

## Planejamento Pedagógico Reverso Aplicado ao Experimento “Método da Fronteira Móvel”

*Pedagogical Retrofit Applied to the Experiment “Moving Boundary Method”*

Angela Sanches Rocha,<sup>a,\*</sup>  Eduardo Gullo Muller Lopes,<sup>b</sup> Leonardo Vitor Belo Pazutti,<sup>b</sup> Neuza de Almeida Araújo Vital,<sup>b</sup> Priscila Tamiasso-Martinhon,<sup>b</sup> Célia Sousa<sup>b</sup>

The number of students enrolled in higher education institutions has increased in recent years, which can be explained by the public policies to expand this sector. However, as in Basic Brazilian education, higher education also presents a scenario full of problems, including dropout. The exact science courses have the worst statistical numbers related to the abandonment, including the courses related to Chemistry. Among the problems, the difficulty of learning and the high degree of abstraction could be highlighted, which can be minimized using instigating experimental activities. In the specific field of electrochemistry, it is verified that students have difficulty understanding and there is a scarcity of materials with different approaches to be used in this theme, other than the assembly of batteries. Regarding the use of experimentation, when discussing concepts of mobility and conductivity of ions in solution, one possibility is the determination of the transport number, which is defined as being the fraction of current transported by each type of ion in solution and can be determined by different methods. Thus, the objective of this work was to implement an experiment to determine the number of transport, based on the reverse pedagogical planning, of a hydrochloric acid solution by the moving boundary method, to be used in experimental disciplines of physical chemistry. The main products generated were the construction of the experimental device and the preparation of an experimental support script for the student. In the development of this work, different results were highlighted than expected, and these situations present themselves as rich opportunities to discuss different subjects related to the theme and that can be promoted by the teacher during classes. Some epistemological challenges brought by students can be overcome or deconstructed through these unexpected situations, and it is important to highlight this aspect. The occurrence of these situations can be provoked, including variables in the script, and can contribute to the stimulation of curiosity and the development of students' reasoning for problem solving and that the professor evaluates the results of the application and perform a pedagogical retrofit of the experiment.

**Keywords:** Experimentation; ionic mobility; electrochemistry; higher education

### 1. Introdução

A partir da criação do Programa Universidade para Todos (ProUni) em 2004 (Lei nº 10.891),<sup>1</sup> o número de estudantes matriculados em instituições de ensino superior aumentou significativamente no Brasil,<sup>2</sup> bem como a diversidade no campus universitário.<sup>3,4</sup> No entanto, de acordo com os últimos Censos da Educação Superior (CES), desde 2016 essa taxa de crescimento vem diminuindo significativamente.<sup>5</sup> Tais índices merecem a atenção de pesquisadores e órgãos ligados à educação, sobretudo no que concerne à análise dos indicadores empregados e a utilização dos mesmos durante a elaboração do Projeto Político Pedagógico de cada instituição de ensino.<sup>6-8</sup>

A interpretação dessa classe de dados não é trivial e implica em uma ampla análise do perfil (sociodemográfico,<sup>9</sup> socioeconômico,<sup>10</sup> psicocultural,<sup>11</sup> etc) dos sujeitos envolvidos. Para muitos pesquisadores da área, a redução na procura e/ou o aumento da evasão e da retenção em cursos superiores se relacionam, em algum nível, tanto às questões concernentes à educação básica e/ou ao próprio ensino superior, quanto ao fato das decisões profissionais geralmente serem tomadas em uma tenra idade ou do mercado de trabalho não ser estar favorável às escolhas inicialmente feitas.<sup>12-14</sup>

Essa não é uma discussão simples, sendo também determinada por características individuais, familiares, sociais, culturais, motivacionais, habilidades prévias, capital cultural, integração social, comprometimento individual e coletivo,<sup>9-15</sup> além de inúmeras informações que nem sempre são contempladas pelo CES.<sup>16</sup> Obviamente também devem ser considerados

aspectos relacionados às necessidades financeiras, uma vez que uma parcela significativa de jovens necessita entrar no mercado de trabalho para contribuírem com a renda familiar, sendo praticamente obrigados a interromperem seus estudos, contribuindo para esta redução no número de alunos no ensino superior.

Quando se analisa a situação das ciências exatas e da terra, além do aumento da evasão e da retenção, também pode ser evidenciada uma diminuição do interesse discente por esses domínios de atuação profissional, principalmente no âmbito das licenciaturas.<sup>17-20</sup> Provavelmente esse fato pode estar vinculado não só à complexidade do ciclo básico desses cursos, uma vez que é significativa a dificuldade de aprendizagem dos conceitos das respectivas áreas específicas, mas também à baixa remuneração dos professores em relação a outros profissionais com nível superior.<sup>21</sup> Isto implica em um elevado esforço para concluir a formação docente, para depois não se ter um retorno financeiro compatível no mercado de trabalho.<sup>22</sup> Em última análise, essa sequência de eventos provoca reflexos na formação dos futuros expoentes dessas profissões e, consequentemente, impactos na geração de inovação tecnológica nacional.<sup>23,24</sup>

De forma geral, entre as dificuldades apresentadas pelos estudantes dos diferentes níveis da educação, pode-se destacar: a fragmentação no processo de aprendizagem, os conhecimentos prévios equivocados ou ausentes, a complexidade do tema, a baixa capacidade do discente em organizar e processar as informações discutidas, a competência limitada para escrever e até mesmo o distanciamento do estilo do método de ensino do professor com o de aprendizagem demandado pelo aluno.<sup>25-27</sup> No caso específico da Química, o elevado grau de abstração envolvido na construção do conhecimento torna-se uma barreira epistemológica à parte, contudo, nem sempre os docentes detectam esta problemática.<sup>28,29</sup>

O cenário da aprendizagem dos conteúdos de Físico-Química é ainda mais dramático, uma vez que seus conceitos carregam o estigma de serem considerados entre os mais difíceis e complexos das ementas de Química, tanto no currículo do ensino médio quanto no do ensino técnico e superior. Os desafios pedagógicos inerentes ao conteúdo programático dessas disciplinas envolvem dificuldade na interpretação textual, no emprego de cálculos matemáticos e nas análises gráficas acerca dos sistemas abordados e fenômenos interpretados.<sup>29</sup>

Neste contexto, vários autores pontuam que a observação *in loco* de questões experimentais pode facilitar a apropriação discente de conceitos teóricos fundamentais à compreensão de fenômenos empíricos<sup>6-8</sup> e, ao mesmo tempo, despertar a curiosidade dos sujeitos envolvidos nesse processo.<sup>19,26,29</sup> Consequentemente, cada ator é convidado a ser simultaneamente “aprendente” e “ensinante”,<sup>20</sup> tornando-se parte ativa do seu processo de aprendizagem e da construção de um conhecimento científico autoral.<sup>24,27</sup>

Nos últimos anos, a literatura vem apresentando uma releitura de experiências pedagógicas pautadas em um

ambiente dialógico crítico, que propiciem e favoreçam o surgimento de um sujeito “discente-docente-aprendente”.<sup>30-32</sup> Sim, a grafia está correta.<sup>23</sup> Em suas palestras, pesquisas e orientações sobre a perspectiva discente-docente-aprendente, Tamiasso-Martinhon<sup>24</sup> pontua a necessidade de se diferenciar a grafia dessa triangulação sinérgica que evoca a ideia de um movimento ondulatório ao que, a priori, teria uma natureza mais estática e delimitada, buscando uma identidade de incertezas na dinâmica dessa triangulação.<sup>26</sup>

Para além de uma simples alegoria,<sup>33</sup> que personificaria a “natureza identitária unitária” dessa tríade,<sup>24</sup> a adjetivação desse sujeito implicado não precisa ser ou estar atrelado ao papel institucional e/ou social que esse indivíduo discente-docente-aprendente ocupa legalmente ou oficialmente. Ou seja, não está necessariamente centrada em alunos e/ou professores, mas em indivíduos que assumem uma postura multiplicadora, emancipadora, libertária e politizada (desigual, combinada e multimodal) em sua leitura de mundo. Em suma, pontua (mesmo que implicitamente) que o local de fala desse sujeito é uma ação política de resistência e resiliência ética.<sup>34</sup>

Assim, o presente trabalho apresenta o relato de uma experiência discente-docente-aprendente, que envolveu o Planejamento Pedagógico Reverso (PPR), da implementação e aplicação de uma Ação Pedagógica Piloto (APP), envolvendo um experimento sobre a determinação do número de transporte de uma solução eletrolítica, pelo método da fronteira móvel, realizado de forma presencial, em 2019, e remota, em 2020. Além das informações obtidas dos Grupos Focais (GF), o experimento em si foi validado por docentes, monitores e discentes envolvidos, bem como pelo técnico responsável do laboratório didático, de uma instituição pública de ensino superior.

A prática experimental - elaborada para disciplinas tanto do ensino superior e profissional técnico de nível médio, quanto dos cursos de formação continuada, de instituições que possuam laboratórios para aulas de físico-química experimental (que incluem eletroquímica em sua ementa) – foi aplicada em turmas de duas disciplinas que contemplam esse tema em seu programa analítico, seguindo o formato de uma APP.

## 2. Referenciais Teóricos

Os referenciais teóricos com os quais o presente trabalho dialoga serão apresentados e discutidos em detalhes, sob o ponto de vista do PPR e dos aspectos pedagógicos da Química.

### 2.1. Planejamento pedagógico reverso

A filosofia inerente ao *retrofit* teve origem e começou a ser aplicada na indústria aeronáutica a partir dos anos 90 – tanto nos Estados Unidos da América do Norte, quanto na Europa – e, rapidamente, se tornou uma prática presente

em diferentes áreas de atuação.<sup>35-38</sup> Para compreender toda a extensão inerente ao conceito *retrofitting*, cabe uma breve análise etimológica da palavra *retrofit*. Esse vocábulo apresenta o prefixo *retro* – originário do latim, que significa mover-se para traz – e o verbo *fit* – com origem no inglês, carregando o sentido de ficar bem, adaptar, ajustar.<sup>39</sup>

Desta forma, para a definição de *retrofit* pode ser empregado uma série de verbos, entre os quais: reabilitar, restaurar, reutilizar, reformar, retrofitar, capacitar,<sup>40</sup> recuperar,<sup>41</sup> reestruturar.<sup>42</sup> Porém, os horizontes de um *retrofit* estão além de sua tradução literal, uma vez que todos os verbos empregados para caracterizar essa palavra carregam uma ação diferenciada daquela precedente, agregando uma nova leitura e, no caso de aplicações pedagógicas, favorecendo um porvir discente-docente-aprendente.<sup>24,30</sup>

O PPR há muito já faz parte da práxis docente, sem, contudo, ter ampla divulgação dessas experiências por parte do docente ou da equipe que o implementa e executa. A natureza de um planejamento envolve tomadas de decisões, que “devem ser revistas, rediscutidas, reelaboradas” ao longo de toda trajetória profissional.<sup>43</sup> No caso específico de um PPR, o docente se implica em manter um olhar investigativo aos seus planejamentos, enfatizando a reflexão crítica e adotando uma postura discente-docente-aprendente em suas ações, na qual ensinando ele aprende de forma consciente e intencional. Um dos questionamentos presentes dessa perspectiva consiste em observar se os envolvidos aprenderam, apreenderam, compreenderam, contextualizaram, incorporaram em sua vida tudo o que foi experienciado (por intermédio do planejamento elaborado) se identificando como multiplicadores.

Os PPR podem ter diferentes pontos de partida, sendo comum o emprego de ações e atividades pilotos.<sup>24</sup> O importante é que o marco inicial seja bem caracterizado e classificado. Assim, no ano seguinte à estratégia pedagógica aplicada, esse discente-docente-aprendente - que incorporou a pesquisa na sua prática pedagógica - começa a fazer o seu planejamento pela finalização do ano anterior (*Backward Design*). Ou seja, na prática, isso consiste em fazer o *Retrofit Pedagógico* das ações realizadas no ano anterior, com a validação de todos os sujeitos envolvidos no processo de aprendizagem, afinal, evocando Heráclito “a mesma água nunca passa duas vezes por baixo da mesma ponte”, ou pelo menos isso é o que se espera de sua natureza intrínseca.

Outra associação muito assertiva de pertencimento à perspectiva discente-docente-aprendente - tanto na elaboração/aplicação da APP, quando no PPR – consiste no emprego de GF durante o processo de coleta de dados. Nesse contexto, cada sujeito pertencente ao GF passa a contribuir com a sua própria experiência discente-docente-aprendente.<sup>24</sup> Cabe pontuar que o GF - enquanto uma ferramenta qualitativa de pesquisa, que propicia a coleta de informações sobre uma dada temática, através da interação entre os envolvidos- é caracterizado pelas narrativas que emergem durante as reflexões do grupo.

Quanto à análise dos resultados obtidos a partir do PPR, esta deve ser realizada continuamente, de modo a dialogar

com a mobilização, a construção, a elaboração e a síntese do conhecimento, respeitando a diversidade funcional dos envolvidos. A escolha da temática que passou pelo PPR foi inspirada no fato dessa aula experimental ter sido implementada pela mesma equipe de professores tanto na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), quanto na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

Em meados da década de 70, alguns docentes que atuavam nessas duas instituições de ensino assumiram dedicação exclusiva na UFRJ.<sup>44</sup> Apesar desse assunto ainda fazer parte dos conteúdos abordados no conjunto de práticas ofertadas pela disciplina de Físico-Química Experimental, dos cursos de Química, da UERJ, há muito tempo ela já não faz parte do repertório oferecido pelo Departamento de Físico-Química (DFQ), do Instituto de Química (IQ), da UFRJ, caracterizando assim esse trabalho também como um resgate desta prática pedagógica.<sup>45</sup>

## 2.2. Aprendizagem de Físico-Química mediada por aulas experimentais

O emprego da experimentação para a superação de obstáculos epistemológicos pode ser uma ferramenta didática poderosa, desde que se tenha a infraestrutura mínima necessária para sua aplicação.<sup>46</sup> No caso dos cursos superiores de Química e ciências afins, aulas experimentais são obrigatórias para a maioria das subáreas da Química, sendo importante a escolha de práticas que incluem temas essenciais.<sup>47</sup> Neste sentido, se destacam os conteúdos de Eletroquímica, que estão incluídos tanto em cursos de Química Geral quanto de Físico-Química, dada sua relevância.<sup>48</sup>

Vários pesquisadores relatam que os conteúdos envolvendo eletroquímica são apontados por professores e estudantes como um dos assuntos com maior nível de dificuldade no processo de aprendizagem na química.<sup>49,50</sup> Algumas dificuldades podem ser classificadas como pontuais, como identificar onde ocorrem as reações em uma célula eletroquímica, ou como e porque ocorre o fluxo de elétrons, ou como se dá a condução elétrica no eletrólito, ou a existência de neutralidade elétrica e até mesmo aspectos relativos à nomenclatura.<sup>51</sup>

Uma propriedade dos materiais muito importante nos estudos de eletroquímica, quando se seleciona a composição de determinado objeto que vai ser confeccionado ou utilizado para as mais diferentes finalidades, independentemente de seu estado físico, é a condutividade elétrica. Dependendo da finalidade, pode ser interessante que o material escolhido seja bom condutor ou mal condutor de eletricidade, sendo que o mais importante é que se conheça a sua capacidade para conduzir eletricidade quando submetido a ação de um campo elétrico. Um bom condutor permite que partículas carregadas se movimentem de forma ordenada através de sua estrutura, sendo que estas partículas podem ser elétrons ou íons que tenham certa mobilidade no meio, dependendo, portanto, da natureza do material, bem como do estado físico e temperatura.<sup>52</sup>

A investigação da condutividade elétrica de materiais se dá mediante medida da resistência à migração destas partículas

sob condições adequadas, sendo que esta propriedade típica de cada material é chamada de resistividade elétrica ( $\rho$ ). A facilidade com que a corrente elétrica atravessa o material é exatamente o inverso da resistividade, sendo chamada de condutividade ( $\kappa$ ). Matematicamente:

$$\kappa = \frac{1}{\rho}$$

Outras importantes propriedades elétricas inerentes a um objeto composto por um material são Condutância (C) e Resistência (R), que medem a capacidade de um corpo para conduzir eletricidade e resistir à sua passagem, respectivamente e que dependem dos parâmetros geométricos do objeto estudado. A maior ou menor facilidade que uma solução apresenta para conduzir a corrente depende de alguns fatores, como a mobilidade iônica, força iônica, concentração das soluções, temperatura e o tamanho e forma da espécie. Normalmente a condutividade elétrica é experimentalmente determinada por meio da medida da resistência elétrica de uma determinada solução eletrolítica.<sup>53</sup> Matematicamente, a resistência é dada por:

$$R = \frac{L}{A} \rho$$

sendo  $L$  o comprimento do objeto e  $A$  a área de sua seção transversal.

Os condutores eletrônicos permitem o fluxo ordenado de elétrons, tendo como exemplo os metais e a grafita, que apresentam elevada condutividade elétrica. Estes materiais têm condutividade ( $\kappa$ ) inversamente proporcional à temperatura.

Quando presentes em uma solução, os íons movimentam-se aleatoriamente, e a velocidade que cada íon possui é independente de cada espécie. Esses íons tendem a migrar em direção à carga oposta, gerando uma corrente elétrica. Essa solução eletrolítica ao entrar em contato com um campo elétrico faz com que seus íons se movimentem em direção à carga oposta ao campo elétrico, e os movimentos desses íons são cada vez mais acelerados ao entrarem em contato com um potencial maior. Quando esse potencial é aplicado, os íons passam a possuir velocidades distintas, ou seja, se houver aumento da voltagem, maior será a corrente elétrica, logo, mais rápida será a mobilidade de um íon.<sup>54</sup>

Os condutores iônicos permitem o fluxo ordenado de íons e os mais comuns são as soluções eletrolíticas, os sais fundidos e os líquidos iônicos. A condutividade destes materiais aumenta quando a temperatura é aumentada, sendo que os motivos incluem o aumento da energia cinética das partículas e a diminuição da viscosidade do meio, o que aumenta a mobilidade dos íons e, consequentemente, aumenta-se a condutividade.

Nos estudos de eletroquímica básica, é comum que os condutores iônicos sejam soluções eletrolíticas, principalmente aquelas em meio aquoso, sendo muito importante investigar o comportamento destas soluções em termos de condução de eletricidade.

Os movimentos das partículas de um solvente também interferem na mobilidade dos íons, pois ao entrar em contato com um potencial elétrico, ocasionará um retardamento da velocidade desses íons, devido à força de atrito, proveniente da viscosidade do meio. As duas forças que entram em equilíbrio ao atuarem em direções opostas adquirem uma velocidade terminal, sendo proporcionalmente relacionada à força de um campo elétrico quando aplicado, denominando assim, a velocidade de migração. Esta velocidade é dominante da mobilidade com que estes íons atuam em uma solução bem como sua carga e a quantidade de íons presentes, gerando assim a condutância dos íons, ou seja, quanto maior a carga do íon, maior será sua mobilidade.

A condutividade elétrica das soluções eletrolíticas ou eletróliticos está associada com a facilidade com a qual os íons se movimentam pela ação de um campo elétrico. A capacidade de um íon se movimentar de forma ordenada é chamada de mobilidade iônica ( $m_{+/}$ ), sendo uma característica dos íons, e depende de sua natureza, como massa, carga, geometria (forma) e capacidade de ser solvatado. Por outro lado, a movimentação ordenada dos íons é chamada de migração iônica, que depende da mobilidade iônica e do campo aplicado.

Quanto maior a mobilidade iônica de uma espécie em solução, maior será a condutividade da solução. No entanto, a mobilidade de um íon em solução é afetada pela presença de outros íons em solução.

Uma solução iônica é eletricamente neutra, isto é, a quantidade de cargas positivas é igual a de cargas negativas, princípio este chamado de princípio da eletro-neutralidade. Portanto, toda solução iônica apresenta cátions e ânions e, quando submetida a uma diferença de potencial caracterizando uma célula eletrolítica, se verificará que os cátions migrarão para o polo negativo e os ânions para o positivo, pois cargas opostas se atraem. Sendo assim, cátions e ânions migram em direções opostas, mas uns interferem na movimentação dos outros, de modo que cátions e ânions por se atraírem acabam retardando a velocidade de migração mutuamente.

Em uma solução iônica os íons não estão caótica e uniformemente distribuídos, mas sim existe uma certa organização, que é quebrada pela ação da agitação molecular. O que se tem é que os cátions ficam majoritariamente envolvidos por ânions e vice-versa, formando uma nuvem iônica de carga líquida contrária à do íon central, com formato esférico. Quando o íon migra pela ação de um campo, ele arrasta consigo a nuvem iônica que se movimenta no sentido contrário por ter carga contrária, diminuindo sua velocidade simplesmente pela ação do campo.

Sendo assim, quanto maior a concentração de uma solução, mais densa é a nuvem iônica e menor a mobilidade iônica dos íons. Este é um efeito observado para as soluções aquosas de modo que a mobilidade iônica é máxima no limite de diluição infinita.

A condutividade de soluções depende de sua concentração de modo que ao se aumentar a concentração se observa o aumento da condutividade da solução porque aumenta o

número de íons, mas, para a maioria das soluções, este valor atinge um máximo, a partir do qual se a concentração for aumentada, a condutividade total diminui. Este comportamento está relacionado ao fato de que a mobilidade iônica diminui se a concentração for elevada. Para o caso de eletrólitos fracos, ao se aumentar a concentração tem-se uma diminuição da quantidade de íons, pois ocorre uma diminuição da extensão ou grau de ionização, neste caso se aumenta a concentração do eletrólito, mas tem-se menos íons em solução.

Como a mobilidade depende da concentração da solução, é comum explicar a condutividade de soluções normalizadas pela concentração, definindo uma nova grandeza, a condutividade molar ( $\Lambda$ ), dada por:

$$\Lambda = \frac{\kappa}{c}$$

onde  $\Lambda$  é a condutividade molar,  $\kappa$  é a condutividade e  $c$  é a concentração molal ( $\text{mol}_{\text{sólido}} \cdot \text{kg}_{\text{solvente}}^{-1}$ ).

A condutividade molar de um eletrólito é máxima no limite de diluição infinita, quando a mobilidade dos íons em solução é máxima também. A condutividade de um eletrólito é a soma da condutividade dos cátions e dos ânions em solução, de modo que a condutividade molar é aditiva e matematicamente tem-se:

$$\Lambda = v_+ \Lambda_+ + v_- \Lambda_-$$

onde  $\Lambda$  é a condutividade molar da solução,  $\Lambda_+$  é a condutividade molar dos cátions,  $\Lambda_-$  é a condutividade molar dos ânions,  $v_+$  é a atomicidade dos cátions e  $v_-$  é a atomicidade dos ânions.

Portanto, a condutividade de eletrólitos depende da natureza dos íons em solução, sendo importante conhecer e expressar esta grandeza quando se estuda o comportamento destes condutores.

Uma forma prática e comum de se expressar a contribuição dos íons que compõem uma solução para a condutividade global é por meio de uma grandeza chamada de número de transporte,  $t$ . O número de transporte é a fração de corrente transportada por um íon, sendo uma característica da solução, isto é, depende da concentração e dos outros íons da solução, além da temperatura, evidentemente.

Definindo a corrente total transportada por uma solução eletrolítica por  $I$ , é possível definir as correntes transportadas por cátions e ânions como  $I_+$  e  $I_-$ , respectivamente e, matematicamente o número de transporte é obtido a partir das seguintes equações:

$$t_+ = \frac{I_+}{I} \quad t_- = \frac{I_-}{I} \quad t_+ + t_- = 1$$

onde  $t_+$  é o número de transporte dos cátions e  $t_-$  é o número de transporte dos ânions.

Sendo assim, os valores do número de transporte de cada íon em solução estarão compreendidos entre zero e

um e a soma do número de transporte de todos os íons será a unidade.

É possível demonstrar que o número de transporte está relacionado com a condutividade molar a partir da seguinte equação:

$$t_+ = \frac{\Lambda_+}{\Lambda} \quad t_- = \frac{\Lambda_-}{\Lambda}$$

Sendo assim, é possível determinar o número de transporte de cada tipo de íon de uma solução a partir de medidas de condutividade.<sup>55-57</sup> Esta determinação pode ser utilizada no âmbito didático, para trabalhar os fundamentos do comportamento de soluções eletrolíticas com os alunos.<sup>59</sup> Várias abordagens podem ser exploradas neste experimento, como determinação da quantidade de gases ideais produzidos na superfície de eletrodos, validação das Leis de Faraday e determinação do número de transporte.

Alguns métodos são bem estabelecidos para determinar experimentalmente o número de transporte de íons em solução, sendo que dois dos mais utilizados são o método de Hittorf e o método da fronteira móvel.<sup>59,60</sup>

### 3. Metodologia

Este trabalho consiste em um relato discente-docente-aprendente, com contorno qualitativo-exploratório, de natureza aplicada.<sup>19,23,29</sup> O desenho metodológico empregado para a aplicação da ação pedagógica piloto (APP) – que originou o PPR - foi embasada em grupos focais (GF) previamente selecionados.

A partir das narrativas que emergiram durante esta experiência, se propõe o resgate de uma prática para a determinação do número de transporte (APP elaborada), que deixou de ser oferecida há muitos anos nas aulas experimentais de físico-química do DFQ/ IQ/ UFRJ.<sup>60</sup>

#### 3.1. Grupo focal

A APP foi aplicada tanto em 2019 (em aulas experimentais demonstrativas presenciais), quanto em 2020, durante o período letivo excepcional (em aulas remotas realizadas pela plataforma *Microsoft Teams*), no âmbito das disciplinas “Físico-Química Experimental I” e “Métodos Eletroquímicos”, ambas oferecidas pela UFRJ, aos alunos dos cursos de Química e áreas afins.

A disciplina obrigatória Físico-Química Experimental foi concebida para um máximo de 12 alunos por turma que, a partir de um roteiro experimental, reproduzem um experimento previamente determinado pelo docente e são avaliados pelos relatórios por eles confeccionados. Sua ementa contempla um número específico de aulas práticas - 12 para aquelas que possuem 60 h de carga horária, e 6 para aquelas que possuem 30 h de carga horária - de um acervo com 14 experimentos. Ela é oferecida todos os semestres por 19 docentes diferentes, contudo, apenas 2 docentes

disponibilizaram suas turmas para a aplicação da APP. Nos GF em que isso aconteceu, as turmas tiveram uma aula extra demonstrativa sobre a determinação do número de transporte em soluções iônicas, pelo método da fronteira móvel.

A disciplina teórica-experimental Métodos Eletroquímicos é eletiva, possui uma estrutura menos rígida<sup>19</sup> e é oferecida sempre, desde sua criação, pelas professoras que a idealizaram. Nesse caso, cada turma comporta um máximo de 6 alunos. Nela, cada discente desenvolve individualmente um projeto, desde que seja empregada alguma técnica eletroquímica.<sup>19</sup> Nos GF em que a APP foi aplicada, além de todas as atividades geralmente executadas, os discentes tiveram a aula experimental demonstrativa que está sendo proposta. Em ambos os casos, as turmas foram inicialmente divididas em grupos de dois ou três alunos.

Na aula que antecedeu a APP, os alunos (das duas disciplinas) foram convidados a fazer uma pesquisa sobre métodos e modelos teóricos existentes para determinação do número de transporte em soluções iônicas. Nas turmas de 2019, tanto a análise das narrativas, quanto a avaliação dos discente e de alguns aspectos que envolveram a validação do experimento, se pautaram na confecção do relatório sobre a aula experimental e no legado produzido ao término do curso. É importante ressaltar que o relatório não é “do” experimento, e sim “sobre” as impressões da experiência em si. Já nas turmas de 2020, além do relatório e do legado, também foram feitos debates, cujo intuito foi ampliar a discussão para além dos aspectos técnicos e tecnológicos das disciplinas supracitadas. No total teve-se a colaboração de 6 GF. Esse percurso metodológico envolvendo elaboração de legados discente~docente~aprendente e debates transdisciplinares já tem sido explorado na literatura, envolvendo inclusive disciplinas teóricas.<sup>61-64</sup>

### 3.2. Montagem do aparato experimental

Para a realização do experimento foram necessários os seguintes materiais:

- Eletrólito formado por uma solução de ácido clorídrico 0,1 mol L<sup>-1</sup>

- Indicador alaranjado de metila
- Cronômetro
- Fios de cobre de bitola em torno de 1,5 mm de diâmetro e 3 cm de comprimento para uso como eletrodos
- Fonte de corrente contínua (Life Technologies, modelo 250)
- Garra e suporte universal
- Rolha de borracha com orifício
- Mangueira de silicone
- Vidraria que contém a coluna de eletrólito com camisa de resfriamento

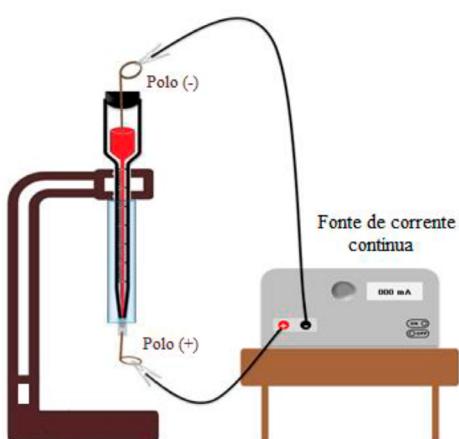
A vidraria foi confeccionada exclusivamente para realização do experimento, constando de uma bureta graduada soldada a um bulbo na parte superior, para acomodar uma quantidade maior de eletrólito. A parte da bureta foi recoberta por uma jaqueta de vidro com entrada e saída de modo a permitir a passagem de um fluido de arrefecimento do líquido dentro da bureta (Figura 1).

O sistema foi fixado na vertical por meio de garra presa a um suporte. Na parte de baixo da bureta se conectou um pedaço do fio de cobre utilizando-se uma mangueira de silicone para fazer a vedação, deixando-se um pedaço de fora e na parte de cima conectou-se outro eletrodo de cobre fixado por uma rolha, deixando-se também um pedaço de fora. Os dois fios foram então conectados por meio de garra do tipo jacaré a uma fonte de corrente contínua, cada um com uma polaridade diferente. O sistema montado é apresentado de forma esquematizada na Figura 1, sendo possível identificar cada elemento descrito.

Vale ressaltar que a fonte de corrente contínua utilizada deve permitir a geração de corrente com intensidade constante e regulável.

### 3.3. Validação do experimento

A primeira validação do experimento foi feita pelos docentes da disciplina obrigatória Físico-Química Experimental I e da disciplina eletiva teórico-experimental Métodos Eletroquímicos. A segunda pelo técnico do



**Figura 1.** Esquema do sistema montado para experimento da fronteira móvel

laboratório e pelos monitores. Ambas aconteceram em 2019, empregando-se o primeiro aparato confeccionado, cujo esquema foi apresentado na Figura 1. A solução eletrolítica utilizada foi de ácido clorídrico 0,1 mol L<sup>-1</sup> contendo alaranjado de metila. O experimento foi feito a temperatura ambiente, 25 °C.

Durante a validação, foram feitos vídeos amadores com o auxílio dos celulares dos envolvidos. Apesar desse material não apresentar uma boa qualidade imagética, vários fragmentos foram fundamentais durante as aulas demonstrativas que aconteceram na UFRJ durante o Período Letivo Excepcional (PLE) de 2020. Os detalhes do experimento serão explicitados na apresentação dos resultados, bem como as impressões das turmas de 2019 e 2020 e o PPR do mesmo.

#### **3.4. Elaboração do roteiro para o aluno**

Além da montagem do aparato experimental, da validação do experimento e do PPR, foi confeccionado um roteiro, para direcionar os estudantes na realização dessa atividade pedagógica, contendo o procedimento experimental e o tratamento dos dados (este material de apoio está apresentado no material suplementar). Tanto o grupo que participou da atividade em 2019, quanto os de 2020 deram contribuições relevantes para a versão final dessa aula experimental.

### **4. Resultados e Discussão**

A discussão dos resultados foi estruturada de modo a apresentar não só as impressões discente-docente-aprendente, de cada indivíduo partícipe dos GF - relativas aos fundamentos teóricos envolvidos e à confecção do roteiro experimental - mas também a validação do experimento e as considerações acerca de aspectos relevantes que possam ser explorados, de modo que a aula experimental resgatada deixe de ser uma APP, e passe a reintegrar o acervo de práticas oferecidas e disponibilizadas pelo DFQ/IQ/UFRJ.

Na sequência, com base no PPR, são apresentados os potenciais de uso dos materiais didáticos produzidos. Esse subitem foi elaborado a partir de impressões que emergiram durante as atividades desenvolvidas nos GF e dos relatórios sobre a APP de discentes e monitores, refletindo a compreensão discente-docente-aprendente dos diferentes níveis multimodais abordados nessa experiência, em que todos os envolvidos assumem, em algum momento, o papel de protagonista.

#### **4.1. Local de fala dos grupos focais**

Na disciplina de Físico-Química Experimental I, no primeiro período de 2019, 50% do GF foi composto por graduandos da engenharia química (EQ), 38 % por licenciandos em química (LQ), 12% por monitores e

técnico (MT). No segundo período de 2019, o GF se caracterizou pelos graduandos serem 57% da EQ e 33% LQ, enquanto 10% representava MT. Durante o Período Letivo Excepcional (PLE) de 2020, houve uma redução de mais da metade do quantitativo de alunos que geralmente se inscrevem nessa disciplina. Esse GF ficou distribuído com 28% de alunos da EQ, 58% LQ e 14% MT. Doravante, estes GF, vinculados à disciplina de Físico-Química Experimental I, serão respectivamente GF1 (2019.1), GF2 (2019.2) e GF 3 (2020 PLE).

A disciplina de Métodos Eletroquímicos não possui técnico para auxiliar nas atividades experimentais, contudo, geralmente pode se contar com o apoio de monitores. No primeiro período de 2019, a turma foi composta apenas por Licenciandos em Química (GF4). No segundo período de 2019, o GF se caracterizou por ser 100% de graduandos em EQ (GF5). Já no PLE de 2020, houve uma redução de mais da metade do quantitativo de alunos que geralmente se inscrevem nessa disciplina. Esse GT foi caracterizado por ter 100% de graduandos em Química (GF6), no caso bacharelados.

#### **4.2. Considerações discente-docente-aprendente**

Os GF1 e GF4 pontuaram a necessidade de se produzir um material didático sobre a determinação do número de transporte em soluções iônicas pelo método da fronteira móvel, enquanto os GF2 e GF5 solicitaram um roteiro experimental, mesmo sabendo que a aula seria apenas demonstrativa. Em todos os GF, os descritores mais empregados foram “fronteira móvel”, “método da fronteira móvel”, “número de transporte”. Independente do GF, o material impresso entregue sobre a APP geralmente tinha algum esboço, mesmo que rudimentar, de algo que lembra um roteiro experimental.

Os GF2 e GF5, trouxeram para o debate que a eletroforese tem origem associada a esse modelo teórico, contudo, em média menos de 20% souberam explicar como e por que. Ainda nesses GF, menos da metade associou a técnica a modelos matemáticos pertinentes. O GF4 pontuou o fato desse conteúdo estar associado à eletroquímica iônica, e apresentou ponderações sobre a relação entre o número de transporte e mobilidade iônica.

O GF1 incorporou o método de Hittorf em seus descritores. Os relatórios desse GF apresentaram, de uma forma geral, uma relação consistente com a aula prática demonstrativa, e a pesquisa feita previamente. Os GF4, GF5 e GF6 fizeram suas buscas empregando também descritores na língua inglesa. Os sujeitos desses GF foram os que mais fizeram perguntas durante a aula demonstrativa. Tanto no GF4, quanto no GF5 100% dos alunos acham que essa prática deve ser incluída no acervo experimental da disciplina, contra 30% no GF1 e 40% no GF2. Esse questionamento não foi feito aos GF3 e GF6. Os subitens 4.3 e 4.4 foram elaborados a partir das contribuições apresentadas nos relatórios e dos diálogos durante a APP.

#### 4.3. O Método da fronteira móvel

Como existe uma carência de materiais didáticos que forneçam explicações e discussões sobre o método da fronteira móvel, que sejam de fácil acesso para docentes e discentes, nesta seção foi gerado um texto explicativo sobre o método, para uso didático. Trata-se da produção textual obtida como resultado da prática docente realizada com os discentes.

O método da fronteira móvel se baseia na medida da distância percorrida pelos íons durante certo tempo, devido à aplicação de um campo elétrico. Esta medida se baseia no fato de que quanto maior a mobilidade iônica, maior a velocidade de movimentação e, portanto, maior a quantidade de carga transferida e maior a corrente elétrica transportada, tendo como consequência um elevado valor de número de transporte para certa espécie iônica em uma solução. A medida reflete então a tentativa de mensurar a velocidade de migração de íons sob ação de um campo elétrico.

Para determinar a velocidade de movimentação dos íons, mede-se a distância percorrida num certo intervalo de tempo, com o auxílio de indicadores. Estes indicadores são substâncias que apresentam cores diferentes em soluções diferentes, formando-se uma fronteira divisória entre as soluções de interesse, e a movimentação da fronteira indica a distância percorrida pelos íons que estão exatamente na fronteira, permitindo a medida a olho nu.

Em um experimento típico de determinação de número de transporte dos íons de uma solução de um eletrólito genérico MA, torna-se necessário utilizar duas soluções indicadoras, uma contendo o mesmo cátion e um ânion diferente, MA', e outra contendo o mesmo ânion e cátions diferentes, M'A, com cores diferentes. Também é necessário que a mobilidade destes cátions e ânions diferentes, M' e A', sejam menores do que da solução a ser estudada.

O aparato experimental é composto por uma coluna transparente, em geral de vidro, disposta verticalmente,

dentro da qual se coloca as três soluções com cuidado uma acima da outra sem serem misturadas. Na extremidade inferior fixa-se um eletrodo e na superior se fixa outro eletrodo, ambos ligados a uma fonte de corrente contínua, configurando uma célula eletrolítica. Um esquema deste aparato está mostrado na Figura 2. Como as soluções têm colorações diferentes, formam-se as fronteiras denominadas a e b (Figura 2 à esquerda), sendo essencial que a solução inferior tenha densidade maior que a do meio, que também deve ser mais densa que a superior.

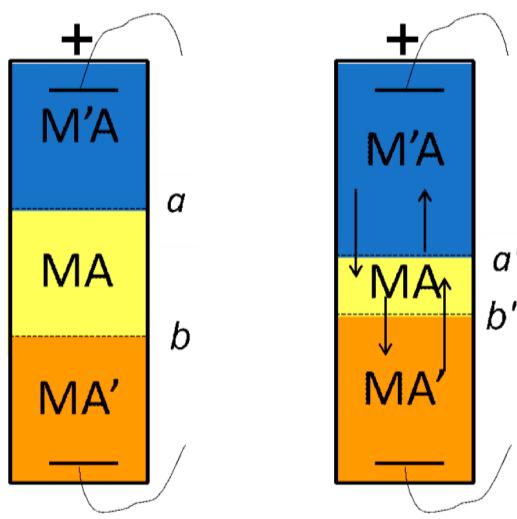
Neste sistema básico, o anodo fica na parte superior, portanto os íons A e A' migram para a parte de cima da coluna e, após certo tempo (Figura 2 à direita), como os íons A tem mobilidade iônica maior que os ânions A', a fronteira b se desloca para cima, cuja nova posição é b'. De forma análoga, os cátions M e M' se deslocam para baixo e a fronteira a se desloca para a'. A distância bb' representa a distância percorrida pelos ânions A que estão na fronteira e a distância aa' representa a distância percorrida pelos íons M localizados na fronteira. É essencial que os íons do eletrólito central tenham mobilidade iônica maior do que aquelas das soluções indicadoras, pois caso fosse o contrário, as fronteiras seriam desfeitas.

Para este sistema, como o número de transporte é proporcional à velocidade de migração, ele também é proporcional à distância percorrida durante um tempo, então matematicamente ele pode ser determinado medindo-se estas distâncias percorridas pelas fronteiras segundo as expressões:

$$t_+ = \frac{aa'}{aa'+bb'} \quad \text{e} \quad t_- = \frac{bb'}{aa'+bb'}$$

#### 4.4. Considerações sobre o roteiro do experimento

A atividade completa sobre o experimento em questão foi dimensionada para ser realizada durante 4 horas



**Figura 2.** Esquema do experimento para determinação do número de transporte de um eletrólito MA pelo método da fronteira móvel. À esquerda no início e à direita após certo tempo

semanais. No caso de Físico-Química Experimental I, esse tempo é corrido, já na disciplina de Métodos Eletroquímicos são 2 aulas semanais de 2 horas cada, ambas disciplinas oferecidas a alunos de Química da UFRJ. A partir desse contexto, durante a validação, foi verificado que, para realização do experimento e aquisição dos dados, 2 horas são suficientes, caso a solução eletrolítica já esteja pronta, o que torna esse experimento viável para ser (re)integrado ao acervo de experimentos oferecidos nas disciplinas experimentais do DFQ/IQ/UFRJ.

Na Físico-Química Experimental I, os discentes geralmente já tiveram contato com o conteúdo teórico necessário à compreensão dessa prática, nesse contexto uma discussão de 30 minutos é suficiente para elucidação de dúvidas e aspectos importantes. Além disso, os alunos também podem estudar previamente o material didático explicativo que é disponibilizado tanto pelo WhatsApp da turma, quanto pela pasta da disciplina no Dropbox. Já em Métodos Eletroquímicos, a aula que antecede a prática experimental é sempre teórica-expositiva, tendo uma duração de 2 horas.

O roteiro que foi elaborado e aplicado é apresentado na íntegra no material suplementar, sendo composto por: objetivo, fundamentos teóricos, materiais necessários, procedimento e tratamento de dados. O objetivo deste experimento é a determinação do número de transporte dos íons hidrônio e cloreto de uma solução de ácido clorídrico 0,1 mol L<sup>-1</sup> a 25 °C por meio do método da fronteira móvel. Evidentemente que a realização do experimento também é uma oportunidade para se trabalhar com os alunos as propriedades de soluções eletrolíticas, como a migração iônica e sua dependência com a natureza e concentração dos íons presentes e a concentração. Estes conceitos são abstratos e o experimento é uma excelente ocasião para que os alunos vejam e controlem os experimentos.

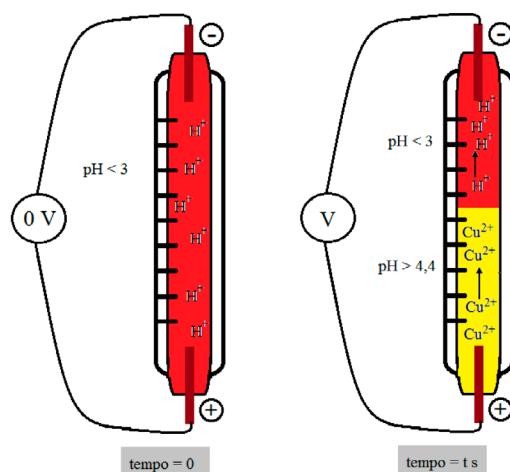
Em relação aos fundamentos teóricos envolvidos, o roteiro apresenta as informações básicas sobre o que é o número de transporte e depois como o método da fronteira móvel funciona.

O número de transporte pode ser determinado experimentalmente pelo método da fronteira móvel utilizando-se duas ou apenas uma solução indicadora. Neste último caso, determina-se o número de transporte de um íon e o outro é obtido subtraindo-se este valor da unidade.

Um exemplo encontrado na literatura e que utilizamos neste roteiro é a determinação do número de transporte do íon hidrônio, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, em uma solução aquosa de HCl, utilizando eletrodos de cobre e alaranjado de metila como indicador.<sup>58</sup> Na Figura 3 está apresentado um esquema para este exemplo, sendo que a solução de HCl tem concentração 0,1 mol L<sup>-1</sup> e, por estar misturada com alaranjado de metila, apresenta coloração vermelha. A Figura 3 à esquerda representa o sistema na ausência do campo elétrico, portanto os íons estão distribuídos ao longo de toda coluna, e por estar com pH abaixo de 3,3 apresenta coloração avermelhada.

O sistema é montado de forma tal que na parte inferior da coluna se coloca um eletrodo de cobre que será ligado à fonte de corrente contínua de maneira que fique com polaridade positiva, e na parte superior tem-se um outro eletrodo de cobre ligado à mesma fonte e com polaridade negativa, fechando o sistema elétrico, conforme descrito anteriormente. Ao se aplicar corrente, neste caso é indicado no roteiro que se use 0,6 mA, os íons H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> migram para o polo negativo na parte de cima da coluna, que é o catodo, e sobre o qual ocorre a redução deste íon, formando hidrogênio gasoso, que pode ser observado na forma de bolhas. No polo positivo inferior, que é o anodo, ocorre a reação de oxidação do eletrodo de cobre, e íons Cu<sup>2+</sup> são injetados na solução, exatamente em torno do eletrodo inferior. À medida que os íons hidrônio migram para a parte de cima da coluna, a parte de baixo vai ficando com o pH maior e ocorre mudança de coloração para o amarelo, pois a solução de cloreto de cobre que vai se formando tem pH maior que 4,4.

Os íons Cu<sup>2+</sup> também migram para o eletrodo de cima, mas como sua mobilidade iônica é menor do que a do íon



**Figura 3.** Esquema do experimento para determinação do número de transporte de uma solução de HCl. À esquerda no início e à direita após certo tempo sob ação de um campo elétrico

hidrônio, forma-se uma fronteira entre a solução ácida (vermelha) e a solução contendo cobre (amarela), mostrada na Figura 3 à direita, e que se move para cima em direção ao catodo, com o tempo.

Em um aparato possível, como montado para realização deste experimento, utiliza-se uma pipeta graduada como coluna transparente contendo as soluções, de modo que, ao invés de se medir a distância percorrida por tempo, utiliza-se o volume percorrido por tempo. Para este caso, é possível deduzir uma expressão para obtenção do número de transporte para o cátion  $H_3O^+$  de uma solução ácida de concentração conhecida em função do volume percorrido pela fronteira durante um tempo e para uma certa corrente aplicada, segundo a expressão:

$$t_+ = \frac{z_+ c l A F}{I \Delta t}$$

sendo,  $t_+$  o número de transporte do cátion,  $z_+$  a carga do cátion (com valor igual a +1 para o íon  $H_3O^+$ ),  $c$  a concentração molar do cátion,  $F$  a constante de Faraday (96485 C mol<sup>-1</sup>), a corrente em Ampère,  $\Delta t$  o tempo em segundos e o produto  $lA$  é o volume durante o deslocamento da fronteira, pois  $l$  é o comprimento e  $A$  área da seção transversal da pipeta.

O número de transporte do  $H_3O^+$  é obtido por meio desta expressão e o do  $Cl^-$  é o valor obtido por subtração da unidade,  $t_- = 1 - t_+$ .

Vale ressaltar que, como o líquido contido entre os dois eletrodos vai sofrendo alteração, portanto, a resistência desta coluna de eletrólito é alterada e, como o fôn hidrônio tem uma mobilidade maior que a do  $Cu^{2+}$ , a condutância diminui ou a resistência aumenta à medida que o experimento avança. É importante que o experimento seja realizado à corrente constante, então é necessário que a fonte de corrente permita esse ajuste automaticamente, mediante aumento da tensão, já que a resistência aumenta.

Os alunos medem o tempo para que a fronteira avance uma distância relativa a 0,1 mL em triplicata e calculam o número de transporte dos íons, no experimento realizado por

eles. O roteiro apresenta algumas perguntas que eles devem responder, caracterizando um estudo dirigido, incluindo o cálculo do erro experimental relativo a resultados da literatura.

#### 4.5. Validação do experimento

O experimento foi montado no Laboratório do Grupo Interdisciplinar de Educação, Eletroquímica, Saúde, Ambiente e Arte (GIEESAA), do DFQ/IQ/UFRJ. Ao realizar o primeiro teste com o aparato construído sem a jaqueta de resfriamento, verificou-se a formação vigorosa de bolhas em ambos os eletrodos, sobretudo naquele da região inferior. Esperava-se a formação de bolhas somente no polo negativo durante a eletrólise, devido à redução dos íons  $H_3O^+$  com formação de hidrogênio gasoso. O que ocorreu foi o aumento da temperatura do sistema com a eletrólise, sobretudo em torno do anodo e com isso o ar dissolvido na solução sofre evolução e a solução também entra em ebulição. Adicionalmente, a fronteira não avançou subindo pelo tubo, pois era revolvida pelas bolhas formadas.

Quando o aparato foi desmontado, verificou-se que praticamente toda a superfície do eletrodo foi oxidada em um curto espaço de tempo, apresentando aspecto fosco e alguns pontos verdes em sua estrutura, conforme pode ser observado na Figura 4. A principal suspeita foi a de que o fio pudesse ser de latão (liga de cobre, zinco e outros metais) e que não fosse de cobre puro, ocorrendo reações paralelas e não apenas a oxidação do cobre.

Os eletrodos foram então substituídos por um fio de cobre de maior pureza e o experimento foi realizado novamente. Nesta segunda tentativa observou-se mudança de coloração em torno do eletrodo inferior, mas não se observou a formação de uma fronteira muito nítida e, adicionalmente, notou-se que a coluna de vidro estava com a temperatura elevada. Após um tempo curto, verificou-se formação de bolhas por todo o tubo, principalmente na parte inferior, provavelmente devido à degassagem pelo aumento de temperatura, isto é, evolução do ar dissolvido e ebulição da solução.



**Figura 4.** Aspecto dos eletrodos de cobre antes e depois da eletrólise. (Eletrodo da esquerda: antes do experimento – Eletrodo da direita: após o experimento)

Também é possível inferir que, devido à formação de correntes de convecção por diferença de temperatura, a fronteira não foi formada. Para evitar esse tipo de variação de temperatura, utilizou-se um resfriamento para dissipação do calor gerado, submerso-se o tubo graduado em água, através de um tubo externo, a jaqueta de resfriamento. Com isso, esperava-se que não houvesse problemas de difusão dos íons durante a eletrólise pelo aumento de temperatura.

Após realizar os devidos ajustes, o experimento foi conduzido com sucesso, de modo que se observou a formação da fronteira móvel que se deslocava para a parte de cima do tubo à medida que a reação era conduzida e o desprendimento de bolhas de gás na parte superior do aparato (Figura 5).

O experimento foi realizado utilizando a coluna submetida a resfriamento, com a solução de HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> e uma fonte que fornecia uma corrente contínua de 6 mA. Os seguintes tempos para que a fronteira percorresse uma distância da coluna equivalente a 0,1 mL entre duas marcas aferidas foram obtidos: 194, 196 e 198 segundos. O tempo médio então foi de 195,67 segundos.

O tratamento de dados levou aos seguintes resultados:

$$t_{H^+} = \frac{z_+ c l A F}{I \Delta t} = \frac{c_{H^+} v F}{I \Delta t}$$

$$t_{H^+} = \frac{z_{H^+} + c_{H^+} l A F}{I \Delta t} = \frac{z_{H^+} + c_{H^+} + v F}{I \Delta t} = \frac{1x0,1x0,1x96485}{6} = 0,822$$

Então o número de transporte dos íons H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> na solução de HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> a 25 °C, que era a temperatura do laboratório no dia do experimento, foi de 0,822. Como o número de transporte é a fração de corrente transportada por certo tipo de íon na solução, então o número de transporte dos íons cloreto era 0,178. Este resultado está em pleno acordo com o esperado, pois a mobilidade iônica dos íons hidrônio é muito superior à dos íons cloreto, logo a fração de corrente transportada por eles é maior.

Comparando este resultado com dados da literatura, que é 0,834, verifica-se um erro de 1,44 %, que é um valor

baixo para um experimento que é realizado com aparato experimental simples.<sup>65</sup>

Nesta etapa de validação para implementação do experimento foram identificados alguns desafios epistemológicos, que, segundo Bachelard,<sup>66</sup> contribuem para a construção do espírito científico. Atualmente, estamos vivendo em uma época em que as informações e muitas respostas estão facilmente disponíveis para todos, de forma praticamente instantânea, e isso faz com que não sejam exigidos pensamentos e reflexões mais elaborados.<sup>67</sup>

Na escola, também há reflexos dessa situação, e isto inclui o ensino de Química, que muitas vezes é realizado por meio principalmente da apresentação de conceitos e informações superficiais, transformando a Química em uma ciência de memorização e de puro empirismo, e na maioria das vezes, afastada da lógica e do cotidiano.<sup>68</sup>

A Química, tanto no ensino básico quanto no ensino superior, é marcada pela transmissão de “verdades” ou conceitos não problematizados, desconexos, sem o estímulo a reflexões e sem questionamentos que os relacionem com o conteúdo trabalhado. As práticas realizadas, muitas vezes, são concebidas de modo a minimizar a ocorrência de situações inesperadas, e, mesmo quando ocorre algum problema nem sempre se estimula a discussão sobre a causa/solução, sendo normalmente realizada a repetição do procedimento até que o resultado previsto seja alcançado. O trabalho do professor ao desenvolver ou aplicar um recurso didático, deve ser no sentido de proporcionar uma mudança na cultura científica e não apenas na aquisição desta, além disso, deve auxiliar na superação de obstáculos previamente estabelecidos pelos alunos. Estas observações estão em pleno acordo com o que destaca Bachelard:

Logo, toda cultura científica deve começar [...], por uma catarse intelectual e afetiva. Resta, então, a tarefa mais difícil: colocar a cultura científica em estado de mobilização permanente, substituir o saber fechado e estático por um conhecimento aberto e dinâmico, dialetizar todas as variáveis experimentais, oferecer enfim à razão razões para evoluir.<sup>66</sup>



**Figura 5.** Formação da fronteira móvel no início do experimento (esquerda). Parte superior do aparato com o catodo fixado na rolha (direita)

O uso da experimentação não é uma estratégia nova para facilitar a aprendizagem de assuntos de Química, no entanto, deve-se ficar atento para que ela não seja meramente uma repetição de procedimentos pelos alunos de forma mecânica. Portanto, sob este ponto de vista, fez-se um convite para reflexões sobre o experimento de determinação do número de transporte, no qual é possível o professor realizar diferentes mudanças com o intuito de estimular o caráter crítico do aluno.

Outro aspecto importante é que o próprio docente, após aplicar o experimento com seus discentes, analise todos os aspectos da atividade, refletindo sobre ele, com intuito de verificar aspectos positivos e negativos e que pontos podem ser modificados, mantidos e enfatizados. Ou seja, a riqueza de possibilidades a serem investigadas neste experimento, permite muitas mudanças em sua proposta pedagógica, sendo essencial que o docente realize um *retrofit* e ajustes do método.

Durante o PLE de 2020, os alunos do curso de Licenciatura em Química analisaram ementas de vários cursos profissionais técnicos, e a partir de uma discussão sobre currículo consideraram que esse experimento pode ser utilizado em aulas experimentais - tanto em turmas de cursos profissionais técnicos integrados ao ensino médio (Química,<sup>69</sup> Petróleo e Gás,<sup>70</sup> Farmácia,<sup>71</sup> Biotecnologia,<sup>72</sup> Plástico,<sup>73</sup> Meio Ambiente<sup>74</sup>, Máquinas Navais,<sup>75</sup> Construção Naval,<sup>76</sup> Eletrotécnica,<sup>77</sup>...) quanto de cursos de nível superior (Licenciatura e Bacharelado em Química, Engenharias, Farmácia, Biologia...), além de cursos de formação continuada - de modo a auxiliar nas discussões sobre temáticas relacionadas à eletroquímica, principalmente no tocante à determinação do número de transporte.

## 5. Considerações Finais

A superação dos desafios epistemológicos que este trabalho apresenta, uma vez que no decorrer da montagem e realização do experimento aconteceram diferentes situações que não eram previstas e que demandaram diversas discussões, proporcionaram a elaboração de estratégias que permitissem o entendimento e a resolução dos problemas. Tal fato pode ser transportado para as salas de aula, onde essas situações investigativas podem ser simuladas na realização do experimento para que os próprios alunos desenvolvam essas habilidades de raciocínio e desconstrução de ideias.

Especificamente, neste experimento, podem ser criadas pelo menos três situações problema que suscitam discussões: i) uso dos eletrodos de latão e eletrodos de cobre puro; ii) uso da vidraria sem submersão em água para resfriamento e controle da temperatura; iii) uso de diferentes concentrações de HCl. Uma opção sugerida é que estas situações sejam investigadas pelos alunos, sem que eles saibam o que pode ocorrer, de modo que o professor seja o mediador durante a

realização do experimento, mas evidentemente este tipo de dinâmica requer tempo disponível e depende dos objetivos da disciplina, que pode contemplar atividades investigativas.

Por serem muito mais dinâmicas e participativas, as atividades práticas mostraram resultados animadores, pois instigam os alunos a fazer parte do processo e, assim, desenvolver de maneira mais concisa o raciocínio químico, vivenciando inteiramente o processo de ensino-aprendizagem. De acordo com os resultados encontrados, percebe-se que o aprendizado ocorre de forma natural e com maior fixação dos conteúdos quando os envolvidos realizam atividades práticas relacionando-as com a teoria que estão estudando.

## Agradecimentos

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

## Referências Bibliográficas

- BRASIL. Lei n. 11.096, de 13 de janeiro de 2005: institui o Programa Universidade para Todos, regula a atuação de entidades benfeicentes de assistência social no ensino superior; altera a Lei nº 10.891, de 9 de julho de 2004, e dá outras providências. [\[Link\]](#)
- Miranda, P. R.; de Azevedo, M. L. N.; Fies e Prouni na expansão da educação superior brasileira: políticas de democratização do acesso e/ou de promoção do setor privado-mercantil? *Educação e Formação* 2020, 5, e1421. [\[Link\]](#)
- Arruda, D. P.; Vidal, R. F.; ProUni: sobre o direito de acesso e permanência estudantil. *Revista Educação Online* 2020, 33, 1. [\[Link\]](#)
- SILVA, F. M.; Para muito além da democratização: o programa Universidade para Todos (ProUni) sob o prisma da decolonialidade negra. *Redes: Revista Eletrônica Direito e Sociedade* 2020, 8, 269. [\[Link\]](#)
- Alves, D. F.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília, 2019. [\[Link\]](#)
- Militão, E. P.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Roraima, 2015. [\[Link\]](#)
- Sousa, A. S.; Barbosa, M. V. S.; Miranda, M. D. S.; Dantas, A. R. S.; Paula, J. C. F.; Silva, A. C.; Farias, K. K. S.; Cardoso, R. A. S.; Construção de Objetos de Aprendizagem Explorando a Fronteira entre os Aspectos Micro, Macroscópico e Representacional de Fenômenos Físicos e Químicos. *Química: Ciência, Tecnologia e Sociedade* 2016, 5, 28. [\[Link\]](#)
- Menezes, J. M. S.; Farias, S. A.; O Desenvolvimento de Argumentação e Mobilização de Conceitos Químicos por Meio da Atividade Experimental Investigativa. *Revista Virtual de Química* 2020, 12, 223. [\[CrossRef\]](#)
- Bezerra, A. F. A.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2020. [\[Link\]](#)

10. Bertoldo, G. M.; Nascimento, C. P. F.; Sampaio, L. M. F.; Eça, K. S.; *Anais do VI Congresso Nacional de Educação*, Fortaleza, Brasil, 2019. [\[Link\]](#)
11. Souza, A. V. P.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2017. [\[Link\]](#)
12. Melo, A. D. Q.; Saldanha, S. M. C.; A retenção dos alunos da Licenciatura em Química do IFCE, campus Quixadá: uma análise. *Educação, Escola e Sociedade* **2020**, 13, e202005. [\[Link\]](#)
13. Rocha, M. M. R.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Ceará, 2020. [\[Link\]](#)
14. Nunes, F. C.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Campina Grande, 2020. [\[Link\]](#)
15. Sufi, R. C.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade do Oeste Paulista, 2018. [\[Link\]](#)
16. Kalmus, J.; Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2010. [\[Link\]](#)
17. dos Anjos, C. M.; Secafim, M. F.; Dificuldades com a Aprendizagem de Matemática na Educação Superior. *COINSPIRAÇÃO – Revista de Professores que Ensinam Matemática* **2018**, 1, 78. [\[Link\]](#)
18. Ribeiro, J. C. A.; Rosa, J. V. A.; Souza, G. A. P.; Haraguchi, S. K.; Silva, A. A.; Evasão e Retenção na Perspectiva de Alunos do Curso de Licenciatura em Química. *SAJEBTT – South American Journal of Basic Education, Technical and Technological* **2019**, 6, 609. [\[Link\]](#)
19. Olimpio, Q. G.; Pfeifer, R.; Tamiasso-Martinhon, P.; Sousa, C.; Análise observacional das contribuições de uma disciplina eletiva de eletroquímica. *Anais do XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química*, Florianópolis, 2016. [\[Link\]](#)
20. Andrade, M. S.; Ensinante e aprendente: a construção da autoria de pensamento. *Construção Psicopedagógica* **2006**, 14. [\[Link\]](#)
21. Rangel, F. O.; Stoco, S.; Silva, J. A.; Testoni, L. A.; Brockington, J. G. O.; Cericato, I. L.; Evasão ou mobilidade: conceito e realidade em uma licenciatura. *Ciência e Educação* **2020**, 5, 25. [\[CrossRef\]](#)
22. Silva, D. C.; *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016. [\[Link\]](#)
23. Maia, A. E.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2020. [\[Link\]](#)
24. Tamiasso-Martinhon, P.; Indisciplinaridade no Ensino de Química. Seminários e Atividades em Ensino de Química, Seminários PEQui, Programa de Pós Graduação em Ensino de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019.
25. Kempa, R.; Students learning difficulties in science: causes and possible remedies. *Enseñanza de las Ciencias* **1991**, 9, 119. [\[Link\]](#)
26. Tamiasso-Martinhon, P.; Martins-Filho, A. M.; Rocha, A. S.; Silva, C. R. S.; Memorial acadêmico e o empoderamento docente. *Anais do I Encontro da Rede Rio de Ensino de Química*, Macaé, 2017.
27. Tamiasso-Martinhon, P.; Rocha, A. S.; Sousa, C.; Educação emocional no ensino superior: uma práxis transformadora para a formação de licenciandos em química. *Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar* **2018**, 4, 286. [\[CrossRef\]](#)
28. Meneses, F. M. G.; Nuñez, I. B.; Erros e dificuldades de aprendizagem de estudantes do ensino médio na interpretação da reação química como um sistema complexo. *Ciência e Educação* **2018**, 24, 175. [\[CrossRef\]](#)
29. Gonçalves, A. C. S.; Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016. [\[Link\]](#)
30. Maia, A. E.; Rocha, A. S.; Tamiasso-Martinhon, P.; Sousa, C.; Jogo didático sobre energias renováveis como legado discente-docente-aprendente. *Revista Scientiarum História* **2019**, 2, e097. [\[Link\]](#)
31. Vieira, H. V.; Tamiasso-Martinhon, P.; Simões, A. L.; Rocha, A. S.; Sousa, C.; O Uso de Aplicativos de Celular como Ferramenta Pedagógica para o Ensino de Química. *Revista Debates em Ensino de Química* **2019**, 5, 125. [\[Link\]](#)
32. Barboza, R. S.; Tamiasso-Martinhon, P.; Silva, C. R. S. S.; A importância do trabalho colaborativo e transdisciplinar na educação a distância. *Brazilian Journal of Development* **2020**, 6, 14034. [\[Link\]](#)
33. Souki, Z.; Alegoria: a linguagem do silêncio. *Mediação* **2006**, 5, 92. [\[Link\]](#)
34. Moura, R. S. D.; Alteridade e responsabilidade: a interrupção da solidão do *il y a* hipóstase como emancipação do eu-cidadão que busca na presença do outro a configuração ética do estado de direito. *Revista de Estudos Jurídicos UNESP* **2013**, 17, 1. [\[CrossRef\]](#)
35. Juretzko, P. G.; Immer, M.; Wildi, J.; Performance analysis of a hybrid-electric retrofit of a RUAG Dornier Do 228NG. *CEAS Aeronautical Journal* **2020**, 11, 263. [\[CrossRef\]](#)
36. Ayodele, T. T.; Taki, A.; Oyinlola, M.; Subhes, B.; A Review of Retrofit Interventions for Residential Buildings in Hot Humid Climates. *International Journal of Environmental Science and Development* **2020**, 11, 251. [\[Link\]](#)
37. Wen, M.; Wu, Q.; Li, G.; Wang, S.; Li, Z.; Tang, Y.; Xu, L.; Liu, T.; Impact of ultra-low emission technology retrofit on the mercury emissions and cross-media transfer in coal-fired power plants. *Journal of Hazardous Materials* **2020**, 396, 122729. [\[CrossRef\]](#)
38. Alves, G. M.; Manfio, E. R.; Requisitos para um Jogo Educativo com Recurso de Comando por Voz Baseado em Retrofit de Impressora. *REGRAD* **2016**, 9, 286. [\[Link\]](#)
39. Junior, J. C. M.; Meirelles, C. D. A.; Simão, A. S.; Análise do Ensino-Aprendizagem de uma Disciplina do Curso de Graduação em Administração Pública EAD ICHS-UFF: o processo de retrofit. *Anais do Congresso Internacional de Educação e Tecnologias, Encontro De Pesquisadores em Educação a Distância*, 2018. [\[Link\]](#)
40. Cavassin, R. S.; Fernandes, T. S. P.; Uma Abordagem Multicritérios para Recapacitação de linhas de Transmissão. *SBA Controle e Automação* **2012**, 23, 749. [\[Link\]](#)
41. Souza, R. H.; Tavares, M. E.; Fernandes, D. V.; Avaliação da aderência de barras de aço coladas ao concreto com resina epóxi. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais* **2018**, 11, 5898. [\[Link\]](#)
42. Rezende, E. M.; de Gouveia, A. M. C.; Sistemas de estacionamento vertical modulado em estrutura metálica. *Revista Escola de Minas* **2006**, 59, 279. [\[Link\]](#)
43. Souza, C. F. S.; Lorensini, S. R. G.; Planejamento, Avaliação e o Fazer Pedagógico. *Revista Multidebates* **2020**, 4, 45. [\[Link\]](#)
44. Fávero, M. L. A.; Lima, H. I.; Em A Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ): Origens, Construção e Desenvolvimento; Morosini, M. C., eds.; Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira: Brasília, 2006, cap. 4. [\[Link\]](#)

45. Massena, E. P.; *Tese de Doutorado*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010. [Link]
46. Santos, A. T.; Tamiasso-Martinhon, P.; Rocha, A. S.; Sousa, C.; Agostinho, S. M. L.; Experimentação em sala de aula: resultados de uma atividade simples realizada no nível médio para ensino de condutividade elétrica. *Scientia Naturalis* **2019**, 1, 209. [Link]
47. de Castro, L. O.; Tamiasso-Martinhon, P.; Rocha, A. S.; Sousa, C.; Contextualização histórica do experimento de Franck-Hertz. *História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces* **2017**, 16, 54. [Link]
48. Azevedo, M. L. S.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019. [Link]
49. Cotta, J. A. O.; Gomes, B. M.; Andrade, F. L. S.; Figueiredo, G. C. N.; Souza, G. K. F.; Linhares, I. L.; Gomes, J. D.; Santos, J. M. B.; Gomes, L. A.; Carmo, N. H.; Melo, P. E. S.; Santos, P. H. F.; Carneiro, R. P. C.; Torres, R. Q. Q. F.; Ensino-aprendizagem de cinética e eletroquímica com uso de atividades experimentais: estudo de caso no ensino superior. *Research, Society and Development* **2020**, 9, e23921970. [CrossRef]
50. Niaz, M.; Chacón, E.; A Conceptual Change Teaching Strategy to Facilitate High School Students' Understanding of Electrochemistry. *Journal of Science Education and Technology* **2003**, 12, 129. [CrossRef]
51. Garnett, P. J., E Treagust, D. F.; Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: electric circuits and oxidation-reduction equations. *Journal of Research in Science Teaching* **1992**, 29, 121. [CrossRef]
52. Bernardi, L. O.; Pantano Filho, R.; Medição da Resistividade Elétrica em Condutores Metálicos. *Revista Intellectus* **2012**, 19, 55. [Link]
53. Werlang, V.; *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade Federal da Universidade Federal do Paraná, 2015. [Link]
54. Teles, J. S.; *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade Federal de Sergipe, 2012. [Link]
55. Adamson, A. W.; *A Textbook of Physical Chemistry*, Academic Press: New York, 1973.
56. Bard, A. J.; Faulkner, L. R.; *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*. 2. ed. New York: Wiley, 2001.
57. Sawyer, D. T.; Sobkowiak, A.; Roberts, J. L. *Electrochemistry for Chemists*, 2. ed., Wiley: New York, 1995.
58. Dabke, R. B.; Gebeyehu, Z.; Padelford, J.; Determining the Transference Number of H<sup>+</sup> (aq) by a Modified Moving Boundary Method: A Directed Study for the Undergraduate Physical Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education* **2012**, 89, 1600. [CrossRef]
59. Denaro, A. R.; *Fundamentos de Eletroquímica*, Edgard Blucher: São Paulo, 1974.
60. Pazutti, L. V. B.; *Monografia do Curso de Especialização em Ensino de Química*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018. [Link]
61. Ramalho, A. L. O.; Cordeiro, Y.; Tamiasso-Martinhon, P.; Sousa, C.; Elaboração de um jogo didático para o ensino de termodinâmica. *Anais da I Jornada da Rede Rio de Ensino de Química*, Rio de Janeiro, 2018.
62. dos Santos, I. T.; Santos-Junior, A. A.; Rocha, A. R.; da Silva, C. R. S.; Tamiasso-Martinhon, P.; Uso de um jogo para trabalhar conceitos de termodinâmica no ensino superior. *Anais da I Jornada da Rede Rio de Ensino de Química*, Rio de Janeiro, 2018.
63. de Oliveira, B. P.; Rocha, A. S.; Sousa, C.; Tamiasso-Martinhon, P.; Confecção de um jogo de roleta: uma maneira divertida de fixar conceitos de termodinâmica. *Anais da I Jornada da Rede Rio de Ensino de Química*, Rio de Janeiro, 2018.
64. de Araújo, Y. M.; Pinheiro, J. M. L.; Tamiasso-Martinhon, P.; da Silva, C. R. S.; Determinação e elucidação do conceito de calor específico de álcoois. *Anais da I Jornada da Rede Rio de Ensino de Química*, Rio de Janeiro, 2018.
65. Moore, W. J.; *Físico-Química*, 1a ed., Edgard Blucher: São Paulo, 1976.
66. Bachelard, G.; *A Formação do Espírito Científico: Contribuições para uma psicanálise do conhecimento*, 9a ed., Contraponto: Rio de Janeiro, 1996.
67. Ronch, S. F. A. Da; Danyluk, O. S.; Zoch, A. N.; Reflexões epistemológicas no ensino de ciências/química: as potencialidades da pedagogia científica de Bachelard. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia* **2016**, 9, 342. [Link]
68. Lopes, A. R. C.; Conhecimento escolar em química - processo de mediação didática da ciência. *Química Nova* **1997**, 20, 563. [Link]
69. Instituto Federal do Rio de Janeiro. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC). Plano do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio, 2014. [Link]
70. Instituto Federal do Rio de Janeiro. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC). Matriz Curricular do Curso Técnico em Petróleo e Gás Integrado ao Ensino Médio. Campus Duque de Caxias, 2012. [Link]
71. Instituto Federal do Rio de Janeiro. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC). Matriz Curricular do Curso Técnico de Farmácia Integrado ao Ensino Médio. Campus Rio de Janeiro, 2012. [Link]
72. Instituto Federal do Espírito Santo. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC). Projeto Pedagógico do Curso Técnico em Biotecnologia Integrado ao Ensino Médio. Campus Vila Velha, 2016. [Link]
73. Instituto Federal do Rio de Janeiro. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC). Plano do Curso Técnico em Plásticos Integrado ao Ensino Médio. Eixo Tecnológico: Produção Industrial. Campus Duque de Caxias, 2018. [Link]
74. Instituto Federal do Rio de Janeiro. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC). Plano do Curso Técnico em Meio Ambiente Integrado ao Ensino Médio. Eixo Tecnológico: Ambiente e Saúde. Campus Arraial do Cabo, 2019. [Link]
75. Diretoria de Desenvolvimento da Educação Básica/Técnica. Planos de Curso: Médio Técnico. Curso Técnico de Nível Médio em Máquinas Navais Integrado ao ensino Médio Currículo Mínimo comum. [Link]
76. Diretoria de Desenvolvimento da Educação Básica/Técnica. Planos de Curso: Médio Técnico. Curso Técnico de Nível Médio em Construção Naval Integrado ao ensino Médio Currículo Mínimo comum. [Link]
77. Instituto Federal do Rio de Janeiro. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC). Ementário do Curso Técnico em Eletrotécnica Integrado ao Ensino Médio. Campus Paracambi, 2019. [Link]