ 1,23
$\text{O}_{2(g)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-_{(aq)}$	+0,40
$2\text{H}^+_{(aq)} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(g)}$	0,00
$2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(g)} + 2\text{OH}^-_{(aq)}$	-0,83

Respostas esperadas:

Célula alcalina  $E^\circ/\text{V}$



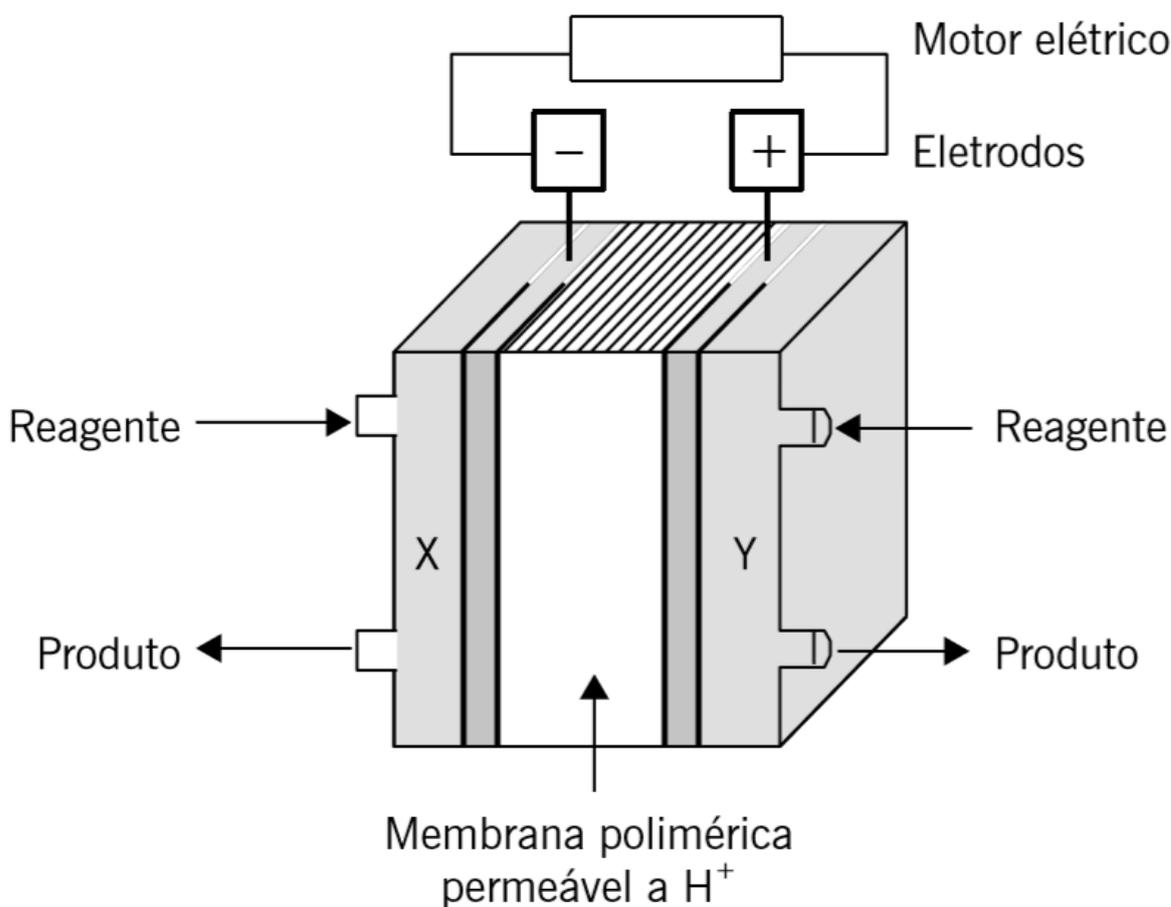
Célula de ácido fosfórico



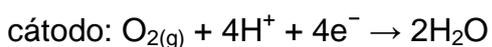
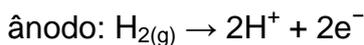
2. (Unicamp, 2000) *Há quem afirme que as grandes questões da humanidade simplesmente restringem-se às necessidades e à disponibilidade de energia. Temos de concordar que o aumento da demanda de energia é uma das principais preocupações atuais. O uso de motores de combustão possibilitou grandes*

*mudanças, porém seus dias estão contados. Os problemas ambientais pelos quais estes motores podem ser responsabilizados, além de seu baixo rendimento, têm levado à busca de outras tecnologias.*

Uma alternativa promissora para os motores de combustão são as células de combustível que permitem, entre outras coisas, rendimentos de até 50% e operação em silêncio. Uma das mais promissoras células de combustível é a de hidrogênio, mostrada no esquema abaixo:



Nessa cela, um dos compartimentos é alimentado por hidrogênio gasoso e o outro, por oxigênio gasoso. As semi-reações que ocorrem nos eletrodos são dadas pelas equações:



- (a) Por que se pode afirmar, do ponto de vista químico, que esta cela de combustível é “não poluente”?
- (b) Qual dos gases deve alimentar o compartimento X? Justifique.

(c) Que proporção de massa entre os gases você usaria para alimentar a cela de combustível? Justifique.

Respostas esperadas:

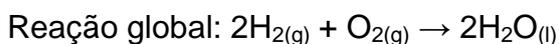
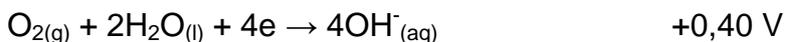
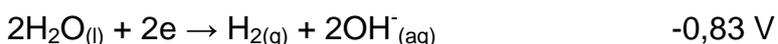
(a) Porque libera como produtos; água, elétrons e calor.

(b) Gás H<sub>2</sub>, porque é onde ocorre a oxidação (ou onde o H<sub>2</sub> passa para H<sup>+</sup>) e, portanto, é onde os elétrons são liberados.

(c) 1 H<sub>2</sub>: 8 O<sub>2</sub> ou 2 H<sub>2</sub>: 16 O<sub>2</sub> ou 4 H<sub>2</sub>: 32 O<sub>2</sub>

A estequiometria da reação mostra que reage 1 mol de H<sub>2</sub> com 1/2 mol de O<sub>2</sub>. A massa molar do H<sub>2</sub> é 2,0 e a massa molar do O<sub>2</sub> é 32, donde sai a proporção indicada.

3. (PUC-Rio, 2001) A indústria automobilística está desenvolvendo, para a movimentação de veículos, novas tecnologias que são mais limpas e econômicas do que as usadas atualmente com os atuais combustíveis fósseis. Uma das possibilidades é uma pilha composta por dois terminais onde são injetados oxigênio e hidrogênio. Esses gases passam por um material poroso (níquel) para um meio rico em íons OH<sup>-</sup> que catalisam o processo a 200 °C. Abaixo, são mostradas as meia reações-padrão de redução que ocorrem na pilha e os respectivos potenciais-padrão e a reação global da pilha.

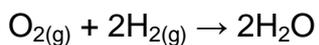


(a) Identifique o ânodo e o cátodo e calcule o potencial padrão da pilha.

(b) Considerando que durante 1 hora de operação dessa pilha foram gerados 54g de água como subproduto, calcule a quantidade de mols de O<sub>2(g)</sub> injetado na pilha durante esse período.

Respostas esperadas:

(a) Como o potencial de redução da segunda meia reação é mais positivo, temos que esta é a meia cela de redução; logo a primeira meia reação tem que ser invertida por ser uma oxidação. Assim a reação total é:

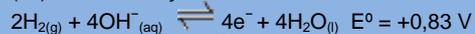


e seu potencial ( $E^0$ ) é  $+0,83 + 0,40 = + 1,23 \text{ V}$ .

(b) 54g equivalem a 3 mols de  $\text{H}_2\text{O}$ . Como a estequiometria da reação é 1 mol de  $\text{O}_2$  para 2 de  $\text{H}_2\text{O}$ , seria necessária a injeção de 1,5 mols de  $\text{O}_{2(g)}$ .

1 mol de $\text{H}_2\text{O}$ --- 18 g	1 mol de $\text{O}_2$ --- 2 mols de $\text{H}_2\text{O}$
x mol --- 54 g	x --- 3 mols de $\text{H}_2\text{O}$
x = 3 mols de $\text{H}_2\text{O}$	x = 1,5 mols de $\text{O}_2$

(x2) 1º Semirreação



## APÊNDICE C – ROTEIROS DAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS RELACIONADAS COM CÉLULA ELETROLÍTICA E CÉLULA A COMBUSTÍVEL

### 1º EXPERIMENTO

#### *Célula eletrolítica: Produção do combustível gás hidrogênio*

1ª Etapa: Leitura do artigo “Construção de Uma Célula Eletrolítica para o Ensino de Eletrólise a Partir de Materiais de Baixo Custo”

EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA



**Elen R. Sartori, Vagner B. dos Santos, Aline B. Trench e Orlando Fatibello-Filho**

Nesse artigo, é descrita a construção de uma célula eletrolítica a partir de materiais de baixo custo para um experimento de eletrólise com uma solução de KI 0,1 mol L<sup>-1</sup>. Íons iodeto foram oxidados a iodo no ânodo, visualizado pela cor castanho-amarelada formada, e a água foi reduzida no cátodo, produzindo íons hidroxilas que causaram a mudança de cor de uma solução de extrato de repolho roxo. Ademais, determinou-se o valor da constante de Avogadro a partir da carga envolvida na eletrólise.

► célula eletrolítica, reações de oxidação-redução, eletrólise ◀

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**, São Paulo, n.35, p. 107-111, 2013. Disponível em <[http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35\\_2/07-EEQ-02-12.pdf](http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35_2/07-EEQ-02-12.pdf)>.

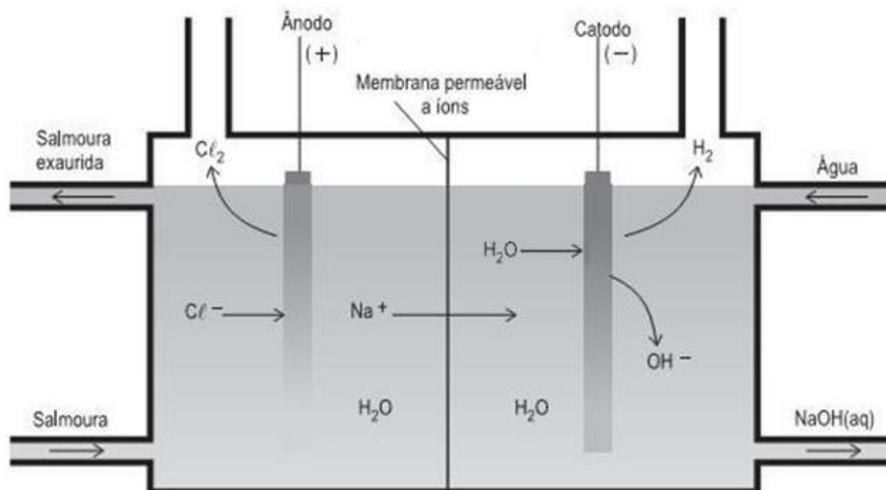
#### Questões

- 1- (a) Descrever a constituição de uma célula eletrolítica.
- (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.

Respostas esperadas:

(a) Uma célula eletrolítica é constituída de dois eletrodos – o ânodo (potencial positivo) e o cátodo (potencial negativo) –, mergulhados em uma solução aquosa ou solvente contendo íons, conhecida como eletrólito, e ainda por uma fonte externa que fornecerá energia a essa célula, produzindo reações de oxidação e redução não espontâneas nos eletrodos.

(b)



Fonte: Kotz e Treichel, 1998 - modificada.

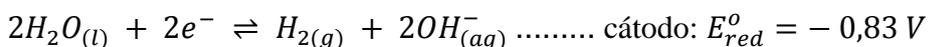
Kotz, J.C.; Treichel, P. Química e Reações Químicas. vol II. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998. 644 p.

2- Para a eletrólise de uma solução aquosa de iodeto de potássio, KI, representar:

- A semirreação no cátodo.
- A semirreação no ânodo.
- A reação global da célula eletrolítica.
- Identificar se os potenciais padrão são de redução ou de oxidação e determinar o potencial padrão da célula.

Respostas esperadas:

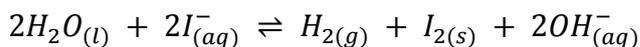
(a) Cátodo:



(b) Ânodo:



(c) Reação global:



(d) Potencial padrão da célula:

$$E_{red}^o = -0,83 \text{ V (cátodo)}$$

$$E_{red}^o = +0,54 \text{ V (ânodo)}$$

$$E_{célula}^o = E_{cátodo}^o - E_{ânodo}^o$$

$$E_{célula}^o = -0,83 - (+0,54)$$

$$E_{célula}^o = -1,37 \text{ V}$$

## 2ª Etapa: Montagem e funcionamento da célula eletrolítica

### Materiais e Reagentes

- 2 eletrodos de aço inox encaixados e selados em seringas descartáveis de 60 mL com escalpes;
- 2 seringas descartáveis de 20 mL com agulhas para aspiração do eletrólito e dos gases hidrogênio e oxigênio;
- 1 um pote descartável de plástico de 500 mL;
- Solução de  $H_2SO_4$  0,5 mol/L;
- 50 g de feijão preto;
- Fonte elétrica reutilizada de celular.

### Preparação da solução de $H_2SO_4$ 0,5 mol/L

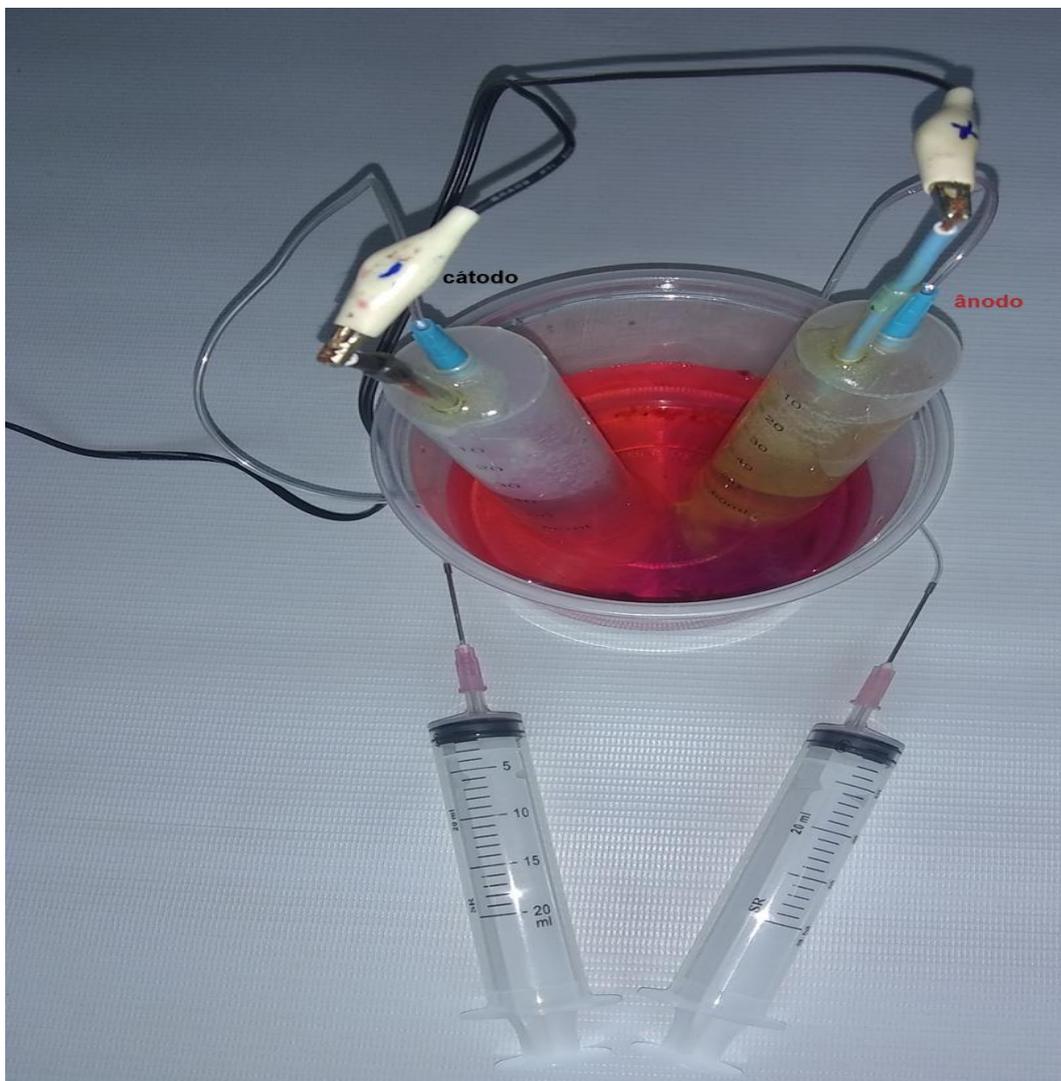
- Calcular o volume de ácido sulfúrico necessário para preparar 500 mL de solução 0,5 mol/L (massa molar  $H_2SO_4 = 98,079 \text{ g/mol}$ , densidade =  $1,84 \text{ g/cm}^3$ , título = 98 % (m/v)).
- Adicionar o volume de  $H_2SO_4$  na água e observar a reação exotérmica.
- Deixar a solução resfriar à temperatura ambiente e, em seguida, transferir para um balão volumétrico de 500 mL.
- Lavar várias vezes o béquer utilizado com porções de água destilada, transferindo-as para o balão volumétrico.

- Completar o volume do balão até a marca de calibração. Agitar a solução para homogeneizar.

### Preparação do extrato de feijão preto

- Colocar uma xícara de café de feijão preto no pote descartável de plástico de 500 mL.
- Misturar com 250 mL da solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,5 mol/L e aguardar 10 minutos.
- Separar os grãos de feijão da solução avermelhada.
- Observar a fotografia a seguir para fazer a montagem da célula eletrolítica.

Figura 1- Célula eletrolítica



Fonte: Do autor, 2019.

- No pote descartável de plástico com 250 mL da solução avermelhada de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,5 mol/L, colocar as duas seringas de 60 mL montadas com os escalpes e os eletrodos de aço inox. Uma seringa será o cátodo (reação de redução) e a outra será o ânodo (reação de oxidação). Posicionar verticalmente os eletrodos no pote descartável.- Conectar as outras duas seringas de 20 mL contendo as agulhas nos escalpes de cada eletrodo (cátodo e ânodo).
- Proceder à aspiração da solução eletrolítica contendo o extrato de feijão preto nos dois eletrodos, até o preenchimento completo das duas seringas de 20 mL.
- Obstruir os escalpes e remover as seringas usadas na aspiração da solução eletrolítica.
- Iniciar a geração dos gases hidrogênio e oxigênio, conectando o polo negativo da fonte elétrica de celular no cátodo e o polo positivo no ânodo da célula eletrolítica, conforme indicado na fotografia.

### Questões

- 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.
- (b) Observar os volumes dos gases produzidos. Qual a explicação para a diferença nos volumes dos gases?

### Respostas esperadas:

(a) A seringa contendo a solução vermelha é o cátodo.

A seringa contendo a solução amarela é o ânodo.

(b) O volume de hidrogênio gasoso formado (seringa com solução vermelha) é o dobro do volume de oxigênio gasoso (seringa com solução amarela). Os volumes expressam as proporções dos átomos na molécula de água (reagente). A estequiometria da reação evidencia que a decomposição de 2 mols de moléculas de água produz o um mol de gás oxigênio e dois mols de gás hidrogênio, ou seja, o volume de gás hidrogênio produzido é o dobro do volume de gás oxigênio.

2- Para a eletrólise de uma solução aquosa de ácido sulfúrico,  $H_2SO_4$  0,5 mol/L, representar:

- (a) A semirreação no cátodo.
- (b) A semirreação no ânodo.
- (c) A reação global da célula eletrolítica.
- (d) Determinar o potencial padrão da célula.

Respostas esperadas:

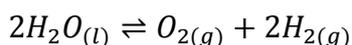
(a) Cátodo:



(b) Ânodo:



(c) Reação global:



(d) Potencial padrão da célula:

$$E_{célula}^o = E_{cátodo}^o - E_{ânodo}^o$$

$$E_{célula}^o = 0,0 - (+1,23)$$

$$E_{célula}^o = -1,23 \text{ V}$$

## 2º EXPERIMENTO

### ***Célula a combustível: Consumo do combustível gás hidrogênio e geração de eletricidade***

**1ª Etapa: Leitura do artigo “Células a Combustível: Energia Limpa a Partir de Fontes Renováveis”**

ATUALIDADES EM QUÍMICA



## **Células a Combustível: Energia Limpa a Partir de Fontes Renováveis**

**H. Mercedes Villullas, Edson A. Ticianelli e Ernesto R. González**

Uma das principais forças motivadoras da pesquisa científica e tecnológica é procurar soluções para os problemas que afetam a sociedade, como, por exemplo, a geração de energia. Este artigo define o que são as células a combustível, discute de forma resumida os princípios que determinam o seu funcionamento e apresenta alguns dos mais recentes progressos nas suas aplicações.

► Célula a combustível, geração de energia, células galvânicas ◀

VILLULLAS, H. M; TICIANELLI, E. A.; GONZÁLEZ, E. R. Células a Combustível: Energia Limpa a Partir de Fontes Renováveis. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n.15, p. 28-34, 2002. Disponível em <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc15/v15a06.pdf>>.

### **Questões**

1- Preencher a tabela com as informações relacionadas com as diferenças entre uma célula galvânica e uma célula eletrolítica.

Parâmetro		Célula galvânica	Célula eletrolítica
Conversão de energia			
Tendência termodinâmica			
Energia de Gibbs			
Polaridade dos eletrodos	Ânodo		
	Cátodo		
Funcionamento da célula			

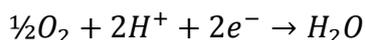
Respostas esperadas:

Tabela 1: Comparação das células galvânicas e eletrolíticas.

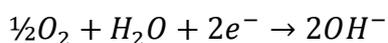
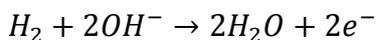
Parâmetro	Célula galvânica	Célula eletrolítica
Transformação	química → elétrica	elétrica → química
Tendência termodinâmica	espontânea	não espontânea
$\Delta G$	<0	>0
Polaridade dos eletrodos		
Anodo	-	+
Catodo	+	-
Tipo de célula	auto-impulsionada	impulsionada

2- Determinar o potencial padrão dos diferentes tipos de células a combustível (considerar a tabela de potenciais padrão de redução):

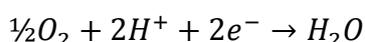
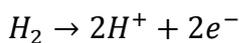
(a) Célula de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ):



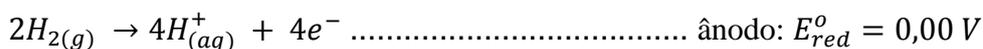
(b) Célula alcalina (KOH):

Respostas esperadas:

(a)



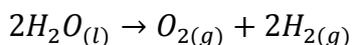
Ânodo:



Cátodo:



Reação global:



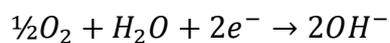
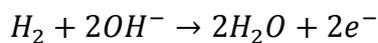
Potencial padrão da célula:

$$E_{célula}^o = E_{cátodo}^o - E_{ânodo}^o$$

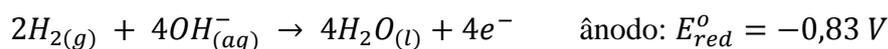
$$E_{célula}^o = +1,23 - (+0,00)$$

$$E_{célula}^{\circ} = +1,23 \text{ V}$$

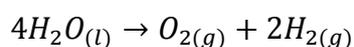
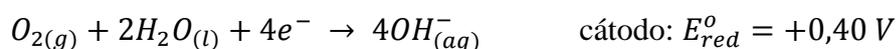
(b)



Ânodo:



Cátodo:



Potencial padrão da célula:

$$E_{célula}^{\circ} = E_{cátodo}^{\circ} - E_{ânodo}^{\circ}$$

$$E_{célula}^{\circ} = +0,40 - (-0,83)$$

$$E_{célula}^{\circ} = +1,23 \text{ V}$$

3- Citar as vantagens das células a combustível que operam com hidrogênio.

Resposta esperada:

As células a combustível têm vantagens em comparação com outros dispositivos de geração de energia porque são mais eficientes e porque os produtos gerados pelo funcionamento das células que operam com hidrogênio são água e calor, ou seja, as células são dispositivos essencialmente não contaminantes.

## 2ª Etapa: Montagem e medida do potencial de duas células a combustível

### Materiais e Reagentes para cada célula a combustível

2 eletrodos de fio de platina em espiral encaixados e selados em seringas descartáveis de 10 mL com escalpes;

2 seringas descartáveis de 60 mL com agulhas para aspiração do eletrólito e injeção dos gases hidrogênio e oxigênio;

1 um pote descartável de plástico de 250 mL;

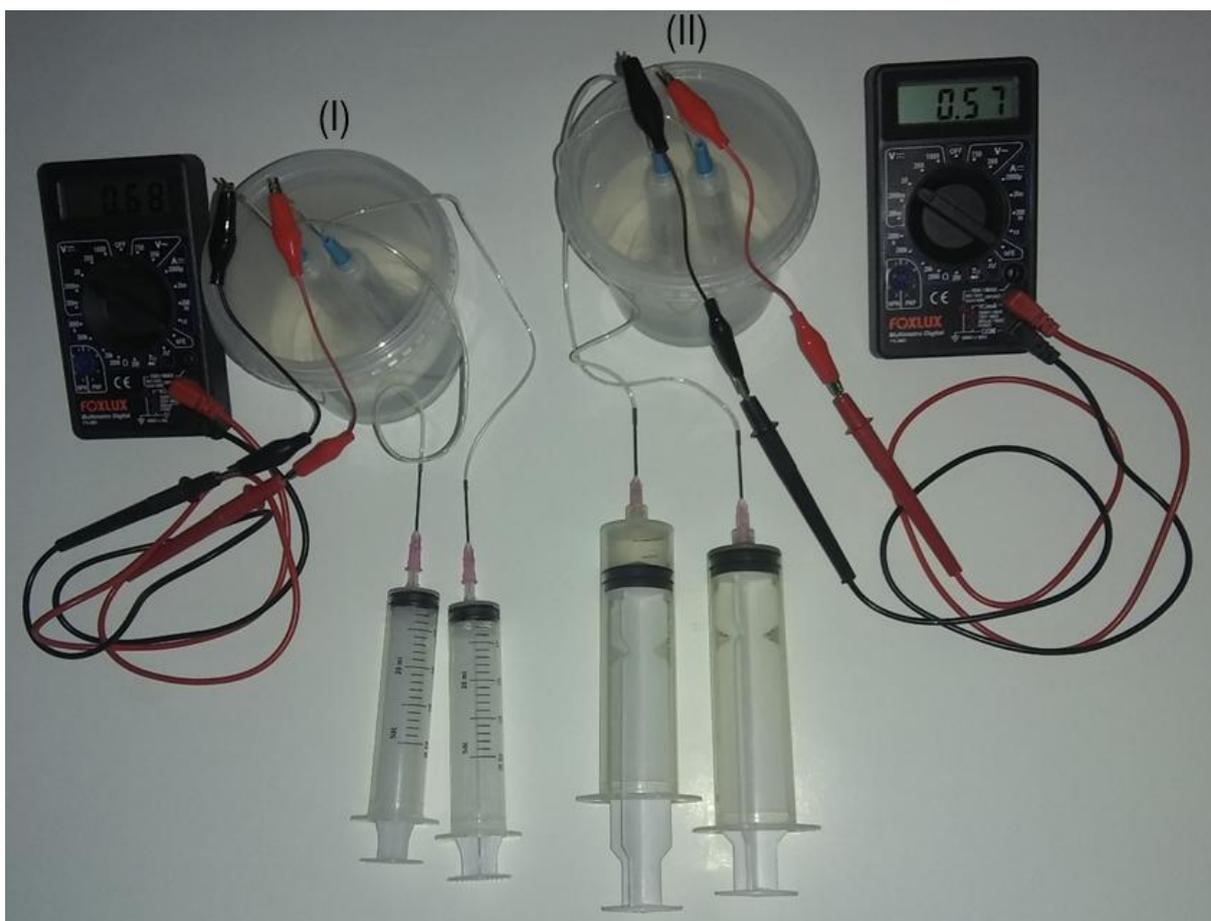
Solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,5 mol/L;

1 multímetro;

1 relógio digital que funciona com pilha comum de 1,5 V (sem pilha).

- Observar a fotografia a seguir para fazer a montagem das células a combustível (I) e (II).

Figura 2- Célula a combustível



Fonte: Do autor, 2019.

- Colocar 100 mL da solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,5 mol/L no pote descartável de plástico de 250 mL.
- Colocar dentro do pote descartável de plástico as duas seringas de 10 mL montadas com os escalpes e os eletrodos de fio de platina em espiral (cátodo e ânodo). Uma seringa será o cátodo e a outra será o ânodo. Posicionar verticalmente as duas seringas contendo os eletrodos no pote descartável.
- Usar as outras duas seringas de 60 mL contendo as agulhas para conectar nos escalpes de cada eletrodo (cátodo e ânodo).
- Proceder a aspiração da solução eletrolítica nos dois eletrodos, até o preenchimento completo das duas seringas de 10 mL.
- Obstruir os escalpes e desconectar as seringas.
- Transferir os gases hidrogênio e oxigênio produzidos na célula eletrolítica (1º EXPERIMENTO) para a célula a combustível (2º EXPERIMENTO). Injetar o gás oxigênio no cátodo e o gás hidrogênio no ânodo. O volume de cada gás injetado será controlado para manter o eletrodo de platina em espiral também em contato com a solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,5 mol/L.
- Ajustar o multímetro na escala de 20 Volts.
- Para medir o potencial de cada célula a combustível, conectar as extremidades metálicas dos cabos do multímetro em cada um dos polos da seguinte maneira: a extremidade metálica da ponta vermelha no terminal do eletrodo de platina que está em contato com o gás oxigênio (cátodo) e a extremidade metálica da ponta preta no terminal do eletrodo de platina que está em contato com o gás hidrogênio (ânodo), conforme indicado na fotografia.

### Questões

1- Qual o potencial medido na célula a combustível (I) e na (II)?

Resposta esperada:

Célula a combustível (I):  $E_{célula} = \sim + 0,68 \text{ V}$

Célula a combustível (II):  $E_{célula} = \sim + 0,57 \text{ V}$

2- Utilizando o multímetro, identifique o cátodo e o ânodo na célula a combustível (I) e na (II).

Resposta esperada:

Ânodo: eletrodo onde ocorre a oxidação do gás hidrogênio,  $H_{2(g)}$

Cátodo: eletrodo onde ocorre a redução do gás oxigênio,  $O_{2(g)}$

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).

Respostas esperadas:

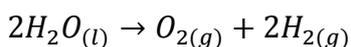
(a) Ânodo:



(b) Cátodo:



(c) Reação global:



(d) Potencial padrão da célula:

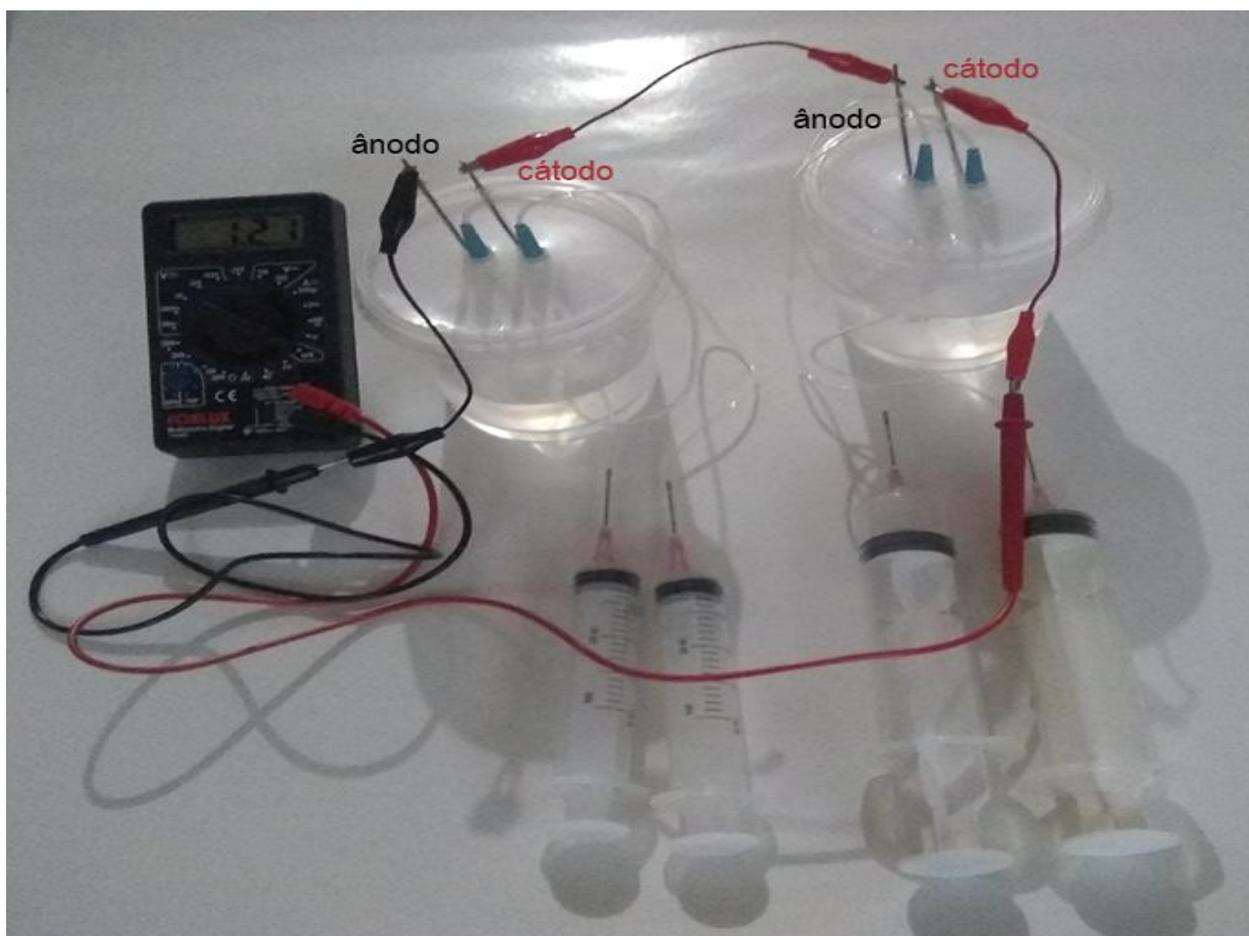
$$E_{célula}^o = E_{cátodo}^o - E_{ânodo}^o$$

$$E_{célula}^o = +1,23 - (+0,00)$$

$$E_{célula}^o = +1,23 \text{ V}$$

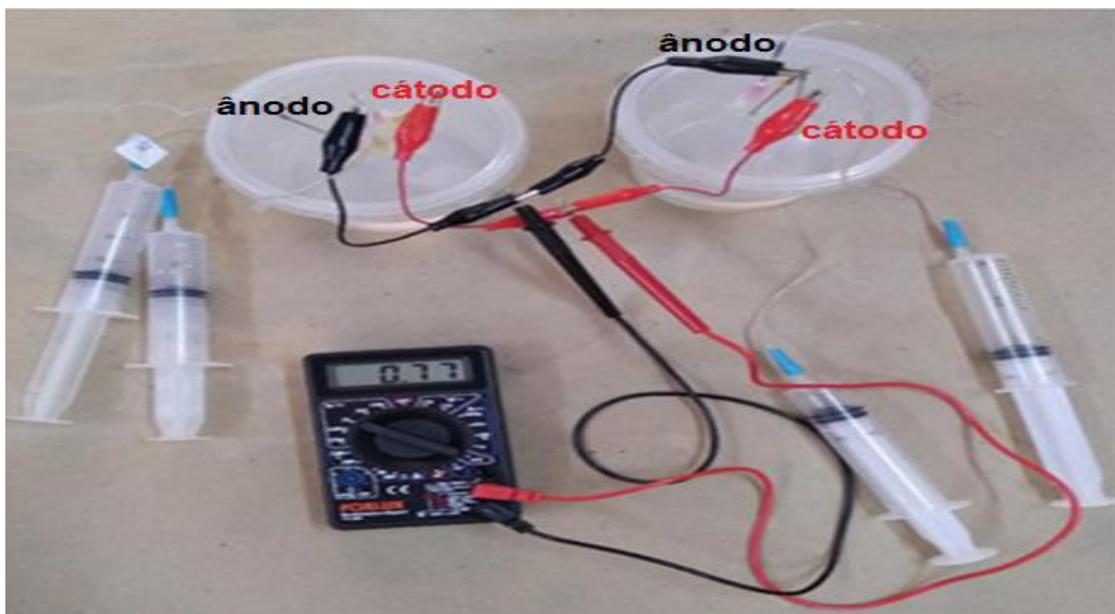
### 3ª Etapa: Medida do potencial de duas células a combustível associadas em série e em paralelo

Figura 3- célula a combustível ligadas em série



Fonte: Do autor, 2019.

Figura 4- célula a combustível ligadas em paralelo



Fonte: Do autor, 2019.

- Usar duas células a combustível, conforme descrito na 2ª Etapa.
- A associação em série de duas células a combustível acontece quando o polo positivo (cátodo, seringa contendo o gás oxigênio) de uma célula a combustível é conectado ao polo negativo (ânodo, seringa contendo o gás hidrogênio) da outra célula a combustível.
- Ajustar o multímetro na escala de 20 Volts.
- Para medir o potencial das células a combustível associadas em série, conectar as extremidades metálicas dos cabos do multímetro em cada um dos polos da seguinte maneira: a extremidade metálica da ponta vermelha no terminal do eletrodo de platina que está em contato com o gás oxigênio (cátodo) de uma célula e a extremidade metálica da ponta preta no terminal do eletrodo de platina que está em contato com o gás hidrogênio (ânodo) da outra célula, conforme indicado na fotografia. Conectar o outro cátodo e o outro ânodo de cada célula a combustível entre si, utilizando um fio condutor, munido de dois jacarés nas extremidades, a fim de fechar o circuito elétrico.

### Questões

- 1- Qual foi o potencial medido quando as duas células a combustível foram associadas em série?

Resposta esperada:

Células a combustível associadas em série:  $E_{\text{células em série}} = \sim + 1,25 \text{ V}$

2- Alterar a configuração e associar as duas células a combustível em paralelo. Qual foi o potencial medido?

Resposta esperada:

Células a combustível associadas em paralelo:  $E_{\text{células em paralelo}} = \sim + 0,70 \text{ V}$

#### 4ª Etapa: Funcionamento do relógio digital ou calculadora com duas células a combustível associadas em série

Figura 5- Funcionamento de um relógio digital utilizando duas células a combustível ligada em série



Fonte: Do autor, 2019.

- Usar as células a combustível associadas em série, conforme descrito na 3ª Etapa.
- Remover a pilha de 1,5 Volts e conectar pequenos fios nos polos do relógio.

- Conectar o relógio com as células a combustível associadas em série da seguinte maneira: o polo positivo do relógio com o terminal do eletrodo de platina que está em contato com o gás oxigênio (cátodo) de uma célula e o polo negativo do relógio com o terminal do eletrodo de platina que está em contato com o gás hidrogênio (ânodo) da outra célula, conforme indicado na fotografia.

### **Questões**

1- Foi possível ligar o relógio digital quando as duas células a combustível foram associadas em série? Explique.

#### Resposta esperada:

Sim. As células a combustível associadas em série fornecem o potencial e corrente suficientes para o funcionamento do relógio.

2- Alterar a configuração e ligar as duas células a combustível em paralelo. Foi possível ligar o relógio? Qual a explicação?

#### Resposta esperada:

Não. As células a combustível associadas em paralelo não fornecem o potencial necessário para o funcionamento do relógio.

## APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO PELOS ESTUDANTES DAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS REALIZADAS

Quanto você concorda ou discorda das Afirmações 1 a 5, sobre as atividades experimentais realizadas na disciplina de Química? Marque apenas uma alternativa.

1. As atividades experimentais desenvolvidas em sala de aula despertaram o meu interesse pelo conteúdo e pela disciplina de Química.

1. Concordo plenamente	2. Concordo parcialmente	3. Não concordo nem discordo	4. Discordo parcialmente	5. Discordo totalmente
------------------------	--------------------------	------------------------------	--------------------------	------------------------

Esse espaço é livre, caso deseje escrever algo: \_\_\_\_\_

2. Eu consegui relacionar as observações experimentais com os conceitos de eletroquímica.

1. Concordo plenamente	2. Concordo parcialmente	3. Não concordo nem discordo	4. Discordo parcialmente	5. Discordo totalmente
------------------------	--------------------------	------------------------------	--------------------------	------------------------

Esse espaço é livre, caso deseje escrever algo: \_\_\_\_\_

3. Eu adquiri novos conhecimentos após a realização dos experimentos.

1. Concordo plenamente	2. Concordo parcialmente	3. Não concordo nem discordo	4. Discordo parcialmente	5. Discordo totalmente
------------------------	--------------------------	------------------------------	--------------------------	------------------------

Cite quais conhecimentos você adquiriu, se for o caso: \_\_\_\_\_

4. As atividades experimentais auxiliaram na minha aprendizagem.

1. Concordo plenamente	2. Concordo parcialmente	3. Não concordo nem discordo	4. Discordo parcialmente	5. Discordo totalmente
------------------------	--------------------------	------------------------------	--------------------------	------------------------

Cite como as atividades experimentais foram úteis na sua aprendizagem, se for o caso: \_\_\_\_\_

5. A denominação da eletroquímica como “conteúdo difícil” mudou após a realização dos experimentos.

1. Concordo plenamente	2. Concordo parcialmente	3. Não concordo nem discordo	4. Discordo parcialmente	5. Discordo totalmente
------------------------	--------------------------	------------------------------	--------------------------	------------------------

Cite o que mudou, se for o caso: \_\_\_\_\_

## APÊNDICE E – PRODUTO DA PESQUISA, PUBLICADO NA REVISTA QUÍMICA NOVA

23/08/2020

E-mail de UFTM – Universidade Federal do Triângulo Mineiro – Química Nova - Decision on Manuscript ID QN-2019-0503.R2



LUIS ANTONIO DA SILVA &lt;luis.silva@uftm.edu.br&gt;

---

### Química Nova - Decision on Manuscript ID QN-2019-0503.R2

1 mensagem

**Química Nova** <onbehalf@manuscriptcentral.com>  
Responder a: nyuara2006@gmail.com  
Para: luis.silva@uftm.edu.br

15 de julho de 2020 11:57

15-Jul-2020

Dear Dr. Silva:

It is a pleasure to accept your manuscript entitled "CÉLULAS ELETROLÍTICA E A COMBUSTÍVEL CONFECCIONADAS COM MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA O ENSINO DE ELETROQUÍMICA" in its current form for publication in the Química Nova.

You will receive soon an e-mail from QN Office ([quimicanova@sbq.org.br](mailto:quimicanova@sbq.org.br)) to proceed the fee payment.

Thank you for your fine contribution. On behalf of the Editors of the Química Nova, we look forward to your continued contributions to the Journal.

Sincerely,  
Dr. NYUARA MESQUITA  
Associate Editor, Química Nova  
[nyuara2006@gmail.com](mailto:nyuara2006@gmail.com)

<https://mail.google.com/mail/u/0?ik=63edef7dc4&view=pt&search=all&permthid=thread-f%3A1672295301652225368&simpl=msg-f%3A16722953...> 1/1

Informamos que o artigo envolve o desenvolvimento e a utilização dos *kits* experimentais do APÊNDICE C da dissertação.

## APÊNDICE F – PRODUÇÕES: TRABALHO COMPLETO, RESUMO E APRESENTAÇÃO EM EVENTO CIENTÍFICO

1- Apresentação oral do trabalho completo “Explorando a eletrólise do iodeto de potássio com foco na formação continuada de professores” no 17º Simpósio Brasileiro de Educação Química, realizado de 05/08/2019 à 07/08/2019 em Porto Alegre, RS.

Marlon M. S. Silveira (PG), Paola F. da Silva (PG), Luís A. da Silva (PQ), Valéria A. Alves (PQ)

2- Apresentação do trabalho completo “Geração de hidrogênio: energia limpa envolvendo conceitos de eletroquímica”, classificado no 2º lugar na 2ª EXPEQ, no 17º Simpósio Brasileiro de Educação Química, realizado de 05/08/2019 à 07/08/2019 em Porto Alegre, RS.

Marlon M. S. Silveira (PG), Richard H. Lima (IC), Gabriel S. Bernardes (IC), Valéria A. Alves (PQ) e L. A. da Silva (PQ)

3- Apresentação do resumo “Tipologia das estratégias didáticas no ensino de eletroquímica: verificando as publicações na QNEsc” no I Colóquio Internacional de Didática de las Ciencias Humanas y Naturales e I Encontro da Rede Latino-Americana de Pesquisa em Educação Química, realizado de 05/11/2019 à 08/11/2019 em Uberaba, MG.

Marlon M. S. Silveira (PG), L. A. da Silva (PQ), Valéria A. Alves (PQ)

4- Apresentação do resumo “Determinação da constante de equilíbrio da oxidação do ácido ascórbico: uma proposta interdisciplinar para o ensino de Química” no XXXIII Encontro Regional da Sociedade Brasileira de Química, realizado de 22/11/2019 à 24/11/2019 em Uberaba, MG.

Marlon M. S. Silveira (PG), Nayara C. M. Carvalho (IC), Vinícius N. Silveira (IC), Luís A. da Silva (PQ), Valéria A. Alves (PQ)

5- Apresentação do resumo “Determinação experimental da constante de Avogadro: uma experiência envolvendo estudantes do ensino médio” no XVII Evento de Educação em Química, 2019, realizado de 27/11/2019 à 29/11/2019 em Araraquara, SP.

Marlon M. S. Silveira (PG), L. A. da Silva (PQ), Valéria A. Alves (PQ)

## ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO



**Universidade Federal do Triângulo Mineiro**  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E EDUCAÇÃO  
Departamento de Química  
Av. Dr. Randolpho Borges Júnior, 1400 – Univerdecidade, Uberaba - MG, 38.064-200  
Fone: (34) 3331-3146 – e-mail: sec.quimica@uftm.edu.br

### TERMO DE ESCLARECIMENTO – PARTICIPANTE

**TÍTULO DA PESQUISA:** Ensino de Eletroquímica: Célula a combustível confeccionada com materiais alternativos

Você é o nosso convidado para ajudar na validação da pesquisa: Ensino de Eletroquímica: Célula a combustível confeccionada com materiais alternativos. O objetivo desta pesquisa é utilizar a experimentação no ensino de eletroquímica. A pesquisa irá favorecer a geração de um produto educacional, uma célula a combustível confeccionada com materiais alternativos e de fácil acesso, que poderá ser construída pelos professores da Educação Básica, para auxiliá-los na abordagem do tema eletroquímica em suas aulas. Sua participação é importante, pois nos ajudará a obter subsídios sobre metodologias de aprendizagem, como o caso da experimentação, podem criar condições para um melhor ensino de conteúdos de química, contribuir para a formação de uma cidadania consciente e disseminar a adoção do ensino investigativo. Além disso, também permitirá avaliar sobre a realização de atividades práticas, como uma ferramenta, na tentativa de minimizar o problema de desinteresse dos estudantes e potencializar o processo de ensino-aprendizagem.

Caso você aceite participar desta pesquisa será necessário responder um questionário sócio-econômico e cultural, realizar experimentos de eletroquímica, responder testes sobre a realização de aulas experimentais, bem como responder questionários envolvendo o conteúdo de eletroquímica; as atividades serão realizadas em sala de aula, com tempo estimado de 22 (vinte) aulas de 50 (cinquenta) minutos, no quarto bimestre do corrente ano letivo. Durante a realização da pesquisa precisaremos fotografar você; pode ser que apareçam partes do seu corpo como braços e rosto, para ilustração da publicação dos resultados. Contudo, somente utilizaremos a sua imagem se você nos autorizar, assinalando “Concordo” no local especificado no consentimento, na página final deste documento, caso você não queira que sua imagem seja utilizada você deverá marcar a opção “Não concordo”.

Os riscos desta pesquisa são mínimos, uma vez que não vem a desenvolver procedimentos que sujeitem os participantes a maiores riscos do que os encontrados na realização de suas atividades cotidianas; para minimizar os riscos serão tomadas as seguintes providências: o professor pesquisador ficará atento a qualquer manifestação dos participantes ao longo do estudo, preocupando-se com a identificação de sentimentos e percepções de constrangimento, frustrações e perseguições, que mesmo não previstos como risco possam ser deflagrados pelos participantes, tomando as medidas necessárias. Sendo assim, o professor pesquisador assume cumprir todos os requisitos éticos para a execução de estudo com seres humanos.

Espera-se que de sua participação na pesquisa resulte na aprendizagem significativa de conhecimentos básicos relacionados à eletroquímica, por meio da experimentação; assim como uma contribuição com a diminuição das dificuldades encontradas no Ensino de

Eletroquímica, na Educação Básica. Que o trabalho sirva de fomento para o ensino de Eletroquímica e os demais conteúdos da química nas escolas da rede pública e rede particular existentes no país.

Você poderá obter quaisquer informações relacionadas a sua participação nesta pesquisa, a qualquer momento que desejar, por meio do professor pesquisador responsável pelo estudo. Sua participação é voluntária, e em decorrência dela você não receberá qualquer valor em dinheiro. Você não terá nenhum gasto por participar nesse estudo, pois qualquer gasto que você tenha por causa dessa pesquisa lhe será ressarcido. Você poderá não participar do estudo, ou se retirar a qualquer momento, sem que haja qualquer constrangimento junto ao professor pesquisador, ou prejuízo quanto ao atendimento na escola, bastando você dizer ao professor pesquisador que lhe entregou este documento. Você não será identificado neste estudo, pois a sua identidade será de conhecimento apenas do professor responsável pela pesquisa, sendo garantido o seu sigilo e privacidade. Você tem direito a requerer indenização diante de eventuais danos que você sofra em decorrência dessa pesquisa.

<b>Rubrica do participante</b>	<b>Data</b>	<b>Rubrica do pesquisador</b>	<b>Data</b>

**Este documento deverá ser emitido em duas vias, uma para o participante e outra para o pesquisador.**



**Universidade Federal do Triângulo Mineiro**  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E EDUCAÇÃO  
Departamento de Química  
Av. Dr. Randolpho Borges Júnior, 1400 – Univerdecidade, Uberaba - MG, 38.064-200  
Fone: (34) 3331-3146 – e-mail: sec.quimica@uftm.edu.br

## **TERMO DE ESCLARECIMENTO – RESPONSÁVEL LEGAL**

**TÍTULO DA PESQUISA:** Ensino de Eletroquímica: Célula a combustível confeccionada com materiais alternativos

Convidamos o estudante sob sua responsabilidade a participar da pesquisa: Ensino de Eletroquímica: Célula a combustível confeccionada com materiais alternativos. O objetivo desta pesquisa é utilizar a experimentação no ensino de eletroquímica. A pesquisa irá favorecer a geração de um produto educacional, uma célula a combustível confeccionada com materiais alternativos e de fácil acesso, que poderá ser construída pelos professores da Educação Básica, para auxiliá-los na abordagem do tema eletroquímica em suas aulas. Sua participação é importante, pois nos ajudará a obter subsídios sobre como metodologias de aprendizagem, como o caso da experimentação, podem criar condições para um melhor ensino de conteúdos de química, contribuir para a formação de uma cidadania consciente e disseminar a adoção do ensino investigativo. Além disso, também permitirá avaliar sobre a realização de atividades práticas, como uma ferramenta, na tentativa de minimizar o problema de desinteresse dos estudantes e potencializar o processo de ensino-aprendizagem.

Caso você aceite que ele(a) participe desta pesquisa será necessário que ele(a) responda um questionário sócio-econômico e cultural, realize experimentos de eletroquímica, responda testes sobre a realização de aulas experimentais e sobre o método de aprendizagem cooperativa utilizado, bem como responda questionários envolvendo o conteúdo de eletroquímica; as atividades serão realizadas em sala de aula, com tempo estimado de 22 (vinte) aulas de 50 (cinquenta) minutos, no quarto bimestre do corrente ano letivo. Durante a realização da pesquisa precisaremos fotografar o estudante sob sua responsabilidade; pode ser que apareçam partes do seu corpo como braços e rosto, para ilustração da publicação dos resultados. Contudo, somente utilizaremos a imagem do estudante sob sua responsabilidade se você nos autorizar, assinalando “Concordo” no local especificado no consentimento, na página final deste documento, caso você não queira que sua imagem seja utilizada você deverá marcar a opção “Não concordo”.

Os riscos desta pesquisa são mínimos, uma vez que não vem a desenvolver procedimentos que sujeitem os participantes a maiores riscos do que os encontrados na realização de suas atividades cotidianas; para minimizar os riscos serão tomadas as seguintes medidas: os professores pesquisadores ficarão atentos a qualquer manifestação dos participantes ao longo do estudo, preocupando-se com a identificação de sentimentos e percepções de constrangimento, frustrações e perseguições, que mesmo não previstos como risco possam ser deflagrados pelos participantes, tomando as medidas necessárias. Sendo assim, os professores pesquisadores assumem cumprir todos os requisitos éticos para a execução de estudo com seres humanos.

Espera-se que da participação do indivíduo sob sua responsabilidade na pesquisa resultará para ela(e) aprendizagem significativa de conhecimentos básicos relacionados à eletroquímica, por meio da experimentação; assim como uma contribuição com a diminuição

das dificuldades encontradas no Ensino de Eletroquímica, na Educação Básica. Que o trabalho sirva de fomento para o ensino de Eletroquímica e os demais conteúdos da química nas escolas da rede pública e rede particular existentes no país.

Você e o indivíduo sob sua responsabilidade poderá obter quaisquer informações relacionadas a participação dele(a) sua participação nesta pesquisa, a qualquer momento que desejar, por meio dos professores pesquisadores responsáveis pelo estudo. Sua participação é voluntária, e em decorrência dela você não receberá qualquer valor em dinheiro. Você não terá nenhum gasto por participar nesse estudo, pois qualquer gasto que você tenha por causa dessa pesquisa lhe será ressarcido. Você poderá não participar do estudo, ou se retirar a qualquer momento, sem que haja qualquer constrangimento junto aos professores pesquisadores, ou prejuízo quanto ao atendimento na escola, bastando você dizer aos professores pesquisadores que lhe entregou este documento. Você não será identificado neste estudo, pois a sua identidade será de conhecimento apenas dos professores responsáveis pela pesquisa, sendo garantido o seu sigilo e privacidade. Você tem direito a requerer indenização diante de eventuais danos que você sofra em decorrência dessa pesquisa.

**Contato dos pesquisadores:**

**Nome: Marlon Max dos Santos Silveira**

E-mail: marlonmaxdossantos@yahoo.com.br

Telefone: (34) 3455-1154 (67) 981157936

Endereço: Avenida São Luís, 195, 1 Centro Carneirinho - MG CEP: 38292-000.

Formação/Ocupação: Licenciatura Plena em Química/professor de química da educação básica.

**Nome: Luís Antônio da Silva**

E-mail: luis.silva@uftm.edu.br

Telefone: (34) 3332-2326

Endereço: Av. Dr. Randolpho Borges Júnior, 1400 – Univerdecidade, Uberaba - MG, 38.064-200

Formação/Ocupação: Licenciado/Mestre/Doutor/Pós-Doutor em Química/Professor Titular da UFTM, na área de Química

**Nome: Valéria Almeida Alves**

E-mail: valeria.alves@uftm.edu.br

Telefone: (34) 3332-2326

Endereço: Av. Dr. Randolpho Borges Júnior, 1400 – Univerdecidade, Uberaba - MG, 38.064-200

Formação/Ocupação: Bacharel/Mestre/Doutora/Pós-Doutora em Química/Professora Titular da UFTM, na área de Química

Rubrica do participante	Data	Rubrica do pesquisador	Data

**Este documento deverá ser emitido em duas vias, uma para o participante e outra para o pesquisador.**



**Universidade Federal do Triângulo Mineiro**  
 INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E EDUCAÇÃO  
 Departamento de Química  
 Av. Dr. Randolpho Borges Júnior, 1400 – Univerdecidade, Uberaba - MG, 38.064-200  
 Fone: (34) 3331-3146 – e-mail: sec.quimica@uftm.edu.br

## TERMO DE ASSENTIMENTO E CONSENTIMENTO LIVRES, APÓS ESCLARECIMENTO

**TÍTULO DA PESQUISA:** Ensino de Eletroquímica: Célula a combustível confeccionada com materiais alternativos

Eu, \_\_\_\_\_, e o indivíduo sob minha responsabilidade voluntário a participar dessa pesquisa, lemos e/ou ouvimos o esclarecimento acima e compreendemos para que serve o estudo e a quais procedimentos o indivíduo sob minha responsabilidade será submetido. A explicação que recebemos esclarece os riscos e benefícios do estudo. Nós entendemos que somos livres para interromper a participação dela(e) a qualquer momento, sem precisar justificar nossa decisão e que isso não afetará o atendimento na escola que ela(e) recebe. Concordamos que utilizem a imagem dela(e), desde que essa seja utilizada nos limites propostos no esclarecimento acima descrito.

- ( ) Concordamos com a utilização da imagem.  
 ( ) Não concordamos com a utilização da imagem.

Sei que o nome dela(e) não será divulgado, que não teremos despesas e não receberemos dinheiro para participar do estudo. Concordamos juntos que ela(a) participe do estudo, “Ensino de Eletroquímica: Célula a combustível confeccionada com materiais alternativos”, e receberemos uma via assinada (e rubricada em todas as páginas) deste documento.

União de Minas, ...../ ...../2019

\_\_\_\_\_  
 Assinatura do voluntário (representado)

\_\_\_\_\_  
 Assinatura do responsável (representante)

\_\_\_\_\_  
 Assinatura do pesquisador responsável

### Telefones de contato dos pesquisadores:

**Pesquisador:** Marlon Max dos Santos Silveira /Luís Antônio da Silva/Valéria Almeida Alves  
 Telefones: (67) 98115-7936 /(34) 3332-2326

E-mail:

marlonmaxdossantos@yahoo.com.br/luis.silva@uftm.edu.br/valeria.alves@uftm.edu.br

Rubrica do participante	Data	Rubrica do pesquisador	Data

**Este documento deverá ser emitido em duas vias, uma para o participante e outra para o pesquisador.**

## ANEXO B – PEDIDO DE AUTORIZAÇÃO PARA ACESSO A DADOS



**Universidade Federal do Triângulo Mineiro**  
 INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E EDUCAÇÃO  
 Departamento de Química  
 Av. Dr. Randolfo Borges Júnior, 1400 – Univerdecidade, Uberaba - MG, 38.064-200  
 Fone: (34) 3331-3146 – e-mail: sec.quimica@uftm.edu.br

Uberaba, 26 de setembro de 2019

**Assunto:** Pedido de autorização para acesso a dados

1. Solicitamos, respeitosamente, autorização para coleta de dados nesta unidade escolar como parte do projeto de pesquisa de dissertação de mestrado intitulado: “Ensino de eletroquímica: célula a combustível confeccionada com materiais alternativos”, desenvolvido por Marlon Max dos Santos Silveira, mestrando do Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional – PROFQUI/UFTM, e sob a minha orientação. O objetivo dessa pesquisa é proporcionar aos alunos do Ensino Médio a aprendizagem de conhecimentos básicos relacionados à eletroquímica, permitindo-os o desenvolvimento de sua autonomia real, e a construção de novos aspectos relacionados ao saber; para atingirmos os resultados dessa pesquisa necessitaremos dos dados coletados juntos aos alunos do 2º ano do Ensino Médio, por meio da aplicação de questionário sócio-econômico e cultural, pesquisa de opinião sobre a disciplina de Química, realização de experimentos de eletroquímica, aplicação de questões abordando o conteúdo relacionado com as aulas experimentais de eletroquímica, bem como pesquisa de opinião sobre as aulas experimentais de Química. Os experimentos de eletroquímica são bem simples e serão realizadas em sala de aula, utilizando pequenas mesas, não necessitando de laboratório de Química. As atividades acontecerão no 4º bimestre letivo do ano de 2019, com uma carga horária prevista de 22 aulas, como parte da metodologia proposta para alcance dos objetivos propostos no projeto da pesquisa.

2. Salientamos que esta autorização é indispensável para a submissão do projeto junto ao Comitê de Ética em Pesquisa da UFTM, órgão responsável pela apreciação ética em pesquisa com seres humanos. E conforme prevê a Resolução 466/12 CNS, a pesquisa somente será iniciada a partir da aprovação do referido comitê.

3. Sem mais para o momento, agradecemos a atenção e nos colocamos a disposição para eventuais esclarecimentos.

Atenciosamente,

Prof. Dr. Luís Antônio da Silva  
 Docente PROFQUI/UFTM  
 (34) 3332 2326 – luis.silva@uftm.edu.br

De acordo com a realização da pesquisa:

- deferido  
 indeferido

Paulo Sérgio da Silva  
 DIRETOR - MASP 1.084.476-9  
 ATO DE NOMENÇÃO: MG 2907/2019

Assinatura/carimbo do Responsável da instituição

União de Minas-MG, 26/09/2019