

Eletofórese de pó cerâmico de nióbio para abordar conceitos de eletroquímica

RESUMO

Mirele Cristina Furlan Rocha
mirelefurlan@gmail.com
[0000-0003-2488-9513](tel:0000-0003-2488-9513)
Universidade Federal de Mato Grosso,
Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

Mariuce Campos de Moraes
mariucec3@gmail.com
[0000-0001-6477-5620](tel:0000-0001-6477-5620)
Universidade Federal de Mato Grosso,
Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

Este artigo trata de uma experimentação comprometida com a formação conceitual e contextual para o estudo de eletroquímica a partir da eletrofórese de cerâmica de nióbio. A experimentação foi protagonizada por estudantes do 3º ano do ensino médio de uma escola pública, como um processo complexo de articulação entre fenômenos, teorias, interações socioambientais e a aprendizagem em perspectiva histórico-cultural. Neste sentido, busca-se referências para a complexidade dos sistemas reacionais, interações entre ciência, tecnologia, sociedade e cerâmicas. Como resultado, nota-se que o experimento favoreceu o ensino de eletrólise, de fluxo de elétrons e de reações de oxidação e de redução. Foi possível acompanhar os desafios na montagem da atividade experimental: a aferição do pH da dispersão e a conexão dos polos da bateria aos eletrodos correspondentes. E promover o debate sociocientífico sobre impactos ambientais por meio do uso de água em vez de álcool durante a eletrofórese.

PALAVRAS-CHAVE: CTS. Experimentação. Cerâmica.

INTRODUÇÃO

Na busca por compreender a aprendizagem de processos físicos e químicos com base na análise de sistemas materiais e de problemas de variação reacional, este artigo problematiza a complexidade da experimentação com uma abordagem que coloca em conexão conceitos e princípios físicos, químicos e pedagógicos. Comunica, em especial, os processos de (re)leitura de fenômenos naturais e da aprendizagem ativa, crítica e criativa.

Historicamente, a comunidade de pesquisadores de Ensino de Química adotam a experimentação como um referencial importante para o desenvolvimento de abordagens conceituais e contextuais coerentes, comprometidas com resultados educativos mais efetivos, que mobilizem um pensamento analítico, uma capacidade de previsões e generalizações e uma leitura fenomenológica de eventos que ocorrem tanto de forma natural no mundo quanto aqueles de laboratório (FRANCISCO JUNIOR; FERREIRA; HARTWIG, 2008; SILVA; MACHADO; TUNES, 2011). Com a abordagem experimental, aprender ciências é estabelecer relações constantes entre o fazer e o pensar científicos. Assim referenciadas, comunica-se a organização de uma experimentação tida como um processo complexo de articulação entre fenômenos, teorias, interações socioambientais e a aprendizagem em perspectiva histórico-cultural.

Referenciadas pela complexidade dos sistemas reacionais e pela natureza elétrica da matéria, propõe-se uma experimentação baseada na eletroquímica e na técnica da eletroforese que permite estudar conceitos físico-químicos. Nesse sentido, optou-se por usar o óxido de nióbio, entendendo que também é possível utilizar o óxido de alumínio e o óxido de zinco, por serem materiais acessíveis e viáveis na maioria das escolas brasileiras.

Diante do fenômeno educacional e da sua relação com a complexidade da realidade sociocultural brasileira, toma-se como referência a relevância de abordar temas químicos sociais e interações entre ciência, tecnologia, sociedade, com os quais pode-se organizar o estudo de aspectos sociais que exigem dos estudantes posicionamento crítico quanto a sua solução (SANTOS; SCHNETZLER, 1997).

O enfoque da CTS na área educacional visa ressaltar a “importância social da ciência e da tecnologia de forma a enfatizar a necessidade de avaliações críticas e análises reflexivas sobre a relação científica, tecnológica e a sociedade”, sendo assim “professores e alunos passam a descobrir, a pesquisar juntos, a construir e/ou produzir o conhecimento científico, que deixa de ser considerado algo sagrado e inviolável” (PINHEIRO; SILVEIRA; BAZZO, 2007, p. 74).

Dessa forma, a abordagem CTS quando inserida na educação em ciências tem como finalidade promover o conhecimento científico e tecnológico, porém de maneira que auxilie o estudante a desenvolver conhecimentos e habilidades que o oriente à tomar decisões sobre questões relacionadas a ciência e a tecnologia e as relações destas com a sociedade (MOREIRA; AIRES; LORENZETTI, 2017, p. 198).

Nesse contexto, problematiza-se o uso do pó cerâmico de óxido de nióbio em razão de despertar grande interesse tecnológico e de ser um dos minérios mais importantes do país. Junto a isso, a mineração no Brasil envolve múltiplos problemas socioambientais relacionados com as condições do ar, da água, da economia local e nacional, do tratamento de rejeitos e dos resíduos da extração,

da perda de biodiversidade, de deslocamento da terra, dentre outros (MILANEZ; WANDERLEY; SOUZA, 2017).

Dada a complexidade da aprendizagem resultante da participação ativa em sala de aula, toma-se por referência a pedagogia histórico-cultural. Sabe-se que a psicologia histórico-cultural se tornou um importante referencial teórico-metodológico para a Educação em Ciências, mas também que há apropriações indevidas e certa precariedade na formação dos pesquisadores que adotam a referida base teórica (MORI, 2013). Assim, adota-se uma releitura das contribuições pedagógicas de Vygotsky, a qual aponta possibilidades de aprendizagem compreensiva e criativa para avançar na compreensão de indicadores cultural-históricos para as interações em sala de aula (MARTÍNEZ; REY, 2017) Nesse sentido, durante a referida experimentação, propõe-se os desafios de participação na montagem do experimento e de análise de uma situação-problema que envolve a identificação da acidez das superfícies das partículas do pó-cerâmico para conformação da cerâmica.

Sendo assim, este objeto de estudo é uma experimentação que leva em consideração temáticas socioambientais, tecnológicas e sociais bem como está comprometida com uma aprendizagem que entrelace conceitos científicos e o cotidiano que envolve o nióbio. Nesse contexto, o objetivo deste artigo é refletir sobre uma experimentação para fins educativos pautada pela complexidade reacional, pela abordagem de interações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, bem como pela aprendizagem compreensiva e criativa por meio da participação ativa dos estudantes na experimentação.

A COMPLEXIDADE REACIONAL ENVOLVIDA NA EXPERIMENTAÇÃO SOBRE ELETROQUÍMICA E A TÉCNICA DE ELETROFORESE

A experimentação desenvolvida em sala de aula envolveu conhecimentos químicos sobre oxidação e redução. Em tal atividade, considera-se que a abordagem de cerâmicas pode facilitar o aprendizado de conceitos de eletroquímica ligados à técnica de eletroforese. A simultaneidade de múltiplos processos físicos e químicos envolvidos em um sistema reacional eletroquímico possibilita abordar conceitos relacionados às células eletrolíticas e à eletrólise que ocorre junto com a eletroforese e enseja examinar o fluxo de elétrons e identificar o agente oxidante, o agente redutor e o pH do meio reacional. Ademais, possibilita ensinar sobre a dinâmica de produção do pensamento sistêmico e complexo.

O aprendizado de eletroquímica deve envolver não apenas as cargas isoladas em fluxo, e sim o sistema como um todo. Para Prigogine (2002; 2009), todo líquido é um sistema complexo que corresponde a um enorme conjunto de partículas em interações, sendo todas sensíveis às condições iniciais, às perturbações e às flutuações sobre o comportamento do sistema. Todo sistema formado por muitas partículas é atravessado por correlações que aumentam continuamente até o envelhecimento do sistema, fenômeno que impossibilita eliminar as interações no meio reacional. Esse fluxo de correlações mostra que o aparecimento de outros comportamentos está relacionado com as relações entre as moléculas. Esse comportamento das moléculas resulta em um sistema instável impactado por uma instabilidade construtiva (PRIGOGINE; STENGERS, 1997).

Disso decorre a ênfase do pensamento complexo nas condições de instabilidade, de flutuações e de irreversibilidade de sistemas reacionais. Nesse sentido, nota-se uma referência frequentemente relacionada ao afastamento do equilíbrio do sistema, ou seja, não há volta para o seu estado inicial quando o sistema é perturbado; ao contrário, nota-se uma produção de novas estruturas, novos tipos de organização, de modo que Prigogine e Stengers (1997) chamaram os sistemas instáveis, com tal comportamento, de estruturas dissipativas.

Isso só faz refletir que os múltiplos processos físicos e químicos não acontecem separadamente, de modo que um meio reacional é influenciado por todas as partículas presentes. Para a ciência da complexidade, pensar que o óxido em suspensão vai apenas migrar para o eletrodo de depósito sem nenhuma interação com a água e seus minerais dissolvidos seria muito simplista.

A Deposição Por Eletroforese (*Electrophoretic Deposition – EPD*) utilizada para conformação de materiais cerâmicos avançados é um caso propício para o pensamento complexo. A EPD permite a produção de peças baratas com estruturas complexas ou planas, de acordo com o formato do eletrodo de depósito do material. A técnica envolve a presença de dois eletrodos conectados aos polos de uma bateria ou outra fonte de energia, para que aconteça a passagem de corrente elétrica por uma dispersão coloidal do pó cerâmico. O solvente líquido pode ser tanto polar quanto apolar.

Do ponto de vista experimental, a técnica de conformação de cerâmicas por eletroforese pode ser dividida em dois processos: no primeiro, as partículas de cerâmica dispersas no líquido (polar ou apolar) movimentam-se para o eletrodo de carga oposta quando se aplica o campo elétrico. No segundo processo, as partículas se aproximam o suficiente do eletrodo para coagularem e permanecerem depositadas, formando uma estrutura compacta ou um filme denso e homogêneo (HEISE; RIVERA; BOCCACCINI, 2019).

Neste contexto, nota-se a complexidade reacional ao se abordar quatro fenômenos simultâneos importantes:

1. O fenômeno reacional devido às partículas dispersas no líquido, caracterizando a coexistência das partículas e as reações que ocorrem, diferenciando os materiais envolvidos e a simultaneidade das reações;
2. O fluxo de partículas, a direção do fluxo de elétrons no circuito externo e do fluxo de íons no circuito interno, em função do movimento das partículas para os eletrodos;
3. A aplicação do campo elétrico e a condição adequada para forçar a formação de uma reação não espontânea;
4. A eletrodeposição decorrente da deposição eletrolítica sobre a grafite.

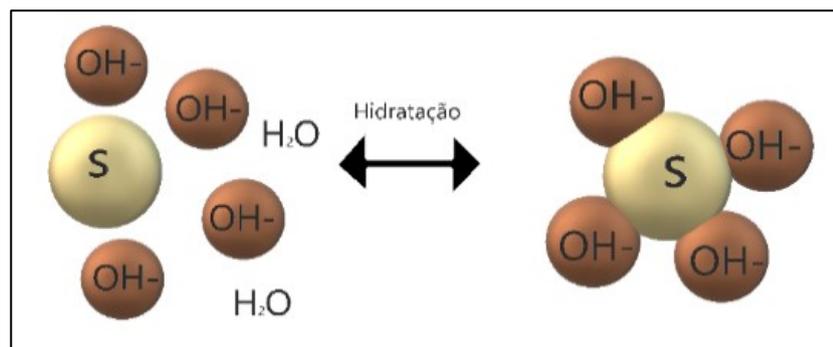
Ademais, o uso de etanol como dispersante líquido faz que seja necessária a passagem de uma corrente elétrica maior (na literatura se encontra trabalhos com 80 V) pelo sistema, para acontecer a deposição. Além disso, necessita de substâncias que podem ser prejudiciais ao meio ambiente, como poliácrlatos, para dispersar o óxido, a fim de que ele não flocule nem decante rapidamente no recipiente. Uma alternativa seria usar solventes polares, no caso a água, que, além

de requerer corrente elétrica menor, não precisa de substâncias prejudiciais ao meio ambiente; porém, em voltagens baixas (2V), ter-se-á a eletrólise da água, o que ocasiona a formação de buracos na peça final, por conta das bolhas do gás H_2 que se formam no cátodo (SAKAMOTO; GOUVÊA, 2001).

Os solventes polares, como a água, apresentam uma forte interação com a superfície dos óxidos, em decorrência da característica iônica da interface óxido/solvente. A mistura de partículas finas com um solvente é instável e com o tempo ocorre a sedimentação naturalmente. O retardamento dessa sedimentação (processo de estabilização), no entanto, pode ser obtido por meio da adsorção de íons e/ou moléculas na superfície das partículas micro ou submicrométricas, que geram forças repulsivas, tanto por ação de cargas elétricas como por impedimento espacial (estérico) ou ambos (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

O desenvolvimento de cargas nas superfícies das partículas dos pós-cerâmicos é o responsável pelo mecanismo de estabilização eletrostática da dispersão. Quando colocadas em contato com a água (Figura 1), essas partículas são submetidas à hidroxilação ou à hidratação superficiais.

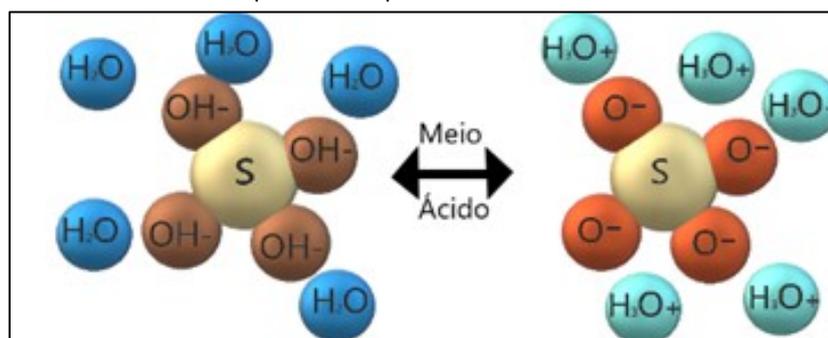
Figura 1: Hidroxilação das partículas do óxido (representado pela letra S, usada como referente de superfície)



Fonte: As autoras (2019).

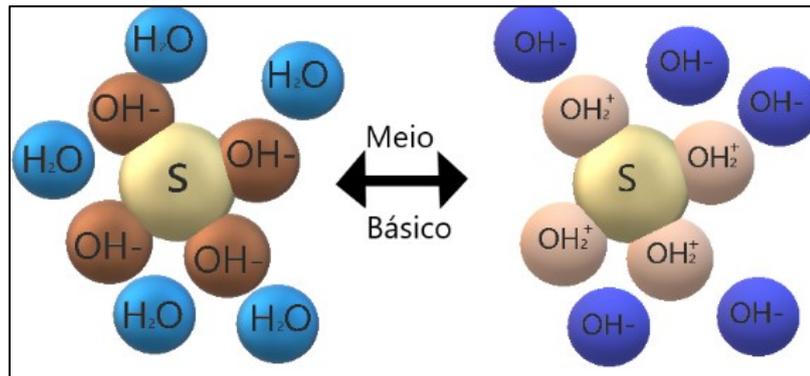
A hidratação das superfícies dos óxidos faz que eles fiquem carregados eletricamente. Por isso o pH da solução é tão importante, já que, com base nele, pode-se inferir a carga superficial do óxido e em qual polo será colocado o eletrodo para a deposição do óxido na técnica de eletroforese. As figuras 2 e 3 apresentam possíveis cargas do óxido em pH ácido e básico, respectivamente.

Figura 2: Possíveis interações do óxido com H_2O em pH ácido, onde S representa a superfície das partículas dos óxidos



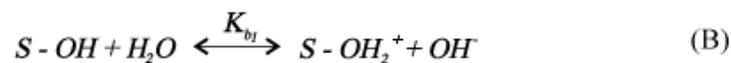
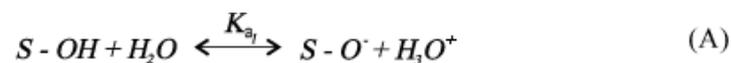
Fonte: As autoras (2019).

Figura 3: Possíveis interações do óxido com H₂O em pH básico, onde S representa a superfície das partículas dos óxidos



Fonte: As autoras (2019).

As ilustrações acima exemplificam o que acontece no meio reacional e podem ser representadas pelas reações A e B. Observa-se que, em suspensões aquosas, o pH final é função da ionização de grupos hidroxilas superficiais:



Onde a letra S representa a superfície do óxido e K_{a1} e K_{b1} representam as constantes de dissociação ácida e básica em água, respectivamente.

A ciência proporciona benfeitorias, mas deve haver reflexão sobre todos os impactos ambientais que estarão envolvidos no processo e no uso indevido de algumas substâncias. Essa visão do processo total, com cuidado empregado desde a extração do óxido, e não só com produto da peça cerâmica, é contemplada pela abordagem CTS.

A COMPLEXIDADE DAS INTERAÇÕES CTS POR MEIO DA CERÂMICA DE NIÓBIO

As pesquisas em Educação em Ciências apontam que a experimentação pode contribuir para compreensão da complexidade da formação humana que envolve conhecimento de conceitos científicos e sua aplicação por meio de consciência reflexiva, de modo que a relação com o objeto seja mediada por conceitos aprendidos e resulte em uma melhor compreensão da realidade concreta (OLIVEIRA, 2010; SILVA; MACHADO; TUNES, 2011).

Segundo Silva *et al.* (2015), as atividades experimentais, na maioria das vezes, são utilizadas apenas com o objetivo de demonstração ou reafirmação de teorias. Essa situação leva os estudantes a uma falsa construção de sentidos a respeito do conhecimento científico. Ao contrário disso, a experimentação permite o diálogo entre estudantes, professor e processos físicos e químicos. Essa troca de experiências faz que a fonte de conhecimento não seja apenas advinda do professor, contrariando a educação “bancária” (FREIRE, 2011).

Para tanto, nota-se a importância de uma experimentação articulada com temas químicos e com interações CTS. Os temas químicos sociais possuem papel

importante durante o processo de ensino/aprendizagem, pois é possível discutir, analisar e refletir sobre aspectos ambientais, tecnológicos e econômicos que impactam toda a sociedade. Ademais, a abordagem de temáticas sociocientíficas permite o desenvolvimento da participação e a capacidade de tomada de decisão, pois traz para a sala de aula discussões de aspectos sociais relevantes, que exigem dos estudantes um posicionamento crítico quanto a sua solução (SANTOS; SCHNETZLER, 1997). A inclusão de temas químicos sociais em sala de aula favorece a compreensão dos processos químicos do cotidiano.

A experimentação com a cerâmica propicia a abordagem da mineração. Os múltiplos problemas socioambientais da mineração no Brasil, no caso dos municípios que a sediam, envolvem principalmente: crescimento urbano e demográfico acelerados que resultam em condições de vida precárias para a população; forte dependência da economia local em relação a uma atividade baseada na exploração de um recurso não-renovável; além dos incontáveis prejuízos ao meio ambiente com a poluição sonora, do ar e da água, o desmatamento e a perda da biodiversidade, a deposição inadequada de rejeitos e os resíduos da mineração; sem contar os transtornos atinentes à subsidência do terreno, tais como deslocamento da terra para baixo relativamente a um nível de referência, como seja o nível médio do mar (MILANEZ; WANDERLEY; SOUZA, 2017).

Podem-se exemplificar os problemas socioambientais da mineração no Brasil com o rompimento de barragens, da Vale (2015) e a da Samarco (2019), ambas em Minas Gerais. Essas duas são consideradas as maiores tragédias ambientais do Brasil, com muitas mortes, famílias desaparecidas, devastação de localidades e consequente desagregação dos vínculos sociais das comunidades.

As cerâmicas, neste contexto, figuram entre os materiais mais antigos utilizados nas atividades humanas. Estão ligadas à sobrevivência do ser primitivo: pela necessidade de recipientes para transporte de água, por exemplo. As tipificadas como avançadas são materiais cerâmicos especiais utilizados notadamente para aplicações elétricas, eletrônicas, ópticas e magnéticas (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

O pentóxido de Nióbio (Nb_2O_5), utilizado neste trabalho, é um pó cerâmico de grande interesse para a produção de materiais avançados porque ele apresenta propriedades químicas e físicas para a produção de capacitores cerâmicos, lentes ópticas, elementos estruturais resistentes ao calor e à abrasão, sensor de gases, elemento semicondutor em células solares sensibilizadas por corantes, filtros especiais para receptores de TV e componentes eletrônicos. Sobretudo, ele se destaca como fotocatalisador. Essa última propriedade permite a sua utilização em diferentes finalidades, como a fotodegradação de poluentes e microrganismos presentes em sistemas de água ou ar, além da produção de hidrogênio molecular, entre outras (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Levantamento feito pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), extinto no fim de 2018 para dar lugar à Agência Nacional de Mineração (ANM), indica que as reservas brasileiras de nióbio somam 842,4 milhões de toneladas, representando mais de 90% do total mundial, seguido, o Brasil, pelo Canadá e pela Austrália. Estas reservas estão concentradas principalmente nos estados de Minas Gerais (75%), no município de Araxá; Amazonas (22%), nos municípios de São Gabriel da Cachoeira e Presidente Figueiredo; e Goiás (3%), nos

municípios de Catalão e Ouvidor (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL [DNPM], 2015).

METODOLOGIA: A COMPLEXIDADE DA EXPERIMENTAÇÃO E A APRENDIZAGEM ATIVA E CRIATIVA

Segundo Vygotsky (2005), a relação com o objeto é mediada por outro conceito já aprendido. Assim, o conhecimento científico permite a consciência reflexiva. Para o autor, a formação dos conceitos não é apenas uma soma de conexões formadas pela memória, mas é um ato complexo que também depende de permanentes interações constitutivas de conhecimento. Nesse sentido, busca-se uma leitura da formação de conceitos marcada pela perspectiva cultural-histórica para a qual a complexidade da aprendizagem envolve a posição ativa em relação ao conhecimento advindo de outros contextos e do contexto da sala de aula

A metodologia construtivo-interpretativa constituiu-se num contínuo processo de interpretação e construção do conhecimento a partir das informações produzidas na realização dos instrumentos que tiveram a função de constituírem-se favorecedores da expressão dos participantes. O processo interpretativo é sempre a produção de um novo significado sobre informações e eventos divididos em experimentação e coleta de dados por meio de questionários abertos, complementos de frases e observações em sala (MARTÍNEZ; REY, 2017).

Martínez e Rey (2017) apresentam a importância da organização da aprendizagem compreensiva e da aprendizagem criativa. Na aprendizagem compreensiva, as operações reflexivas ocupam lugar central. A importância da compreensão está na utilização do aprendido em situações diferentes daquelas sobre as quais se apoiou sua aprendizagem. A aprendizagem criativa tem a criatividade como presença marcante, cuja forma se expressa na personalização da informação, na confrontação com o conhecimento e na produção e geração de ideias próprias sobre o estudado. Isso inclui novas alternativas e hipóteses elaboradas sobre o objeto do conhecimento. Assim, tal aprendizagem expressa o caráter produtivo e gerador do aprendiz.

Referenciadas pela referida base teórica, a pesquisa está devidamente registrada no comitê de ética (CAAE: 05803018.7.0000.8088). As informações foram proporcionadas por doze (12) estudantes do 3º ano do ensino médio, os quais identificam-se por nomes fictícios para preservar o anonimato dos estudantes.

A escolha do terceiro ano foi preferível, pois no planejamento da escola o conteúdo de eletroquímica estava na matriz curricular do terceiro ano. Essa escola possui três terceiros anos e inicialmente todos foram convidados a participar da pesquisa. Foi escolhida a turma que teve o maior número de estudantes motivados a colaborar com a pesquisa. Nesse sentido, os estudantes da turma A do terceiro ano foram os contemplados com a pesquisa.

O processo foi dividido em experimentação e coleta de dados por meio de questionários abertos, complementos de frase, debates e observações em sala.

A experimentação foi dividida em duas etapas. A primeira envolvia o desafio de montagem do experimento e de aferição do pH da superfície do pó cerâmico.

A segunda etapa envolvia a seguinte situação-problema: de posse da aferição do pH e do reconhecimento da carga elétrica adquirida pela superfície do óxido, o estudante conectaria o polo positivo e o polo negativo para gerar a conformação da cerâmica, ou seja, conhecendo a carga do óxido ajustaria qual polo da bateria seria conectado ao grafite para ocorrer a deposição do pó cerâmico. Em todas as etapas sempre esteve presente a abordagem CTS envolvendo a cerâmica de nióbio.

Para a montagem do experimento foram disponibilizados os seguintes materiais de baixo custo: 1 bateria de 12 V (de carrinhos elétricos); 2 pedaços de 50 cm, no mínimo, de fios flexíveis de 4 mm conectados em jacarés; 1 vasilha pequena de inox ou alumínio (de 15 cm por 15 cm); 1 grafite de 5 mm (lapiseira); água destilada (adicionar eletrólitos) ou água da torneira; 1 medidor de pH portátil (encontrado em lojas de produtos para piscina ou aquário) ou tiras de teste de pH (obs.: existem na literatura outras formas de medir o pH; uma delas é utilizar uma solução de repolho roxo); 1 agitador magnético (ou agitação manual); 1 balança (pode ser de cozinha).

Também foram repassadas as seguintes orientações:

- a) no início deve-se preparar uma dispersão coloidal de 10% em peso de água com óxido de nióbio;
- b) uma reação, de eletrólise, acontecerá em conjunto com a eletroforese e a sedimentação do pó cerâmico de óxido de nióbio no grafite;
- c) durante a experimentação, os estudantes deverão atentar-se para a complexidade do meio reacional ao observar o fluxo de elétrons, identificar o ânodo e o cátodo e quais espécies químicas estavam reduzindo-se e oxidando-se.

Na eletrólise, o ânodo é o eletrodo onde irão concentrar-se os ânions que perderão elétrons e oxidarão. Esse eletrodo é denominado de polo positivo. Por sua vez, o cátodo é o eletrodo onde irão concentrar-se os cátions que receberão elétrons e reduzirão. Esse eletrodo é denominado de polo negativo. Então, na eletrólise tem-se que os elétrons fluem, no circuito, do centro gerador de elétrons para o centro povoado de carga positiva. Se, em vez de ser considerado o fluxo de elétrons, for analisado apenas o eletrodo, o elétron vai do polo positivo para o negativo. Nas pilhas e baterias temos o mesmo processo, mas as polaridades são inversas, pois os elétrons são gerados no polo negativo, onde existe uma espécie que perde elétrons e oxida, e os elétrons vão para o polo positivo, onde está a outra espécie, que recebe os elétrons e reduz (ATKINS; JONES, 2006).

Também se fazem as seguintes considerações:

- a) as polaridades das pilhas e da eletrólise muitas vezes são decoradas sem a importância com as cargas elétricas e os íons que estão envolvidos no processo de forma geral, o que ocasiona confusão nos estudantes que não conseguem entender o processo;
- b) o fluxo de elétrons sempre vai do material de maior oxidação para o menor, do ânodo para o cátodo, ao passo que nos livros didáticos os sinais para pilhas e eletrólise mudam, pois eles explicam que um processo é o inverso do outro. No entanto, o processo de fluxo de elétrons é o mesmo nas pilhas e na eletrólise, porém a espontaneidade

da reação não, de modo que os polos – ou eletrodos – assumem polos inversos para gerar o mesmo efeito de fluxo de elétrons;

- c) eles parecem contrários porque nossa análise termina no material e desconsidera o meio reacional, ao passo que tudo é uma continuidade. Essa fragmentação que negligencia o conjunto causa confusão e não leva à apreensão da totalidade reacional (ATKINS; JONES, 2006).

Para auxiliar na resolução da situação-problema, deu-se a seguinte orientação: considerando que o depósito do pó cerâmico no eletrodo será influenciado por vários fatores, dentre eles a carga superficial do óxido, lembrem que, após a dispersão preparada, será realizada a aferição do pH e na sequência será providenciado que uma das garras de “jacaré” fique presa na vasilha e a outra no grafite.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

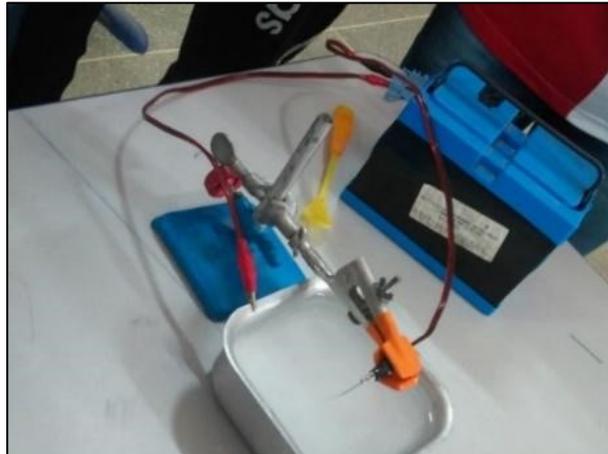
Como resultado da aferição de pH, a dispersão de óxido de níbio em água (Figura 4) apresentou pH básico. Um suporte de garra (Figura 5) foi apoiado no polo conectado ao grafite.

Figura 4: Suspensão de óxido de níbio em água, pH 9.5



Fonte: As autoras (2019).

Figura 5: Sistema para deposição por eletroforese



Fonte: As autoras (2019).

Na experimentação vivenciada, apoiada na aprendizagem compreensiva e criativa, a proposição do desafio e da situação-problema foi importante para acompanhamento da participação e da criação de uma solução. A aferição do pH foi importante para saber em qual dos polos ocorreria a deposição, mas alguns estudantes não aferiram o pH. Além disso, colocaram o grafite no polo com a mesma carga da superfície do óxido e perceberam que a deposição não ocorria. Então, mesmo nestes casos, eles tiveram a experiência com o material e debateram o motivo pelo qual não acontecia a deposição.

Isso evidencia que é preciso cada vez mais experimentar em uma perspectiva sistêmica e complexa. Ao abordar a complexidade do sistema reacional, foi possível esclarecer que, para acontecer a condução de eletricidade, deve haver íons livres que serão responsáveis pela transferência de elétrons. A experimentação exige uma abordagem adequada da relação entre o comportamento macroscópico, a manifestação aferida nos instrumentos e a explicação teórica referente ao comportamento microscópico das partículas em movimento, pois, ao não visualizarem os elétrons movendo-se, os estudantes têm dificuldade de conceituar a condução elétrica e, por consequência, a oxidação e a redução. Ademais, a experimentação viabilizou também o debate sociocientífico sobre o uso de água em vez de álcool durante a eletroforese e, desse modo, abordaram-se impactos e cuidados ambientais pertinentes à temática.

Para usar o álcool como dispersante, é necessária a passagem de uma corrente elétrica muito maior pelo sistema para que aconteça a deposição do óxido de nióbio no grafite. Além disso, para que o óxido não flocule nem decante rapidamente, é necessário usar certas substâncias que podem ser prejudiciais ao meio ambiente, como poliacrilatos. Por isso, a melhor alternativa seria usar solventes polares, no caso a água, que, além de requerer corrente elétrica menor, não precisa de substâncias prejudiciais ao meio ambiente, porém em voltagens baixas (2 V) teremos a eletrólise da água (ATKINS; JONES, 2006).

A coleta de dados foi realizada por meio de questionários abertos, complementos de frase, debates e observações em sala. Agrupamentos por “zonas de sentido” relacionados ao estudo da realidade (conhecimento prévio) sobre cerâmicas e suas tecnologias também estão presentes, pois o conceito científico

permite a consciência reflexiva e é mediado por outro conceito já aprendido, com papel importante para a educação e o aprendizado (VYGOTSKY, 2005).

Analisando as produções descritas dos estudantes, observa-se que Antônia pensou na técnica, quando ela diz que: (Na eletroforese) *“A água não exige tanta energia, já o etanol necessita de uma carga maior”*. Ela esqueceu os problemas relacionados ao meio ambiente, talvez porque não seja essa a preocupação do aprendizado hoje, que muitas vezes só se preocupa com os conceitos em vez de relacionar as interações entre ciência, tecnologia e sociedade.

Como explica Freire (2011), alfabetizar é muito mais do que ler palavras; é propiciar a leitura crítica do mundo. Nesse sentido, Auler (2002) articula a importância de uma aproximação entre referenciais ligados ao movimento CTS e a pressupostos freirianos, pois aqueles contribuem para a educação em ciências, por conferirem ao projeto político pedagógico escolar uma reinvenção da sociedade. Para isso, é necessária a defesa da vocação ontológica do ser humano em ser histórico e não um simples objeto, reinventando aqueles que se encontram na cultura do silêncio, com a compreensão crítica sobre as interações CTS no ensino.

Avanços na tecnologia são importantes, mas é necessária uma melhor abordagem das interações entre ciência, tecnologia e sociedade em sala de aula, para que possa atender de certa forma à complexidade do processo.

Outras estudantes como Danúzia e Elza apresentam sentidos de responsabilidade e preocupação em sua produção, pois, além de observarem que a técnica de eletroforese é mais fácil de ser utilizada com água, mesmo com a eletrólise junto, pensaram no cuidado ambiental. Isso está destacado na produção de Danúzia: *“A água exige menos energia que o etanol e não usa substâncias prejudiciais ao meio ambiente”*, e na produção de Elza: *“A técnica com água usa corrente elétrica menor e não precisa de substâncias prejudiciais ao meio ambiente, e então em voltagens baixas ocorre a eletrólise da água”*.

Sobre os conceitos aprendidos e a importância de relacionar o conteúdo de ciências com os impactos ambientais ocasionados, Elza diz: *“Desconhecia o conceito de cerâmica avançada, eletrólise e eletroforese”*. E *“Discutir CTS deixa as pessoas conscientes do que está acontecendo, faz ver o mundo de outra forma”*.

Observa-se que Antônia, diferente de Danúzia e Elza, por pensar muito na técnica tem um rendimento bom no que diz respeito ao entendimento dos fluxos eletrônicos, aos materiais cerâmicos avançados e à importância deles. Evidências dessa aprendizagem surgem ao vê-la responder com tranquilidade às questões propostas durante a experimentação. Em uma de suas respostas, ela diz: que *“O fluxo eletrônico sempre vai do ânodo para o cátodo”*.

Antônia relata que: *“A experiência foi diferenciada e divertida, e os estudantes ficam interessados em entender melhor quando experimentamos”*.

Nos complementos de frase de Danúzia tem-se que: Eu aprendi nas aulas: *“que podemos fazer nossos experimentos”*. A experimentação: *“é muito boa”*. Nesses complementos, há indicadores que a experimentação é importante para ela. Observa-se um sentido de participação, empenhar-se para fazer o que lhe é proposto.

Elza completou as frases da seguinte maneira: Eu aprendi nas aulas que: *“dá para fazer eletroforese”*. A experimentação: *“é extraordinária para o nosso*

aprendizado". Esses complementamentos de frase permitem abrir um conjunto de hipóteses que remete aos sentidos que marcam um caráter de encantamento com a experimentação. Ela também dá indicadores de percepção e atenção, que remetem a sentidos de segurança e de atenção na experimentação.

Durante o debate sociocientífico argumentos carregados de criticidade perante os impactos ambientais e as condições dos trabalhadores nas mineradoras foram vivenciados. Isso fica evidenciado no trecho em que uma estudante diz:

Existem impactos ambientais na produção da matéria-prima, pois as buscas desses minérios que compõem a cerâmica acabam prejudicando o meio ambiente por conta das escavações. Dependendo da mineradora, as situações são precárias e com alto risco de acidentes para os trabalhadores (ANTÔNIA, 2019).

A estudante Danúzia demonstra um sentido de preocupação ao dizer que: *"as mineradoras promovem impactos"* e perigo para quem trabalha nesse ambiente, pois os *"trabalhadores não estão protegidos"* e as mineradoras exploram o meio ambiente. Por sua vez, Elza demonstra em suas falas um sentido de responsabilidade no trecho em que se refere à irresponsabilidade da postura de mineradoras: *"As mineradoras não pensam na poluição que ocasionam e nos malefícios aos trabalhadores desse lugar"*.

O processo de ensino e aprendizado, pautado no construtivismo e nas interações CTS favorece a elevação das zonas de desenvolvimento proximais e a saída do senso comum para o científico.

Reunir os conhecimentos científicos, tecnológicos, sociais e ambientais no aprendizado contribui para a associação teoria-experimento, como observa-se nos indicadores dos estudantes, bem como para a contextualização e para a educação ambiental (SANTOS *et al.*, 2011).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta comunicação buscou-se ressaltar que experimentos dotados de uma organização complexa favorecem a articulação entre teoria científica e fenômeno eletroquímico por estudantes que aprendem ciências. Com esse experimento, é possível estudar conceitos de eletroquímica, como a eletrólise, o fluxo de elétrons e as reações de oxidação e de redução, por meio de uma técnica de eletroforese para a produção de uma peça altamente tecnológica que pode ser utilizada na fotocatalise, processo que é usado com o objetivo de tratamento de água. Também foi possível acompanhar o desafio de participação e criação de solução para uma situação-problema consistente na ação de aferir o pH da dispersão, a fim de conectar os polos da bateria aos eletrodos correspondentes. Também foi possível abordar as interações CTS que envolvem a produção de cerâmicas e os problemas socioambientais decorrentes da mineração.

Finaliza-se com algumas recomendações que viabilizam o experimento proposto neste artigo. A Experimentos que contenham materiais de baixo custo são importantes para o ensino, uma vez que será possível providenciar com facilidade tais materiais. Neste trabalho utiliza-se o óxido de nióbio, mas existe a possibilidade do uso de outros óxidos que também são considerados cerâmicos, como o óxido de zinco, devendo-se observar o pH da dispersão para conectar o

grafite no polo certo. Ainda, o óxido utilizado no experimento não precisa ser descartado: pode ser recuperado por filtração simples e secagem, o que possibilita o uso outras vezes.

Nesse trabalho utiliza-se o grafite de lapiseira para depósito, pois, além de ser de fácil acesso em uma queima futura dessa cerâmica depositada, não se tem a influência do grafite na peça final, haja vista que este se reduzirá a pó. Além do mais, o grafite foi utilizado por permitir uma área maior de depósito durante a eletroforese e, após a queima da peça, produzir uma peça tubular com uma área de contato ampla que poderá ser estudada para fotodegradação, por exemplo. Faz-se importante ressaltar que outros grafites, como o de lápis, também podem ser utilizados.

NIOBIUM CERAMIC POWDER ELECTROPHORESIS TO ADDRESS ELECTROCHEMISTRY CONCEPTS

ABSTRACT

This article deals with an experimentation committed to the conceptual and contextual formation for the study of electrochemistry concepts from the electrophoresis of niobium ceramics. The experimentation was carried out by students from the 3rd year of high school in a public school, as a complex process of articulation between phenomena, theories, socio-environmental interactions and learning in a historical-cultural perspective. In this sense, we seek references for the complexity of reaction systems, interactions between science, technology, society and ceramics. As a result, it is noted that the experiment favored the teaching of electrolysis, electron flow and oxidation and reduction reactions. It was possible to follow the challenges in setting up the experimental activity: the measurement of the dispersion pH and the connection of the battery poles to the corresponding electrodes. And promote socio-scientific debate on environmental impacts through the use of water instead of alcohol during electrophoresis

KEYWORDS: STS. Experimentation. Ceramics.

REFERÊNCIAS

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de química**: Questionando a vida moderna e o meio ambiente. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

AULER, D. **Interações entre ciência-tecnologia-sociedade no contexto da formação de professores de ciências**. 2002. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/82610>. Acesso em: 12 de maio de 2021.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. Tradução Sérgio Soares. Revisão Técnica José Roberto d’Almeid. Rio de Janeiro. LTC editora. 9ª edição, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL [DNPM]. **Sumário Mineral Brasileiro**. 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2015/view>. Acesso em: 10 maio 2021.

FRANCISCO JÚNIOR, W.; FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D. Experimentação Problematicadora: Fundamentos Teóricos e Práticos para a Aplicação em Salas de Aula de Ciências. **Química Nova na Escola**, n. 30, p. 34-41, 2008. Disponível em: 07-PEQ-4708.pdf (sbq.org.br). Acesso em: 05 maio 2020.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro. Editora Paz e Terra, 2011.

HEISE, S.; RIVERA, L. R.; BOCCACCINI, A. R. Bioactive Glass Containing Coatings by Electrophoretic Deposition: Development and Applications. *In: Biomedical, Therapeutic and Clinical Applications of Bioactive Glasses*. Woodhead Publishing, p. 3-33, 2019.

MARTÍNEZ, A.M; REY, F.G. **Psicologia, Educação e Aprendizagem Escolar**: avançando na contribuição da leitura cultural-histórica. São Paulo: Cortez Editora, 2017.

MILANEZ, B.; WANDERLEY, L. J.; SOUZA, T. R. O que não se aprendeu com a tragédia no Rio Doce. **Le Monde Diplomatique Brasil**, v. 8, p. 28-29, 2017. Disponível em: [O que não se aprendeu com a tragédia no Rio Doce](http://O%20que%20n%C3%A3o%20se%20aprendeu%20com%20a%20trag%C3%A9dia%20no%20Rio%20Doce) (diplomatique.org.br). Acesso em: 11 maio 2021.

MOREIRA, A. M.; AIRES, J. A.; LORENZETTI, L. Abordagem CTS e o conceito química verde: possíveis contribuições para o ensino de química. **ACTIO**, Curitiba,

v. 2, n. 2, p. 193-210, jul./set. 2017. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.3895/actio.v2n2.6825>. Acesso em: 13 set. 2019.

MORI, R. C. A Psicologia Histórico-Cultural nos artigos publicados em “Química Nova na Escola”. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISAS EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., 2013, Águas de Lindóia. **Atas do [...]**. Águas de Lindóia, 2013. Disponível em: [R0984-1.pdf \(abrapec.com\)](#). Acesso em: 4 maio 2012.

OLIVEIRA, J. R. S. Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente. **Acta Scientiae**, v. 12, n. 1, p. 139-156, jan./jun. 2010. Disponível em: [Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente/ Contributions and approaches of the experimental activities in the science teaching: Gathering elements for the educational practice | Oliveira | Acta Scientiae \(ulbra.br\)](#). Acesso em: 1 maio 2021.

OLIVEIRA, L. C. A.; OLIVEIRA, H. S.; MAYRINK, G.; MANSUR, H. S.; MANSUR, A. A. P.; MOREIRA, R. L. One-pot synthesis of CdS@Nb₂O₅ core-shell nanostructures with enhanced photocatalytic activity. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 152-153, n. 1, p. 403-412, 2014. Disponível em: [One-pot synthesis of CdS@Nb₂O₅ core-shell nanostructures with enhanced photocatalytic activity - ScienceDirect](#). Acesso em: 5 maio 2021.

PINHEIRO, N. A. M.; SILVEIRA, R. M. C. F; BAZZO, W. A. Ciência, tecnologia e sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do ensino médio. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 1, p. 71-84, 2007. Disponível em: [SciELO - Brasil - Ciência, Tecnologia e Sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do Ensino Médio Ciência, Tecnologia e Sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do Ensino Médio](#). Acesso em: 11 maio 2021.

PRIGOGINE, I. **As leis do caos**. São Paulo: Editora Unesp. 2002.

PRIGOGINE, I. **Ciência, razão e paixão**. Organização Edgard de Assis Carvalho, Maria da Conceição de Almeida. 2 ed. rev. e ampl. São Paulo: Editora Livraria da Física. 2009.

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. **A nova aliança**: metamorfose da ciência. Tradução: Miguel Faria e Maria Joaquina Machado Trincheira. Brasília: UnB, 1997.

SAKAMOTO, E. K.; GOUVÊA, D. Desenvolvimento do sistema de deposição por eletroforese (EPD). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45., 2001, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo, 2001.

SANTOS, W. L. P. GALIAZZI, M. C.; PINHEIRO JÚNIOR, E. M.; SOUZA, M. L. P. O enfoque CTS e a Educação Ambiental: Possibilidades de ambientalização da sala de aula de ciências. *In*: SANTOS, W.L. P; MALDANER, O. A. (org.). **Ensino de Química em Foco**. Unijuí: Ijuí, 2011, p. 231-261.

SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. **Educação em química**: compromisso com a cidadania. Ijuí, Editora da UNIJUÍ, 1997.

SILVA, M. A.; SILVA, M.; MARTINS, E.; AMARAL, W.; SILVA, H.; MARTINES, E. Compostagem: Experimentação Problematizadora e Recurso Interdisciplinar no Ensino de Química. **Química Nova na Escola**. São Paulo, v. 37, n. 1, p. 71-81, 2015. Disponível em: [\(PDF\) Compostagem: Experimentação Problematizadora e Recurso Interdisciplinar no Ensino de Química \(researchgate.net\)](#). Acesso em: 11 maio 2021.

SILVA, R. R.; MACHADO, P. F. L.; TUNES, E. Experimentar Sem Medo de Errar. *In*: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A (org.). **Ensino de Química em Foco**. Ijuí: Unijuí, p. 231-261, 2011.

VYGOTSKI, L. S. Pensamento e linguagem. Tradução Jefferson Luiz Camargo; revisão técnica José Cipolla Neto. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2005.

Recebido: 30 jun. 2021.

Aprovado: 05 out. 2024.

DOI: 10.3895/rbect.v17n1.14476

Como citar: ROCHA, M. C. F.; MORAES, M. C. Eletroforese de pó cerâmico de nióbio para abordar conceitos de eletroquímica. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 17, p. 1-18, 2024. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/14476>>. Acesso em: XX.

Correspondência: Mirele Cristina Furlan Rocha - mirelefurlan@gmail.com

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

