

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE QUÍMICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL

NATALIA CRISTINA PEREZ DA SILVA LOPES

**A EXPERIMENTAÇÃO EM ELETROQUÍMICA COMO ESTRATÉGIA
PEDAGÓGICA PARA CONTRIBUIR NA FORMAÇÃO DO PENSAMENTO
SUSTENTÁVEL NO ENSINO MÉDIO.**

RIO DE JANEIRO

2026

Natalia Cristina Perez da Silva Lopes

A EXPERIMENTAÇÃO EM ELETROQUÍMICA COMO ESTRATÉGIA PEDAGÓGICA
PARA CONTRIBUIR NA FORMAÇÃO DO PENSAMENTO SUSTENTÁVEL NO
ENSINO MÉDIO.

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado Profissional em Química em Rede
Nacional, da Universidade Federal do Rio de
Janeiro, como parte dos requisitos necessários a
obtenção do título de mestre em Ciências.

Orientadoras: Prof.^a Angela Sanches Rocha

Prof.^a Priscila Tamiasso-Martinhon

Prof.^a Célia Regina Sousa da Silva

RIO DE JANEIRO

2026

CIP - Catalogação na Publicação

L864e Lopes, natalia cristina Perez da Silva
A EXPERIMENTAÇÃO EM ELETROQUÍMICA COMO ESTRATÉGIA
PEDAGÓGICA PARA CONTRIBUIR NA FORMAÇÃO DO PENSAMENTO
SUSTENTÁVEL NO ENSINO MÉDIO. / natalia cristina
Perez da Silva Lopes. -- Rio de Janeiro, 2026.
92 f.

Orientadora: Angela Sanches Rocha.
Coorientadora: Priscila Tamiasso-Martinhon.
Trabalho de conclusão de curso (especialização) -
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto
de Química, Ensino de Química, 2026.

1. cidadão crítico. 2. meio ambiente. 3.
experimentacao. 4. ensino de Química. I. Sanches
Rocha, Angela , orient. II. Tamiasso-Martinhon,
Priscila , coorient. III. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a), sob a responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

NATALIA CRISTINA PEREZ DA SILVA LOPES

A experimentação em eletroquímica como estratégia pedagógica para contribuir na formação do pensamento sustentável no Ensino Médio

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários a obtenção do título de mestre em Ciências.

BANCA AVALIADORA

Prof^ª. Angela Sanches Rocha
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Prof^ª. Priscila Tamiasso-Martinhon
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof^ª. Célia Regina Sousa da Silva
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof^ª. Elizabeth Teixeira de Souza
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof^ª. Victor Oliveira Rodrigues
Universidade Federal do Rio de Janeiro

A Deus, que me sustentou e me deu forças em cada etapa da minha trajetória, e à minha família, meu alicerce, por todo o amor, apoio e suporte que me acompanharam ao longo de toda a vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo de toda essa caminhada, sustentando-me nos momentos de cansaço e incerteza e permitindo que este trabalho fosse concluído.

À minha família, expresso minha profunda gratidão pelo apoio incondicional, pela compreensão e pelo incentivo constante. Em especial, agradeço ao meu filho, de apenas seis anos, que, mesmo sem compreender plenamente a dimensão desse percurso, tantas vezes me aguardou acordado para dormir ou teve paciência enquanto eu estudava antes de colocá-lo na cama. Sua presença e seu amor foram fonte diária de motivação.

Às minhas orientadoras, Profa. Dra. Angela Sanches Rocha, Profa. Dra Priscila Tamiasso e Profa. Dra Célia Regina Sousa da Silva, agradeço imensamente pelas valiosas contribuições, pelas sugestões criteriosas e pela paciência ao longo do desenvolvimento desta dissertação. Suas orientações foram fundamentais para o amadurecimento acadêmico e científico deste trabalho.

À minha turma de mestrado, composta por pessoas incríveis, deixo meu sincero agradecimento pela parceria, pelas trocas de experiências e pelo apoio mútuo ao longo dos últimos dois anos. A convivência, o auxílio nos trabalhos e o incentivo em cada apresentação tornaram essa trajetória mais leve e significativa.

Ao corpo docente do programa, agradeço por cada ensinamento compartilhado, pela dedicação à formação de profissionais críticos e comprometidos com a educação e pela contribuição inestimável para minha formação acadêmica.

Por fim, agradeço à Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e ao Programa de Mestrado Profissional em Química (PROFQUI) pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional, e por possibilitarem a realização desta pesquisa, reafirmando o papel da universidade pública na produção do conhecimento e na transformação social.

“A educação é um ato de amor, por isso um ato de coragem.”

Paulo Freire.

RESUMO

LOPES, Natália Cristina Perez da Silva. **A experimentação em eletroquímica como estratégia pedagógica para contribuir na formação do pensamento sustentável no Ensino Médio.** Rio de Janeiro, 2026. Dissertação (Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2026.

O descarte inadequado de pilhas é um problema ambiental de grande magnitude, com impactos diretos sobre a saúde pública e o meio ambiente. Estima-se que, anualmente, mais de 20 mil toneladas de pilhas e baterias sejam descartadas de maneira incorreta no Brasil. Esse tipo de descarte impróprio é uma das principais fontes de poluição ambiental e apresenta sérios riscos à saúde humana, especialmente em áreas urbanas e em comunidades mais vulneráveis. O estudo é realizado com foco na cidade de Maricá, onde se analisa o impacto ambiental gerado por pilhas descartadas de maneira imprópria, bem como as consequências para a saúde pública, considerando a liberação de metais pesados. A pesquisa também enfatiza a importância de integrar temas de sustentabilidade e educação ambiental ao ensino de química no nível médio, por meio de experimentos realizados em sala de aula que utilizam materiais recicláveis provenientes de pilhas descartadas. Os experimentos foram planejados para promover aulas lúdicas e interativas, nas quais os alunos poderiam observar, na prática, os processos químicos e físicos relacionados ao descarte e à reciclagem de pilhas. Essas atividades estimularam a divulgação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os ODS 12 e 13, conectando os conteúdos curriculares com questões globais de sustentabilidade e responsabilidade ambiental. O trabalho apresenta uma metodologia inovadora, pois além de incluir a realização de aulas práticas, em uma escola localizada em Maricá, foi realizada a observação dos efeitos eletroquímicos do descarte inadequado de pilhas em soluções salinas, destacando os impactos ambientais e promovendo uma reflexão crítica sobre o ciclo de vida desses materiais. A dissertação conclui que o uso de experimentação prática é uma estratégia eficaz para integrar a educação ambiental ao ensino de química, conscientizando os alunos sobre a necessidade de atitudes responsáveis em relação ao descarte de pilhas e ao cuidado com o meio ambiente.

Palavras-chave: Experimentos, Pilha, Reciclagem

ABSTRACT

LOPES, Natalia Cristina Perez da Silva. **Experimentation in electrochemistry as a pedagogical strategy to contribute to the development of sustainable thinking in high school.** Rio de Janeiro, 2026. Dissertation (Professional Master's Degree in Chemistry in National Network) - Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2026.

The improper disposal of batteries is a major environmental issue, with direct impacts on public health and the environment. It is estimated that more than 20 thousand tons of batteries and accumulators are improperly discarded annually in Brazil. This type of improper disposal is one of the main sources of environmental pollution and poses serious risks to human health, especially in urban areas and vulnerable communities. The study focuses on the city of Maricá, where the environmental impact caused by improperly discarded batteries is analyzed, as well as the consequences for public health, considering the release of heavy metals. The research also emphasizes the importance of integrating sustainability and environmental education topics into high school chemistry teaching, through classroom experiments using recyclable materials from discarded batteries. The experiments were designed to promote playful and interactive lessons, where students could observe, in practice, the chemical and physical processes related to the disposal and recycling of batteries. These activities stimulated the dissemination of the Sustainable Development Goals (SDGs), especially SDG 12 and 13, connecting the curriculum content with global sustainability and environmental responsibility issues. The work presents an innovative methodology, as in addition to practical lessons in a school located in Maricá, the electrochemical effects of improper battery disposal in saline solutions were observed, highlighting the environmental impacts and promoting critical reflection on the life cycle of these materials. The dissertation concludes that the use of practical experimentation is an effective strategy to integrate environmental education into chemistry teaching, raising awareness among students about the need for responsible attitudes regarding battery disposal and environmental care.

Palavras-chave: Experiments, Battery, Recycling

PRELÚDIO

Nasci no Rio de Janeiro, em 11 de março de 1990, cidade onde também vivi toda a minha trajetória de educação básica. Foi ali que construí minhas primeiras referências de mundo, de estudo e de futuro. Fiz todo o Ensino Fundamental em escola pública, e essa vivência foi determinante para a forma como passei a enxergar a educação: como um espaço real, diverso, por vezes desafiador, mas capaz de transformar caminhos. Já o Ensino Médio cursei em uma escola privada, localizada no bairro do meu pai, na Praça Seca, Rio de Janeiro. Foi um período muito marcante da minha vida, não apenas pelo avanço nos estudos, mas também pela intensidade das experiências que vivi com meus colegas. Ali, fiz amizades que carrego até hoje, e guardo lembranças de momentos que ajudaram a moldar quem me tornei.

Em relação aos estudos, nunca fui do tipo que entendia tudo de primeira. Sempre precisei ser muito esforçada. Muitas vezes sentia que precisava de mais tempo, de mais repetição e de mais prática para realmente compreender o conteúdo. Ainda assim, me percebia com uma facilidade maior nas Ciências da Natureza e, ao mesmo tempo, com muita dificuldade em Linguagens e nas áreas de Humanidades. Eu costumava a sair melhor quando o assunto envolvia lógica, fenômenos, explicações sobre o mundo físico e natural. Isso, de certo modo, já indicava a direção que minha trajetória poderia seguir, mesmo que eu ainda não soubesse disso com clareza.

Depois de concluir o Ensino Médio, fiz um pré-vestibular e fui aprovada para Enfermagem na UFF, no campus de Rio das Ostras, então me mudei para lá e vivi dois anos intensos, dividindo a rotina com amigas da mesma turma. Foram anos de crescimento, de amadurecimento, de descobertas e de experiências inesquecíveis. Apreendi muito sobre convivência, autonomia e responsabilidade. No entanto, quando começaram as práticas, fui percebendo, aos poucos, que não era naquela área em que me via construindo uma carreira. Houve um momento que foi decisivo: em uma visita guiada ao Hospital da UFF, situado em Niterói, o contato direto com a realidade do cuidado — ver sangue, ouvir gemidos de dor, presenciar o sofrimento de forma tão concreta — me causou um desconforto profundo. Aquilo me atingiu de um jeito que eu não consegui ignorar. Foi quando entendi, com honestidade, que não seria feliz seguindo por aquele caminho.

Voltei, então, para o Rio de Janeiro e decidi recomeçar. Entrei novamente em um pré-vestibular e, ao final daquele ano, fui aprovada para Química na UERJ. Essa escolha teve um motivo muito particular: eu carregava uma admiração enorme por um professor de Química que tive. Eu o via como alguém que lecionava de forma brilhante, com uma didática

impecável, e que tornava o conteúdo claro, vivo e interessante. Ele me inspirava profundamente. E eu passei a desejar, de verdade, que um dia eu pudesse ser, para meus alunos, algo semelhante ao que ele foi para mim.

Logo no segundo período, comecei a trabalhar como monitora, e esse foi um ponto de virada. Quanto mais eu ensinava, mais eu me reconhecia naquele papel. Eu fui aceitando dar monitorias em diferentes instituições privadas e, aos poucos, o trabalho foi ocupando um espaço grande na minha rotina. Por um lado, isso me fortaleceu como professora: eu ganhei confiança, aprendi a explicar, a ouvir, a adaptar a linguagem e a lidar com dificuldades reais dos alunos. Por outro lado, essa dedicação à prática acabou impactando meu percurso na graduação. Eu não consegui me dedicar à faculdade como imaginava. Reprovei algumas matérias, tranquei outras, e precisei reorganizar meu caminho mais de uma vez. Mesmo assim, segui em frente e consegui concluir a graduação em seis anos e meio, atravessando, nesse percurso, uma greve de dez meses, que também afetou o ritmo do curso e exigiu ainda mais perseverança.

Ao final da faculdade, vivi um dos momentos mais importantes da minha vida: eu engravidai. Ainda assim, consegui concluir as disciplinas e finalizar essa etapa, e quando chegou o momento da defesa eu já tinha comigo a realização de um sonho — meu maior sonho — nos meus braços, meu filho. Depois da formatura, me dediquei intensamente à maternidade, mas nunca deixei de trabalhar. Eu apenas reduzi o ritmo. Diminuí minha carga horária nas escolas e passei um período atuando meio período, equilibrando, como pude, as exigências da vida profissional e a presença que eu desejava ter em casa.

Mesmo com essa reorganização, eu sempre refletia sobre o meu futuro, e sentia que não queria ficar apenas com a graduação. Eu queria continuar aprendendo, me aprofundar, crescer, viver novas experiências e construir um caminho profissional mais sólido. Foi nesse movimento que fiz uma pós-graduação online em Gestão Escolar pela USP, buscando ampliar meu olhar sobre educação para além da sala de aula. E, após concluir essa etapa, decidi iniciar o mestrado acadêmico, com o objetivo de aprofundar meus conhecimentos, ampliar minha formação e também me preparar para, futuramente, buscar um concurso, sem abrir mão daquilo que sempre me moveu: a vontade de ensinar com sentido, com presença e com transformação.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Esquema genérico de uma célula eletroquímica.....	43
Figura 2 - Pilha em funcionamento.....	44
Figura 3 Representação do potencial para o eletrodo de Zinco.....	51
Figura 4 - Representação do potencial para o eletrodo de Cádmio.....	51
Figura 5 - Tabela de potencial padrão de redução.....	52
Figura 6 - Abertura de uma pilha alcalina.....	71
Figura 7 - Eletrodo de grafite extraído da pilha em estudo.....	72
Figura 8 - Eletrodo de Zinco, extraído da pilha em estudo.....	73
Figura 9 - Solução de Sulfato de Cobre.....	74
Figura 10 - Montagem de uma pilha eletroquímica, sem a ponte salina.....	75
Figura 11 - Dois chumaços de algodão embebidos com a solução de KCl no vidro em formato de U.....	77
Figura 12 - Eletrodos conectados as garras de jacaré.....	78
Figura 13 - Realização do experimento de medida de ddp da pilha de Daniell em sala de aula.....	80

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
EA	Educação Ambiental
EM	Ensino Médio
MAA	Metodologias Ativas de Aprendizagem
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
SD	Sequência Didática
IUPAC	Uniao Internacional de Química Pura e Aplicada
EDS	Educação para o Desenvolvimento Sustentável

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Informações comparativas das células galvânicas e eletrolíticas
----------	---

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	18
1.1 JUSTIFICATIVA.....	21
1.2 OBJETIVOS.....	21
1.2.1 Objetivo Geral.....	21
1.2.2 Objetivos Específicos.....	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
2.1 REFERENCIAIS TEÓRICOS EPISTEMOLÓGICOS.....	24
2.2 METODOLOGIAS ATIVAS DE APRENDIZAGEM.....	29
2.3 OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	30
2.4 IMPACTOS AMBIENTAIS E SANITÁRIOS DO DESCARTE INCORRETO DE PILHAS	31
2.5 A ECONOMIA CIRCULAR NO CICLO DE VIDA DE PILHAS.....	34
2.6 DIRETRIZES E LEGISLAÇÕES SOBRE O DESCARTE CORRETO DE PILHAS NO BRASIL.....	36
2.7 FUNDAMENTOS BÁSICOS DA ELETROQUÍMICA.....	39
2.7.1 Aspectos históricos.....	39
2.7.2 Células Galvânicas e Eletrolíticas.....	42
2.7.3 Ponte salina.....	
2.7.4 Reações de oxirredução.....	48
2.7.5 Potencial de uma célula eletroquímica.....	49
2.7.6 Tipos de pilhas.....	53
2.7.7 Materiais das pilhas que podem ser reciclados e reutilizados.....	53
3 METODOLOGIA.....	69

3.1	SEQUÊNCIA DIDÁTICA APLICADA.....	62
3.1.1	Primeiro encontro.....	63
3.1.2	Segundo encontro.....	65
3.1.3	Terceiro encontro.....	66
3.2	SELEÇÃO E VALIDAÇÃO DOS EXPERIMENTOS PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO.....	68
3.3	EXPANSÃO DO EXPERIMENTO DA PILHA DE DANIELL E POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO	71
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
4.1	ENSAIOS PRELIMINARES.....	72
4.2	PREPARO DAS SOLUÇÕES E MONTAGEM DA PONTE SALINA.....	74
4.3	EXPERIMENTAÇÃO EM SALA DE AULA COMO ESTRATÉGIA PARA O ENSINO DE ELETROQUÍMICA.....	80
4.4	GANHOS COGNITIVOS DA PRÁTICA DENTRO DE SALA DE AULA.....	84
4.5	O DOCENTE FRENTE À EDUCAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL COM ENFOQUE NAS ODS.....	85
4.6	DA PROBLEMATIZAÇÃO À AÇÃO LOCAL: PARTICIPAÇÃO DISCENTE E ODS EM UMA AULA SOBRE PILHAS E RESÍDUOS	86
4.7	O DOCENTE COMO MEDIADOR NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM.....	88
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	90
	REFERÊNCIAS.....	92
	APÊNDICE A – ROTEIRO DOS EXPERIMENTOS.....	97
	APÊNDICE B – PLANO DE AULA.....	9

INTRODUÇÃO

O ensino de Química passou por transformações significativas na forma como é ministrado, de modo que é possível perceber que os professores contemporâneos buscam métodos que auxiliam os alunos a compreenderem as conexões entre a química e as situações presentes em seu cotidiano. De acordo com Nascimento e colaboradores (2010), essas mudanças no ensino de ciências estão diretamente ligadas ao avanço científico e tecnológico no mundo, com reflexos específicos no Brasil. Nesse contexto, torna-se essencial incorporar metodologias baseadas em tendências pedagógicas inovadoras. Muito se discutiu sobre essas novas metodologias desenvolvidas para o Ensino de Química no nível médio e nas expectativas em torno de seus resultados. As propostas geralmente enfatizam a necessidade de atividades que promovam a formação cidadã, conectando o conhecimento prévio dos alunos aos conteúdos envolvidos na sala de aula. Essa abordagem parte de situações concretas para facilitar a construção de relações com conceitos abstratos. Uma questão central é como trabalhar com temas que dialogam com os conhecimentos prévios dos alunos.

Nesse sentido, os temas geradores oferecem uma solução interessante para suplantarmos esse desafio, pois estão fundamentados no princípio da teoria dialética do conhecimento. De acordo com Freire (1987), o diálogo é essencial para a comunicação, e sem comunicação não há verdadeira educação. A capacidade de transformar a realidade de um indivíduo está diretamente vinculada à eficácia na comunicação entre as partes envolvidas. Freire (1987) explica que os temas são denominados geradores porque, independentemente de como são compreendidos ou das ações que suscitam, possuem uma capacidade intrínseca de se desdobrar em novos temas, promovendo tarefas subsequentes que precisam ser realizadas.

Esses temas apresentam relevância significativa, pois são escolhidos para o desenvolvimento do conhecimento e de valores que favorecem uma interação mais profunda dos alunos com o mundo que os cerca, além de fomentar a contextualização durante o processo de aprendizagem. Contudo, a seleção do tema gerador deve ser realizada com base na realidade do estudante, facilitando a reflexão crítica sobre o conteúdo em discussão.

Moura e Moretti (2003) destacam que a aprendizagem ocorre de maneira eficaz quando o aluno é capaz de estabelecer relações coerentes entre seus conhecimentos, notícias e os novos saberes apresentados.

Tratando de conteúdo do currículo básico, pode-se destacar a eletroquímica como uma área básica da química, com aplicações diretas em fenômenos do cotidiano, como o

funcionamento de pilhas e baterias, a galvanoplastia e os processos de corrosão. Apesar de sua relevância, muitos trabalhos na literatura tratam do tema de forma fragmentada, evidenciando a carência de uma sistematização que permita a compreensão integrada dos conteúdos e a aplicação desses conhecimentos no ensino médio. Essa lacuna desafia a educação em química a propor abordagens didáticas que conectem teoria e prática, promovendo um aprendizado significativo.

A eletroquímica também desempenha um papel importante na formação de estudantes como cidadãos conscientes, pois aparatos eletroquímicos tem caráter danoso significativo ao meio ambiente. A compreensão de conceitos como reatividade química, transferência de elétrons e energia elétrica não só amplia o entendimento científico, mas também permite que os alunos percebam a relevância desse conhecimento para o mundo à sua volta. Por exemplo, a discussão sobre o descarte correto de pilhas, um resíduo com potencial de contaminação ambiental, oferece um contexto prático e interdisciplinar para abordar questões de educação ambiental e sustentabilidade.

Sendo assim, é possível dizer que a interdisciplinaridade é fundamental para conectar os conceitos da eletroquímica com áreas como biologia, física e ciências ambientais. Essa abordagem integradora possibilita aos estudantes enxergarem as aplicações da química em problemas reais, como a produção de energia limpa, o impacto ambiental de descartes inadequados e o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis (Matias; Do Nascimento; Sales, 2017; Da Cunha, 2012). Por meio dessa articulação, a eletroquímica deixa de ser um conteúdo isolado e passa a contribuir para uma visão sistêmica dos desafios contemporâneos.

Um dos principais desafios no ensino de eletroquímica é a carência de laboratórios escolares bem equipados, o que dificulta a realização de experiências que aproximem o conteúdo abstrato do concreto (Salesse, 2012). Nesse contexto, trazer experimentos para a sala de aula é uma estratégia valiosa para facilitar a compreensão dos conceitos e engajar os alunos.

Hélder Eterno da Silveira, no prefácio do livro “Vamos ao Laboratório?” (Zelada, Aidar, 2016), ao falar do Ensino Médio, enfatiza a importância de aulas práticas e reflete que a experimentação, mais que uma ferramenta didática, deve ser elevada como ferramenta necessária para as aulas de Química. Giordan (1999) trata os problemas do ensino da Química explicitando os fundamentos teóricos e reconhece que a experimentação desperta nos alunos fortes interesses pelos conteúdos ensinados; salienta depoimentos de alunos que atribuem à experimentação um caráter motivador, lúdico, e essencialmente vinculados aos sentidos.

A realização de atividades práticas, como a construção de pilhas caseiras ou a observação de reações de oxirredução, permite que os estudantes visualizem os processos químicos e estabeleçam conexões entre o que aprendem e o que vivenciam.

Por fim, a discussão sobre o descarte correto de pilhas é especialmente relevante no contexto da educação ambiental. A conscientização sobre os impactos negativos do descarte inadequado desses materiais e a promoção de práticas sustentáveis podem contribuir para a formação de uma geração mais comprometida com a preservação ambiental. Assim, integrar a eletroquímica ao ensino não é apenas uma forma de enriquecer o currículo escolar, mas também uma oportunidade de engajar os estudantes em questões cruciais para o futuro da sociedade e do planeta.

Sendo assim, este estudo baseia-se na proposta, validação e aplicação de experimentos de eletroquímica, especificamente pilhas, utilizando componentes de pilhas comerciais do tipo AA, no sentido de reaproveitar estes materiais, apresentando aos alunos os conceitos de eletroquímica, os perigos do descarte inadequado de pilhas usadas e a importância da sustentabilidade ao se reutilizar pilhas que seriam descartadas.

1.1 JUSTIFICATIVA

Este trabalho tem como principal motivação e justificativa esta nova geração de estudantes, que, conectados digitalmente, desafiam constantemente os professores a buscar novas estratégias de ensino. O rápido e fácil acesso às informações tem tomado a atenção dos jovens, que ficam cada vez mais ligados às tecnologias, de maneira que o ensino formal muitas vezes não é tão interessante quanto os conteúdos da grande rede. Sendo assim é urgente que se busque estratégias motivadoras para abordar os conteúdos curriculares nas escolas. Como a química é uma ciência fenomenológica e, ao mesmo tempo, recorre a modelos abstratos para explicar as transformações da matéria, o uso de experimentos como ferramenta pedagógica pode ser motivadora e diminuir a abstração.

Ademais, os problemas ambientais emergentes da sociedade contemporânea tornam urgente que se aumente a conscientização em relação aos impactos humanos no meio ambiente. É importante não só mitigar os problemas existentes como também mudar os

hábitos das pessoas e a forma com que se relacionam com a natureza. Sendo assim, é essencial que a escola contribua para estas mudanças de paradigma, o que passa pela promoção da educação ambiental, o que pode ser realizado por diferentes formas, mas as atividades devem ser elaboradas de forma intencional. O meio ambiente é um tema transversal que deve ser abordado por todos os professores, independentemente da disciplina e do nível de escolaridade, por isso a abordagem deste tema é pautada na legislação brasileira.

O conteúdo de eletroquímica faz parte do conteúdo curricular e pode ser abordado utilizando atividades experimentais e de modo a promover a educação ambiental e promover a prática da sustentabilidade.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste estudo se pautam no potencial do uso de experimentos como abordagem lúdica para facilitar a compreensão e melhorar a aprendizagem dos alunos promovendo a educação ambiental.

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver e implementar experimentos de eletroquímica viáveis para alunos do Ensino Médio, utilizando componentes recicláveis de pilhas, com foco na sustentabilidade e alinhados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

1.2.2 Objetivos Específicos

- Propor estratégias em que o docente seja um mediador do processo de ensino e aprendizagem por meio da experimentação em eletroquímica.
- Oferecer roteiros implementados de experimentos sobre eletroquímica que possam ser utilizados em sala de aula para alunos do 2º ano do EM, usando componentes reciclados de pilhas.

- Realizar o levantamento dos processos de reciclagem de pilhas na região metropolitana do Rio de Janeiro.
- Promover a educação ambiental de qualidade e a conscientização sobre a sustentabilidade no ensino de Química, com foco na prática de reciclagem de pilhas e baterias.
- Incentivar a adoção de práticas responsáveis de consumo e produção, destacando a importância da reciclagem e do descarte correto de pilhas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTOS TEÓRICOS

O tema discutido neste trabalho está alinhado com as diretrizes das Bases Nacionais Comuns Curriculares (BNCC), que enfatizam a importância de envolver os alunos nos conceitos relacionados à energia. Assim, o entendimento dos processos ocorridos na conversão de energia química em energia elétrica e a experimentação para uma aula de eletroquímica, pode contribuir significativamente para uma melhor compreensão do tema, além de promover uma nova perspectiva sobre o fazer ciência, tanto para os discentes quanto para os docentes.

Neste estudo, utilizamos como base três referenciais teóricos: Anísio Spínola Teixeira, Peter Atkins e Paulo Freire.

2.1 REFERENCIAIS TEÓRICOS EPISTEMOLÓGICOS

Anísio Spínola Teixeira (1900-1971) é amplamente reconhecido como um dos mais importantes educadores e pensadores brasileiros. Sua trajetória está intrinsecamente ligada ao desenvolvimento de uma educação pública, gratuita, laica e de qualidade, alicerçada em princípios democráticos.

Ele argumentava que o Estado tinha o dever de oferecer uma educação pública e gratuita, desvinculada de interesses religiosos ou ideológicos, e essa era a condição básica para garantir a universalidade e a inclusão no acesso à educação. Anísio Teixeira trouxe para o Brasil uma visão inovadora da educação, adaptando-a às demandas e às peculiaridades do contexto brasileiro. Uma das maiores preocupações de Anísio era garantir o acesso universal e igualitário à educação. Ele defendia que a educação deveria ser um direito básico de todos os cidadãos, independentemente de sua classe social, cor ou religião. Esse princípio foi determinante para sua atuação como gestor público, particularmente no período em que esteve à frente de reformas educacionais no estado da Bahia e no Rio de Janeiro.

Teixeira entendia a escola como um microcosmo da sociedade, onde princípios democráticos deveriam ser vivenciados e praticados. Ele rejeitava modelos autoritários de educação, defendendo que o ambiente escolar deveria ser um local de participação ativa, onde professores e alunos dialogassem e colaborassem na construção do conhecimento, sendo uma experiência essencial para a formação de cidadãos críticos e engajados, e ainda defendia que o aprendizado se dá por meio da experiência, acreditando que o aluno devesse ser protagonista de sua própria formação, aprendendo a partir da resolução de problemas reais e da interação

com o mundo ao seu redor. Essa abordagem colocava em xeque os modelos tradicionais e conteudistas de ensino, propondo uma educação ativa e criativa.

Na obra *Educação é um Direito* (1952), Anísio discute a educação como um direito fundamental de todos os cidadãos, ressaltando o papel do Estado na garantia de uma educação pública, gratuita e de qualidade. Ele aborda as desigualdades educacionais no Brasil e propõe soluções para superar essas barreiras. Em 2021, na *Revista princípios*, foi publicado um artigo: *Pelo olhar de Anísio Teixeira, um ensaio sobre educação e nacional-desenvolvimentismo*, onde o autor novamente reafirma em suas obras a importância do papel do Estado na garantia de uma educação de qualidade, inserindo o cotidiano dos alunos em conteúdos abstratos, através da experimentação, por exemplo.

Um referencial teórico utilizado na área da química é o livro “*Princípios da Química*” de Peter Atkins e Loretta Jones. Esta obra é uma referência fundamental para o estudo de diversos tópicos em química, sobretudo eletroquímica, contendo os tópicos: pilhas, eletrolise, tipos de eletrodos, lei da condutância e corrosão. O livro é conhecido por sua abordagem clara e didática, sendo um recurso essencial para estudantes e pesquisadores da área.

Um referencial teórico sólido para a Educação Ambiental é fundamental para orientar práticas pedagógicas eficazes que promovam a conscientização, a reflexão crítica e a ação transformadora dos estudantes em relação ao meio ambiente, e Paulo Freire possuía uma abordagem crítica e emancipadora da educação que pode ser aplicada a educação ambiental, promovendo a conscientização crítica dos alunos sobre sua relação com o meio ambiente e a sociedade. A educação ambiental, nessa perspectiva, visa empoderar os indivíduos a entenderem os problemas ambientais em suas dimensões sociais, políticas e econômicas.

Embora Paulo Freire não tenha escrito diretamente sobre educação ambiental, seus princípios pedagógicos têm sido amplamente aplicados a essa área por muitos educadores. A pedagogia crítica de Freire, focada na conscientização e na transformação social, oferece um fundamento teórico poderoso para a educação ambiental e há alguns trabalhos que dialoguem com a temática ambiental, como a obra, publicada em 1968, *a Pedagogia do Oprimido* (Freire, 1968), no qual ela não é especificamente sobre educação ambiental, porém ela estabelece a base da conscientização crítica, um conceito central na educação ambiental. Freire defende que a educação deve levar as pessoas a questionarem suas realidades e as estruturas opressivas. No contexto da educação ambiental, isso se traduz em capacitar os alunos a

reconhecerem e agirem sobre questões ambientais e de justiça social (Gadotti, 1994; McLaren, 2000).

Em 1971 escreveu um livro: *Extensão ou Comunicação?* - Neste livro, Freire explora a diferença entre "extensão" (uma prática impositiva) e "comunicação" (um diálogo horizontal). No âmbito da educação ambiental, isso reforça a importância de um diálogo participativo, onde os alunos e as comunidades colaboram ativamente na construção de conhecimento sobre o meio ambiente.

Muitos educadores ambientais aplicam os conceitos de Freire para incentivar a consciência ecológica crítica. Carlos Rodrigues Brandao, em sua obra *Pedagogia da terra* (2004), aplica a pedagogia freiriana ao contexto da educação ambiental. Em *Pedagogia da Terra*, ele propõe que a educação ambiental deve ser crítica e transformadora, ajudando os alunos a perceberem e agirem sobre as desigualdades socioambientais. Miguel Arroyo, em sua obra *Educação e Meio Ambiente: Reflexões e Perspectivas* (2002), também influenciado por Freire, explora a relação entre educação e questões ambientais, destacando a importância da conscientização crítica sobre o meio ambiente e a justiça social. Ele propõe que a educação ambiental deve envolver os alunos de maneira participativa e crítica, em alinhamento com a pedagogia freiriana. A partir da influência dos ideais de Paulo Freire, diversas práticas educativas foram adotadas, tanto em contextos educacionais formais quanto informais, com o objetivo de promover o engajamento crítico e a transformação social e ambiental, incluindo mudanças sustentáveis, como a educação popular e participativa, que visa dar voz aos grupos historicamente marginalizados, como trabalhadores, comunidades rurais e populações em situação de vulnerabilidade (Freire, 1968; Brandao, 2004). Nesse modelo, a educação não é vista como um processo unidirecional (do professor para o aluno), mas como um diálogo constante entre educadores e educandos (Freire, 1968). A partir dessa perspectiva, as práticas educativas se focam em envolver os alunos de maneira ativa, permitindo que eles se tornem sujeitos do processo de aprendizagem e transformação (Gadotti, 2005; Moura, 2006).

Eles utilizam o diálogo e a reflexão como ferramentas para envolver os estudantes nas questões ambientais, levando-os a uma compreensão mais profunda das causas e consequências dos problemas ecológicos e incentivando a ação transformadora.

Outra prática educativa adotada é a conscientização crítica e reflexão sobre a realidade, onde Freire enfatiza a necessidade de desenvolver a conscientização crítica (ou consciência crítica), que leva os indivíduos a refletirem sobre sua realidade e a entender as causas das opressões que enfrentam. Esse processo é essencial para a educação ambiental,

pois permite que os estudantes compreendam as relações entre problemas sociais, ambientais e econômicos e reconheçam seu papel na transformação dessas questões (Freire, 1968; Brandao, 2004). Em educação ambiental, por exemplo, as práticas baseadas em Freire incluem a análise crítica dos problemas ambientais locais, como poluição, degradação dos recursos naturais e mudanças climáticas, contextualizando-os nas questões sociais e econômicas da comunidade. Atividades como análises de campo, painéis de discussão, audiências públicas e oficinas de resolução de problemas buscam envolver os alunos de forma ativa na identificação de soluções e no engajamento para a mudança.

A pedagogia do diálogo, um dos pilares do pensamento de Paulo Freire, é fundamental na promoção de práticas educativas inclusivas e participativas. Freire propôs que o educador e o educando estivessem em um diálogo constante, reconhecendo a experiência do aluno como ponto de partida para a aprendizagem. Na prática educativa voltada para a sustentabilidade, o diálogo é usado para construir o conhecimento coletivamente. Em projetos de educação ambiental, por exemplo, os educadores não impõem conteúdos prontos, mas abrem espaço para que os alunos compartilhem suas experiências e conhecimentos sobre o meio ambiente, levando à construção de soluções colaborativas e mais eficazes para os desafios socioambientais (Gadotti, 2005; Moura, 2006)..

Outro aspecto importante da obra de Paulo Freire é o incentivo à educação em rede, que envolve a colaboração entre diferentes grupos e indivíduos. Essa prática também é essencial para promover mudanças sustentáveis, pois permite que os alunos e educadores trabalhem juntos em redes de solidariedade e ação. Movimentos sociais, como o Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST) e outros coletivos populares, adotaram os princípios freirianos para a educação ambiental. As práticas educativas nesses contextos muitas vezes incluem formação política e ambiental em conjunto com a luta por justiça social e direitos humanos, criando uma rede de aprendizado e ação para transformar a realidade ambiental e social.

As práticas educativas inspiradas por Paulo Freire são fundamentais para promover um engajamento crítico com as questões sociais e ambientais e para gerar mudanças sustentáveis. Através da educação popular, do diálogo, da conscientização crítica e da ação transformadora, é possível não só ensinar sobre o meio ambiente, mas também gerar uma mudança real e duradoura nas comunidades. O foco está em tornar os educandos sujeitos ativos no processo de transformação, com a capacidade de influenciar positivamente seu

entorno e de atuar como agentes de mudança na construção de um futuro mais justo e sustentável.

Os referenciais teóricos justificam o uso das metodologias ativas, fornecendo uma base filosófica e psicológica que explica por que essas abordagens são eficazes. Por exemplo, teorias como o construtivismo de Piaget, a teoria sociointeracionista de Vygotsky e a pedagogia crítica de Paulo Freire servem de alicerce para as metodologias ativas, que defendem a aprendizagem ativa, a colaboração entre os alunos e a reflexão crítica sobre a realidade.

2.2 METODOLOGIAS ATIVAS DE APRENDIZAGEM

Metodologias ativas são abordagens pedagógicas que colocam o aluno no centro do processo de aprendizagem, promovendo uma participação mais ativa e autônoma em sua formação. Ao contrário do modelo tradicional, em que o professor é o centro do conhecimento e os alunos recebem passivamente as informações, as metodologias ativas incentivam os estudantes a se envolverem de forma crítica e reflexiva no aprendizado, desenvolvendo habilidades cognitivas, sociais e emocionais.

Essas metodologias se baseiam na ideia de que o aprendizado é mais eficaz quando o aluno constrói o seu próprio conhecimento, com o professor atuando como mediador do processo (Moran, 2015). Isso significa que, em vez de apenas ouvir e memorizar, o aluno deve ser envolvido ativamente na resolução de problemas, pesquisa e colaboração. Segundo Moran (2015), as metodologias ativas promovem uma aprendizagem mais profunda e significativa, ao estimular o pensamento crítico e a aplicação prática dos conceitos.

Essas abordagens pedagógicas oferecem vários benefícios, entre eles a melhoria do engajamento dos alunos e o aumento da retenção de conhecimento. Isso ocorre porque, ao serem mais envolvidos, os estudantes desenvolvem um entendimento mais profundo do conteúdo, além de habilidades de pensamento crítico e resolução de problemas (Gatti, 2018). Além disso, essas abordagens preparam os alunos para o mercado de trabalho, pois incentivam competências como colaboração, criatividade e comunicação. Em um contexto em que a educação está cada vez mais voltada para o desenvolvimento de habilidades para o século XXI, como o pensamento crítico, a inovação e a colaboração, as metodologias ativas se tornam essenciais. Elas alinham-se às novas exigências educacionais e preparam os alunos para os desafios do mercado de trabalho e da sociedade globalizada (Moran, 2015). Além disso, essas metodologias são altamente compatíveis com as necessidades de uma

educação inclusiva e de qualidade, pois permitem que todos os alunos participem ativamente do processo de aprendizagem.

Existem alguns trabalhos publicados no periódico Química Nova na Escola (Qnesc) no recorte temporal entre 2018 e 2024 sobre o tema metodologias ativas de aprendizagem. Para a seleção, foram analisados os títulos, resumos e palavras-chaves para fins de confirmação de quais textos tinham relação direta com a temática “metodologias ativas”, as palavras-chave usadas foram: Metodologias ativas, Eletroquímica, Práticas educativas e Experimentos.

Em 2018 foi publicado, O Jogo Educativo como Recurso Interdisciplinar no Ensino de Química, focado no uso de jogos pedagógicos como metodologia ativa, este artigo explora a eficácia de jogos no ensino de termoquímica, ajudando a promover uma aprendizagem mais dinâmica e interativa. E, no mesmo ano, foi publicado, Aprendizagem Ativo-Colaborativo-Interativa: Inter-relações e Experimentação Investigativa no Ensino de Eletroquímica, no qual tem-se como objetivo expor uma metodologia experimental investigativa, utilizando materiais de baixo custo para montagem de uma pilha bioquímica.

Os dois artigos buscam tornar o aprendizado mais interativo, dinâmico e colaborativo, mas cada um aborda um aspecto diferente dessa abordagem. Ambos os artigos compartilham a proposta de transformar a aprendizagem em uma experiência mais ativa, colaborativa e experimental, que foge do modelo tradicional de ensino expositivo. Eles buscam também engajar os alunos por meio de métodos que tornam a aprendizagem mais prática e envolvente, seja através de jogos ou da experimentação. Embora os contextos de aplicação (termoquímica e eletroquímica) sejam diferentes, ambos buscam promover uma compreensão mais profunda dos conteúdos químicos por meio de atividades que exigem do aluno a participação ativa, seja no planejamento de jogos ou no desenvolvimento de experimentos práticos.

Assim, a relação entre os dois artigos pode ser vista no compartilhamento da ideia central de transformar a educação de Química em uma experiência mais interativa e engajante, por meio de diferentes abordagens pedagógicas: jogos e experimentação prática. Ambos visam melhorar a aprendizagem, tornando-a mais significativa para os alunos.

Em 2020 foi publicado, Tecnologias digitais e metodologias ativas no ensino de química, no qual o artigo explora a aplicação de tecnologias digitais combinadas com metodologias ativas no ensino de ciências, com ênfase no ensino de química. O autor discutiu como ferramentas digitais como Kahoot! e Socrative pode ser usado para criar uma

aprendizagem mais envolvente e interativa para os estudantes. O outro artigo publicado, na mesma temática foi, Ensino de Eletroquímica: Avaliação da capacidade de escolha e do aprendizado obtido por alunos do 3º ano a partir de vídeo aulas no YouTube- Estudo de caso no IFMG- Campus Ouro Preto, onde o artigo avalia as escolhas de alunos do 3º ano do Ensino Médio, na busca de vídeo aulas sobre eletroquímica.

Em 2024 alguns artigos foram publicados como: Caça ao tesouro na escola: uma proposta de jogo para aulas de Química e Jogos e atividades lúdicas no ensino de Química: a experiência de planejar e implementar uma disciplina, no qual os trabalhos apresentaram em comum um desenvolvimento e implementação de jogos educativos, buscando um enriquecimento na formação de estudantes e professores.

2.3 OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são um conjunto de 17 objetivos globais estabelecidos pela Assembleia Geral das Nações Unidas em setembro de 2015. Eles fazem parte da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável, com o objetivo de enfrentar os maiores desafios globais, como a pobreza, a desigualdade e a degradação ambiental, de maneira integrada e sustentável até o ano de 2030, que leve em consideração as necessidades das gerações presentes, sem comprometer as oportunidades das gerações futuras (Nações Unidas, 2015). Eles representam uma abordagem holística para o desenvolvimento, reconhecendo que o progresso social e econômico não pode ocorrer sem a proteção ambiental. A Agenda 2030, ao estabelecer esses objetivos, reforça a ideia de que os desafios globais devem ser abordados de maneira integrada, envolvendo todos os países, independentemente de seu nível de desenvolvimento, e envolvendo a ação conjunta de governos, sociedade civil e setor privado.

Esses objetivos buscam promover o desenvolvimento em três dimensões principais: social, econômica e ambiental. Eles enfatizam a importância de um crescimento que beneficie toda a humanidade, respeitando o meio ambiente e combatendo as desigualdades. Cada um dos 17 ODS aborda áreas específicas de impacto, com 169 metas específicas que detalham as ações necessárias para alcançar esses objetivos. Alguns dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estão diretamente relacionados a esta pesquisa, em especial o ODS 3, ODS 6 e o ODS 12.

O descarte incorreto de pilhas representa uma ameaça significativa tanto para o meio ambiente quanto para a saúde pública. Pilhas contêm substâncias químicas tóxicas, como mercúrio, cádmio e chumbo, que, quando descartadas de forma inadequada, podem contaminar o solo, a água e o ar, comprometendo ecossistemas e gerando sérios riscos à saúde humana. Esse problema está diretamente relacionado a vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como o ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), que destaca a importância de evitar doenças e promover a saúde, o ODS 6 (Água Limpa e Saneamento), que busca garantir água de qualidade, e o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), que enfatiza a necessidade de um manejo adequado de resíduos e práticas sustentáveis. Além disso, os impactos do descarte incorreto de pilhas também afetam o ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima) e o ODS 15 (Vida Terrestre), uma vez que a poluição gerada pode contribuir para a degradação dos ecossistemas e a alteração dos processos naturais. Dessa forma, a gestão adequada desse tipo de resíduo é essencial para alcançar as metas da Agenda 2030, garantindo a proteção ambiental e a promoção da saúde e bem-estar para as gerações presentes e futuras.

2.4 IMPACTOS AMBIENTAIS E SANITÁRIOS DO DESCARTE INCORRETO DE PILHAS

O avanço tecnológico e a crescente dependência de dispositivos eletrônicos portáteis intensificaram o consumo de pilhas e baterias, tornando seu descarte um problema ambiental relevante. As pilhas são classificadas como resíduos perigosos devido à presença de metais pesados e substâncias químicas tóxicas, como mercúrio (Hg), cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni), manganês (Mn) e lítio (Li), que, quando descartados de forma inadequada, representam riscos significativos ao meio ambiente e à saúde humana (Baird; Cann, 2011).

O descarte incorreto de pilhas pode gerar vários danos ao meio ambiente, como, contaminação de solos e águas subterrâneas, além de ser prejudicial à fauna e flora locais. Os metais pesados presentes nas pilhas podem demorar décadas para se decompor, e suas substâncias tóxicas têm o potencial de ser absorvidas pelas plantas, integrando-se à cadeia alimentar. (Ribeiro et al., 2022; Reidler; Günther, 2002).

Pesquisas recentes apontam que, uma vez lixiviados no ambiente, esses metais pesados podem causar danos irreversíveis, afetando inclusive a saúde humana, como o Mercúrio, conhecido por seu efeito neurotóxico, esse elemento pode causar danos ao sistema nervoso central, levando a sintomas como tremores, distúrbios cognitivos e

emocionais, e, em casos graves, à morte. A exposição prolongada também está relacionada a danos renais e problemas cardiovasculares (Reidler; Günther, 2002). O Cádmio é classificado como um agente carcinogênico para humanos, afetando principalmente os pulmões e os rins. A exposição crônica pode resultar em disfunções renais graves, osteoporose e pressão alta. Além disso, o cádmio pode causar danos ao sistema respiratório, como enfisema e câncer de pulmão (Ribeiro et al., 2022). O chumbo é amplamente conhecido por causar danos ao desenvolvimento neurológico, especialmente em crianças, levando a dificuldades cognitivas, déficit de atenção e distúrbios comportamentais. Em adultos, a exposição ao chumbo pode causar hipertensão, problemas renais e anemia (Ribeiro et al., 2022). O níquel, frequentemente encontrado em pilhas recarregáveis, e está associado ao aumento do risco de câncer. Ele também pode causar lesões pulmonares, problemas respiratórios e dermatites (Reidler; Günther, 2002).

Do ponto de vista químico-ambiental, o descarte incorreto de pilhas em lixo comum favorece processos de corrosão e lixiviação. Em ambientes úmidos, especialmente em aterros sanitários mal impermeabilizados ou lixões a céu aberto, ocorre a liberação gradual de íons metálicos e eletrólitos para o solo e para os corpos d'água subterrâneos e superficiais. Esses contaminantes podem se dispersar no ambiente, alterar o pH do solo, comprometer a microbiota local e provocar a bioacumulação e biomagnificação na cadeia alimentar (Manahan, 2013).

A contaminação do solo e da água por metais pesados é particularmente preocupante, pois muitos desses elementos apresentam elevada toxicidade mesmo em baixas concentrações. O cádmio, por exemplo, pode causar danos renais e ósseos; o mercúrio afeta o sistema nervoso central; e o chumbo está associado a distúrbios neurológicos, especialmente em crianças. Esses efeitos reforçam o caráter sistêmico do problema, que extrapola a esfera ambiental e se insere no campo da saúde pública (WHO, 2017).

Além dos impactos ambientais e sanitários, o descarte inadequado de pilhas implica desperdício de recursos naturais estratégicos. Metais como zinco, manganês, níquel e lítio demandam processos minerários intensivos em energia, água e insumos químicos. Quando as pilhas não são encaminhadas para reciclagem, perde-se a possibilidade de reinserção desses materiais no ciclo produtivo, contrariando os princípios da economia circular e ampliando a pressão sobre a extração de matérias-primas (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

No contexto normativo, diversos países, incluindo o Brasil, reconhecem a necessidade de gestão adequada desses resíduos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e prevê a logística reversa de pilhas e baterias, atribuindo deveres a fabricantes, importadores, comerciantes, consumidores e ao poder público. No entanto, estudos indicam que a baixa conscientização da população e a limitada infraestrutura de coleta seletiva dificultam a efetiva implementação dessas diretrizes (Brasil, 2010; Abrelpe, 2023).

Sob a perspectiva educacional, o descarte incorreto de pilhas revela lacunas na alfabetização científica e ambiental. A ausência de compreensão sobre a composição química desses dispositivos e sobre as consequências de seu descarte inadequado contribui para práticas cotidianas ambientalmente insustentáveis. Assim, o ensino de Química assume papel estratégico ao possibilitar a contextualização de conteúdos como oxirredução, eletrólitos, metais pesados e toxicidade, articulando conceitos científicos a problemas socioambientais reais e favorecendo a formação de cidadãos críticos e conscientes (Santos; Schnetzler, 2010).

Dessa forma, o descarte incorreto de pilhas não deve ser compreendido apenas como uma falha individual, mas como um fenômeno complexo que envolve dimensões químicas, ambientais, econômicas, legais e educacionais. O enfrentamento desse problema requer políticas públicas eficazes, ampliação dos sistemas de logística reversa, investimentos em reciclagem e, sobretudo, ações educativas que promovam mudanças de comportamento sustentadas por conhecimento científico.

Esse problema, abordado de forma teórica no texto acima, também é amplamente documentado na literatura científica e em pesquisas acadêmicas que investigam os efeitos adversos dos resíduos de pilhas e baterias sobre o ambiente e a saúde humana. Estudos mostram que as baterias portáteis e de lítio contêm concentrações significativas de metais pesados e elementos tóxicos, como cobalto, cobre, níquel e chumbo, cujas substâncias podem causar toxicidade humana e ecotoxicidade quando liberadas no solo e na água por meio de descarte inadequado (Kang et al., 2013), evidenciando o potencial de contaminação ambiental e de riscos à saúde pública. Revisões bibliográficas e levantamentos empíricos em trabalhos acadêmicos confirmam que esses contaminantes lixiviados podem persistir no ambiente, afetar a qualidade da água e do solo e provocar efeitos tóxicos em organismos aquáticos e terrestres, além de riscos ocupacionais e de

exposição humana (Oliveira Martins, 2018; Mrozik et al., 2021). Essas pesquisas reforçam a necessidade de políticas eficazes e de práticas de gestão de resíduos que minimizem a liberação de substâncias químicas perigosas decorrentes do descarte inadequado de pilhas e baterias, alinhando a discussão teórica à evidência empírica disponível na academia. Entre 2018 e 2024, diversos trabalhos acadêmicos exploraram os impactos ambientais e sanitários do descarte incorreto de pilhas e baterias, porém poucos foram o que dialogavam com o trabalho em questão. Para este trabalho foi utilizado a base de dados Scielo. Para essa seção foram utilizadas as seguintes palavras-chave: *Electrochemistry*, *Battery disposal* e *Environmental Impact*, e foram encontrados alguns artigos.

Em 2021 um artigo relevante foi “Impactos ambientais, fontes de poluição e caminhos de baterias de íon-lítio gastas”, que está disponível na base de dados *Royal Society of Chemistry*, que aborda o impacto de baterias de íon-lítio usadas em dispositivos eletrônicos e veículos elétricos, destacando os efeitos negativos do descarte inadequado, como a contaminação do solo, da água e do ar, além de riscos diretos à saúde humana à toxicidade devido a materiais liberados durante a combustão ou em casos de incêndios e explosões. Esse estudo também enfatiza a importância da reciclagem e da criação de normas globais para o descarte correto.

O trabalho acadêmico intitulado "Aspectos Ambientais e Reciclagem de Baterias de Estado Sólido", publicado em 2024 na revista *Batteries*, faz uma análise abrangente sobre os impactos ambientais e as práticas de reciclagem relacionadas às baterias de estado sólido (SSBs). O estudo examina todo o ciclo de vida dessas baterias, desde a remoção de matérias-primas até o descarte final. Ele destaca as vantagens dos SSBs, como maior segurança e densidade de energia em comparação com as baterias de íon-lítio convencionais, mas também aborda os desafios ambientais que surgem durante a produção e o descarte, devido ao uso de novos materiais e tecnologias.

2.5 A ECONOMIA CIRCULAR NO CICLO DE VIDA DE PILHAS

A crescente demanda por dispositivos eletrônicos e baterias recarregáveis tem gerado um aumento significativo no descarte de pilhas, o que levanta preocupações ambientais devido aos riscos de contaminação com metais pesados, como mercúrio, cádmio e chumbo. A implementação de modelos sustentáveis, como a economia circular, no ciclo de

vida das pilhas oferece uma solução para reduzir esses impactos negativos e promover a reutilização de recursos. A economia circular se baseia em princípios que visam prolongar a vida útil dos produtos, reutilizar materiais e reduzir o desperdício, em contraposição ao modelo tradicional linear de "extrair, produzir, consumir e descartar" (Geissdoerfer et al., 2017).

O ciclo de vida das pilhas compreende várias etapas, desde a extração das matérias primas até o descarte final. Durante a produção das pilhas, são utilizados recursos naturais, como lítio, cobalto e níquel, cuja extração pode causar degradação ambiental significativa. Além disso, o descarte inadequado dessas pilhas pode resultar na liberação de substâncias tóxicas no solo e na água, afetando a saúde humana e a biodiversidade (Díaz-Barriga et al., 2020). Segundo estudos de Manhart e Hörisch (2018), as pilhas usadas, especialmente as alcalinas e de lítio, contêm substâncias perigosas que, se não tratadas corretamente, podem causar contaminação por metais pesados, afetando a fauna e a flora de ecossistemas aquáticos e terrestres.

A economia circular propõe um modelo onde os materiais são constantemente reciclados, reparados e reutilizados, minimizando o desperdício e reduzindo a necessidade de extração de novos recursos. No contexto das pilhas, isso envolve não apenas a reciclagem das matérias-primas, mas também a remanufatura e reutilização de componentes. O processo de reciclagem de pilhas pode recuperar materiais valiosos, como cobalto, lítio e níquel, que são fundamentais para a fabricação de novas baterias. De acordo com Li et al. (2020), a reciclagem de pilhas e baterias reduz significativamente a extração de minerais, contribuindo para a redução do impacto ambiental associado ao processo de mineração.

Além disso, a economia circular no ciclo de vida das pilhas também implica na inovação em design, incentivando a produção de pilhas com maior durabilidade, facilidade de reciclagem e menor utilização de substâncias tóxicas. Algumas empresas já estão adotando a prática de projetar produtos com a intenção de facilitar a desmontagem e a recuperação de seus componentes (Afonso et al., 2019). Essas iniciativas são respaldadas por legislações e políticas públicas, como a Diretiva de Pilhas da União Europeia, que impõe restrições ao descarte de pilhas e promove a reciclagem e reutilização como práticas obrigatórias (European Commission, 2020).

Embora a adoção de práticas de economia circular no ciclo de vida das pilhas seja promissora, existem desafios significativos. A infraestrutura de reciclagem ainda é limitada em muitas regiões, dificultando a coleta e o processamento adequado de pilhas descartadas

(Zhang et al., 2021). Além disso, a falta de conscientização pública sobre a importância do descarte correto de pilhas e baterias contribui para a alta taxa de resíduos eletrônicos que acabam em aterros sanitários. Para superar esses desafios, é essencial que haja uma integração entre governos, indústrias e consumidores, com políticas de incentivo à reciclagem e educação ambiental eficazes.

A economia circular oferece uma abordagem inovadora e sustentável para o ciclo de vida das pilhas, reduzindo os impactos ambientais do descarte inadequado e promovendo a reutilização de recursos. Ao adotar práticas de reciclagem, design ecológico e remanufatura, é possível mitigar os danos causados pelos resíduos de pilhas e baterias, contribuindo para um futuro mais sustentável. No entanto, é necessário que se invista em infraestrutura de reciclagem e em políticas públicas que incentivem a conscientização e o comportamento responsável dos consumidores.

Por fim, a educação e conscientização do consumidor também desempenham um papel vital. Muitos consumidores desconhecem a importância de reciclar pilhas e baterias ou não têm acesso fácil a pontos de descarte adequados. Campanhas de conscientização e incentivos para a devolução de pilhas usadas podem ser estratégias eficazes para melhorar a taxa de reciclagem e alinhar o comportamento do consumidor aos princípios da economia circular (Bocken et al., 2017).

2.6 DIRETRIZES E LEGISLAÇÕES SOBRE O DESCARTE CORRETO DE PILHAS NO BRASIL

O descarte correto de pilhas e baterias no Brasil está fundamentado em um arcabouço legal que reconhece o caráter perigoso desses resíduos e a necessidade de uma gestão ambientalmente adequada ao longo de todo o seu ciclo de vida. Esses dispositivos, amplamente utilizados em equipamentos eletroeletrônicos, contêm metais pesados e substâncias potencialmente tóxicas, o que justifica a adoção de normas específicas voltadas à proteção do meio ambiente e da saúde pública (Baird; Cann, 2011).

O principal marco regulatório brasileiro sobre o tema é a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010. Essa legislação estabelece princípios, objetivos e instrumentos para a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos, incluindo explicitamente pilhas e baterias. Um de seus pilares é o conceito de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, que atribui obrigações conjuntas a fabricantes, importadores, distribuidores,

comerciantes, consumidores e ao poder público quanto à destinação final ambientalmente adequada desses resíduos (Brasil, 2010).

No âmbito da PNRS, destaca-se o instrumento da logística reversa, definido como um conjunto de ações destinadas a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, reciclagem ou disposição final adequada. Pilhas e baterias estão entre os produtos para os quais a logística reversa é obrigatória, independentemente do serviço público de limpeza urbana, o que reforça a necessidade de sistemas específicos de coleta e tratamento (Brasil, 2010).

De forma complementar, a principal norma é a Resolução CONAMA nº 257/1999, que foi posteriormente complementada pela resolução CONAMA nº 41/2008 que, estabelece limites máximos de metais pesados presentes em pilhas e baterias comercializadas no país, além de definir critérios para o gerenciamento ambientalmente adequado desses resíduos após o uso. A resolução impõe limites máximos dos metais pesados, como 0,002% de Mercúrio, 0,010% de cádmio e 0,200% de Chumbo. Esses limites são aplicáveis a diferentes tipos de pilhas e baterias comercializadas no Brasil, visando minimizar os impactos ambientais e sanitários decorrentes do descarte inadequado desses produtos. Estudos indicam que a exposição a metais pesados em concentrações superiores a essas pode levar a contaminações ambientais graves e efeitos adversos à saúde pública (Reidler; Günther, 2002; Ribeiro et al., 2022)

Essa resolução proíbe o descarte de pilhas e baterias em lixo domiciliar comum e determina que fabricantes e importadores implementem sistemas de recolhimento, assegurando sua destinação final ambientalmente segura. Tal normativa representa um avanço significativo ao atuar tanto na redução da toxicidade dos produtos quanto na mitigação dos impactos ambientais associados ao descarte inadequado (Conama, 2008).

Do ponto de vista sanitário e ambiental, essas diretrizes dialogam com evidências científicas que associam o descarte incorreto de pilhas à contaminação do solo, da água e da biota, bem como a riscos à saúde humana decorrentes da exposição a metais pesados. Estudos em Química Ambiental e Saúde Pública apontam que a simples disposição desses resíduos em aterros comuns pode resultar em processos de lixiviação, com liberação gradual de contaminantes, especialmente em regiões com deficiência de infraestrutura de impermeabilização e monitoramento ambiental (Manahan, 2013; WHO, 2017).

Apesar da robustez do arcabouço legal, diversos trabalhos acadêmicos indicam que a efetividade dessas legislações ainda enfrenta desafios práticos, como a concentração

das unidades de reciclagem em poucos estados, a baixa adesão da população aos sistemas de coleta e a limitada articulação entre os diferentes atores envolvidos (Abrelpe, 2023). Esses entraves evidenciam que a aplicação dos conhecimentos eletroquímicos e das tecnologias de reciclagem depende não apenas de avanços técnicos, mas também de políticas públicas integradas e ações educativas consistentes. A baixa conscientização da população, a limitada cobertura dos sistemas de coleta seletiva e a concentração das etapas de reciclagem em poucos centros industriais dificultam a plena implementação da logística reversa no território nacional (ABRELPE, 2023). Nesse contexto, autores destacam que a legislação, embora necessária, não é suficiente por si só, devendo ser acompanhada por políticas públicas integradas, fiscalização efetiva e ações educativas contínuas (Santos; Schnetzler, 2010).

Nesse sentido, o ensino de eletroquímica no contexto escolar e técnico assume um papel estratégico ao possibilitar a compreensão dos fundamentos científicos que sustentam tanto o funcionamento das pilhas quanto os impactos associados ao seu descarte e às possibilidades de reciclagem. A contextualização desses conteúdos com a legislação ambiental e com os princípios da economia circular contribui para a alfabetização científica e ambiental, promovendo a formação de sujeitos críticos, capazes de compreender a complexidade dos sistemas tecnológicos e de atuar de forma responsável na gestão dos resíduos que produzem (Santos; Schnetzler, 2010; Loureiro, 2012).

Assim, as legislações brasileiras sobre o descarte de pilhas configuram-se como instrumentos essenciais para a proteção ambiental e sanitária, ao mesmo tempo em que evidenciam a necessidade de ações interdisciplinares e educativas que ampliem sua efetividade. A consolidação dessas diretrizes depende não apenas do cumprimento normativo, mas da internalização de valores sustentáveis que orientem práticas sociais alinhadas aos princípios do desenvolvimento sustentável.

Há alguns trabalhos acadêmicos depositados nos bancos de dados que abordam as diretrizes e legislações sobre o descarte correto de pilhas no Brasil. O artigo “Considerações sobre o Descarte e Reciclagem de Pilhas e Baterias no Brasil”, Revista Interface Tecnológica em Resolução CONAMA nº 401/2008, o artigo enfatiza a importância da conscientização pública sobre os riscos do descarte inadequado de pilhas, propondo estratégias de educação ambiental para aumentar o engajamento da sociedade em práticas de descarte responsável. A regulamentação tem sido eficaz na melhoria da

gestão desses resíduos, com avanços na coleta e reciclagem de materiais perigosos presentes nas pilhas, como metais pesados.

2.7 FUNDAMENTOS BÁSICOS DE ELETROQUÍMICA

Nesta seção serão apresentados conteúdos básicos da eletroquímica que suportem o assunto abordado.

2.7.1 Aspectos históricos

Alessandro Volta e John Frederic Daniell foram dois cientistas que fizeram contribuições significativas no campo da eletroquímica, mas suas descobertas e invenções diferem em vários aspectos. Outro grande cientista que contribuiu para o estudo do eletromagnetismo foi Michel Faraday.

A principal contribuição de Alessandro Volta (1745-1827), ocorreu em 1800, quando Volta inventou a primeira bateria elétrica, conhecida como a “pilha de Volta”. Esta bateria consistia em discos alternados de zinco e cobre separados por pedaços de tecido embebidos em solução salina (eletrólito). Quando a pilha estava em funcionamento, os dois metais geravam uma diferença de potencial elétrico devido à reação de oxidação no metal de zinco e redução no cobre. A pilha voltaica foi revolucionária porque foi capaz de fornecer uma corrente elétrica contínua, algo que não havia sido possível antes. A invenção de Volta provou que a eletricidade podia ser gerada de forma estática, sem a necessidade de fontes externas de eletricidade, o que abriu caminho para experimentos científicos posteriores e tecnologias relacionadas à eletricidade (Volta, 1800). A principal característica da pilha voltaica era sua simplicidade e capacidade de gerar uma corrente elétrica estável, embora a voltagem gerada fosse relativamente baixa. Em homenagem a suas contribuições, a unidade de potencial elétrico (volt) foi nomeada em sua homenagem.

A principal contribuição de John Frederic Daniell (1790-1845), ocorreu em 1836, quando inventou a célula Daniell, uma célula eletroquímica que utilizava um eletrodo de cobre imerso em solução de sulfato de cobre e um eletrodo de zinco em solução de sulfato de zinco. Foi uma melhoria significativa sobre a pilha voltaica. Essa célula fornecia uma corrente elétrica mais estável e duradoura do que a pilha de Volta, sendo muito utilizada em telegrafia e outros dispositivos elétricos da época (Bard; Faulkner, 2001; Ostwald, 1896). Daniell

introduziu um novo conceito em sua construção, buscando resolver um dos principais problemas da pilha de Volta, que era a instabilidade causada pela reação direta entre o metal e o eletrólito. A pilha de Daniell é composta por dois compartimentos conectados por um condutor iônico, geralmente uma ponte salina. O primeiro compartimento contém uma solução de cobre (II) sulfato e uma barra de cobre imersa nessa solução, enquanto o segundo contém uma solução de zinco com uma barra de zinco. Entre os dois compartimentos, existe uma ponte salina preenchida com uma solução de sal, como o cloreto de potássio, que permite o movimento de íons, garantindo o equilíbrio iônico e evitando a acumulação de cargas nos eletrodos (Daniell, 1836). A principal inovação da pilha de Daniell foi a utilização de uma ponte salina para manter a neutralidade elétrica, o que proporcionou uma corrente mais estável e uma vida útil mais longa em comparação com a pilha voltaica. A pilha de Daniell também fornecia uma tensão elétrica maior e mais estável devido à diferença de potencial entre o eletrodo de cobre e o eletrodo de zinco. Ela foi amplamente utilizada para alimentar dispositivos elétricos e também desempenhou um papel crucial em experimentos científicos durante o século XIX (*Philosophical Transactions da Royal Society*, 1836).

As pilhas de Alessandro Volta e John Frederic Daniell são marcos históricos no desenvolvimento da eletroquímica, e embora ambas tenham sido fundamentais para a evolução das ciências elétricas, elas diferem significativamente em sua construção e funcionamento.

As principais diferenças entre as pilhas de Volta e Daniell residem no seu design e nos métodos usados para gerar a corrente elétrica (*Philosophical Transactions da Royal Society*, 1800). A pilha voltaica, por ser mais simples, não utilizava uma ponte salina e tinha uma eficiência menor, especialmente em termos de estabilidade e duração da corrente. Já a pilha de Daniell, com sua estrutura mais complexa, incluía a ponte salina para permitir o fluxo contínuo de íons, proporcionando maior estabilidade e durabilidade. A tensão gerada pela pilha de Daniell também era maior, o que a tornava mais eficaz para uma série de aplicações práticas.

Essas inovações de Volta e Daniell foram fundamentais para o avanço da ciência eletroquímica e abriram caminho para o desenvolvimento de dispositivos que aproveitam a eletricidade de maneira mais controlada e eficiente. A compreensão dessas pilhas e suas diferenças é essencial para entender o papel histórico dessas descobertas na evolução das tecnologias modernas.

O próximo avanço significativo ocorreu com os experimentos de Michael Faraday na década de 1830. Faraday introduziu as leis da eletrólise, estabelecendo uma base quantitativa para a eletroquímica. Ele demonstrou que a quantidade de substância depositada ou dissolvida em um eletrodo durante uma reação eletroquímica é diretamente proporcional à quantidade de carga elétrica que passa pela solução (Faraday, 1834). Suas contribuições ampliaram o entendimento sobre como a eletricidade pode promover transformações químicas, e o termo “eletroquímica” começou a ser amplamente utilizado.

Culturalmente, a eletroquímica foi de extrema importância no avanço das sociedades industriais. O desenvolvimento de pilhas e baterias, baseadas nos princípios eletroquímicos, impulsionou a revolução tecnológica do século XIX. A bateria de chumbo-ácido, inventada em 1859, foi o primeiro dispositivo eletroquímico recarregável e teve grande impacto em aplicações industriais e, posteriormente, em veículos automotivos.

A eletroquímica também teve impacto significativo na área de galvanoplastia e purificação de metais, ajudando no avanço das indústrias de eletrônicos, telecomunicações e energia. Galvanoplastia, por exemplo, permitiu a deposição de metais como ouro e prata em objetos de outros materiais, popularizando o uso de produtos eletricamente revestidos em joias e decoração (Bard & Faulkner, 2001). No século XXI, a eletroquímica continua a ter um impacto transformador, principalmente com o advento de baterias de íons de lítio, que se tornaram a base para dispositivos eletrônicos móveis e veículos elétricos. A pesquisa de Goodenough, Whittingham e Yoshino, que levou ao desenvolvimento dessas baterias, foi tão impactante que rendeu a eles o Prêmio Nobel de Química em 2019 (Goodenough, Whittingham, Yoshino, 2019). Ela também, desempenha um papel vital em soluções ambientais, como a purificação da água e o desenvolvimento de energias renováveis, evidenciando seu contínuo papel no desenvolvimento científico e tecnológico.

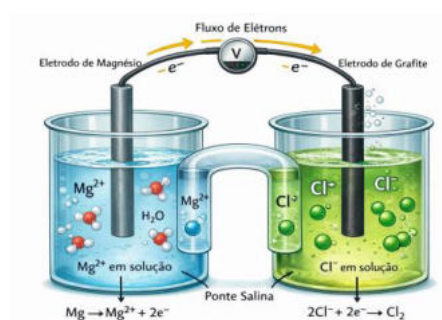
2.7.2 Células galvânicas e eletrolíticas

As células galvânicas e eletrolíticas são dois tipos fundamentais de células eletroquímicas, com importantes aplicações tanto na produção de energia quanto em processos de indução de reações químicas. Embora ambas estejam relacionadas ao movimento de elétrons e íons, elas operam de maneiras opostas e têm finalidades distintas. As células galvânicas convertem energia química em energia elétrica, enquanto as células eletrolíticas utilizam energia elétrica para promover reações químicas não espontâneas (Joules, 2015).

As células galvânicas, também chamadas de pilhas ou baterias, de acordo com Atkins e Jones (2006), uma célula galvânica é definida como uma célula eletroquímica capaz de produzir corrente elétrica a partir de uma reação química.

Em uma célula galvânica (Figura 1), ocorre uma reação de oxidação no ânodo, que libera elétrons, e uma reação de redução no cátodo, onde esses elétrons são consumidos (ATKINS, 2006). A corrente elétrica gerada flui do ânodo para o cátodo através de um fio condutor externo, enquanto os íons se movem através de uma solução condutora interna, como um eletrólito (Moore, 2017).

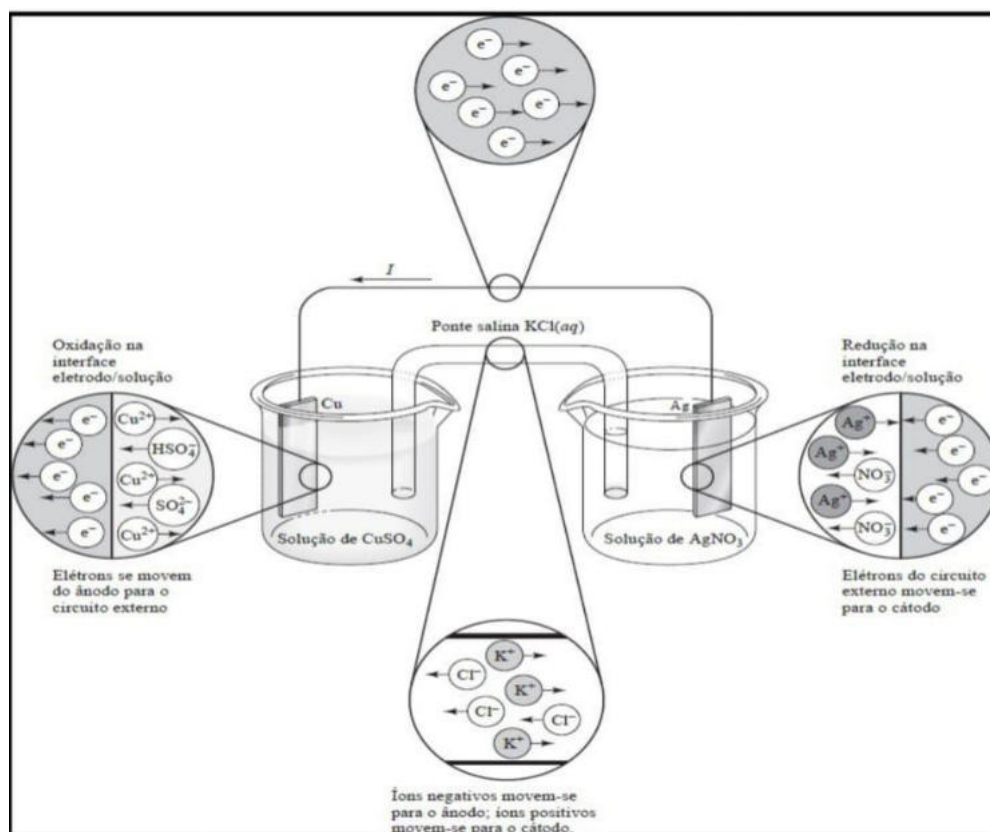
Figura 1 - Esquema genérico de uma célula eletroquímica do tipo célula eletrolítica



Fonte: Imagem gerada pelo ChatGPT em 2026.

Além disso, Skoog (2012) descreve que pilhas e baterias são tipos de células galvânicas, nas quais reações de oxidação e redução acontecem espontaneamente, gerando elétrons que fluem do ânodo para o cátodo por meio de um fio condutor. O funcionamento dessa célula galvânica pode ser exemplificado na Figura 2.

Figura 2 – Esquema de uma pilha em funcionamento com ênfase nas cargas



Fonte: Skoog 2012.

Outro aspecto relevante das células eletroquímicas é o ponto de vista termodinâmico. As células galvânicas são definidas por reações químicas espontâneas, capazes de gerar energia, ou seja, a variação de energia de Gibbs é negativa ($\Delta G < 0$). Em contrapartida, as células eletrolíticas requerem uma fonte externa de energia para induzir uma ocorrência química não espontânea, resultando em uma variação de energia de Gibbs positiva ($\Delta G > 0$) (VILLULLAS; TICIANELLI; GONZÁLEZ, 2002). A Tabela 1 resume essas informações de forma concisa.

Tabela 1 – Informações comparativas das células galvânicas e eletrolíticas

PARAMETRO	CÉLULA GALVÂNICA	CÉLULA ELETROLÍTICA
Transformação	Química $\rightarrow$ Elétrica	Elétrica $\rightarrow$ Química
Tendência termodinâmica	Espontânea	Não espontânea
ΔG	> 0	< 0

POLARIDADE DOS ELETRODOS		
Anodo	Negativo	positivo
Catodo	Positivo	negativo

Fonte: Villullas; Ticianelli; González (2002)

Em contraste, as células eletrolíticas utilizam uma fonte externa de energia elétrica para induzir reações químicas não espontâneas. Nessas células, a energia elétrica é convertida em energia química, sendo forçada a ocorrer uma reação de oxidação no cátodo e uma reação de redução no ânodo. Este processo é oposto ao das células galvânicas, onde as reações acontecem espontaneamente. As células eletrolíticas são amplamente utilizadas em processos industriais, como a eletrólise da água, que separa a água em oxigênio e hidrogênio, e na galvanoplastia, onde camadas de metal são depositadas sobre superfícies (Jones, 2019).

Um exemplo clássico de célula eletrolítica é a eletrólise do cloreto de sódio (NaCl). Nesse processo, uma corrente elétrica é passada por uma solução fundida de NaCl, resultando na decomposição do cloreto de sódio em seus elementos constituintes: sódio metálico no cátodo e cloro gasoso no ânodo. Esse processo é fundamental na produção industrial de cloro e soda cáustica (Brown, 2020).

Embora as células galvânicas e eletrolíticas sejam princípios fundamentais da eletroquímica, suas diferenças estruturais e funcionais refletem os distintos objetivos de conversão de energia. As pilhas de Daniell, como exemplo de célula galvânica, representam uma etapa crucial no desenvolvimento da eletricidade e seu uso em diversas tecnologias, enquanto as células eletrolíticas, exemplificadas por processos como a eletrólise do cloreto de sódio, desempenham um papel vital na indústria química e na fabricação de materiais. Ambas as células são essenciais para a compreensão dos processos eletroquímicos e suas aplicações práticas.

Recentemente, diversos trabalhos publicados discutem a implementação de experimentos de eletroquímica no ensino médio. Um exemplo relevante é o artigo “Pilhas e Baterias: Desenvolvimento de Oficina Temática para o Ensino de Eletroquímica”, publicado na revista *Experiências em Ensino de Ciências*, em 2019. Esse estudo detalha a criação de uma oficina temática voltada para alunos do ensino médio, abordando a construção de pilhas e baterias com uma metodologia problematizadora e contextualizada. A oficina foi desenvolvida com base nos três momentos pedagógicos de Delizoicov e colaboradores, explorando a relação entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente (CTSA), o que

promoveu uma participação ativa dos alunos e facilitou a aprendizagem do conteúdo de eletroquímica.

Em 2013 foi publicado um artigo: História da Ciência nos livros didáticos de Química: Eletroquímica como objeto de investigação, onde o trabalho apresenta os resultados de uma pesquisa sobre quais concepções da história da ciência estão associados ao tema Eletroquímica em alguns livros didáticos de Ensino Médio. Para tanto aplicou-se a metodologia de análise textual.

Em 2017, um artigo no qual corrobora com a ideia desse trabalho, é: A construção de pilhas de Daniell com estudantes do Ensino Médio, publicado em 2021, para o IX congresso de Educação, cujo objetivo foi mapear a percepção dos estudantes sobre o experimento da pilha de Daniell como metodologia para auxiliar o ensino e a aprendizagem do conteúdo.

Outro trabalho interessante é o uso da Espectroscopia de Impedância Eletroquímica como uma ferramenta educativa para investigar reações eletroquímicas de forma mais avançada. Publicado na Revista Virtual de Química, em 2020, disponível no portal da Sociedade Brasileira de Química (SBQ), esse estudo destaca a importância de integrar métodos matemáticos na análise de dados eletroquímicos, um conceito que pode ser adaptado para experimentos mais simples no ambiente escolar.

No portal periódico da UFSC, em 2021, foi alojado um artigo com o título: A pilha de Daniell: Um estudo de caso histórico, onde o trabalho enfatiza a compreensão do processo de desenvolvimento do conhecimento científico e tecnológico, e de suas implicações para a sociedade, por meio de um estudo de caso histórico, para que possa trazer contribuições relevantes para o ensino de ciências na atualidade. A revista Ciências e Ideias foi publicado o trabalho intitulado “Experimentação e a pilha de daniell numa abordagem demonstrativa-investigativa”, no qual a proposta visa à construção e reconstrução de conhecimentos científicos relacionados a pilhas.

Esses artigos fornecem boas práticas e metodologias que facilitam o ensino de conceitos de eletroquímica de forma prática e envolvente, conectando o conteúdo teórico à experimentação em sala de aula.

2.7.3 Ponte salina

Nas células galvânicas, ou voltaicas, a ponte salina é um elemento estrutural que garante a operação contínua do dispositivo ao promover a conexão eletrolítica entre as

duas semicélulas, viabilizando o fechamento do circuito pelo caminho iônico. Do ponto de vista conceitual, a IUPAC define ponte salina como um meio de realizar a conexão eletrolítica entre duas semicélulas sem introduzir um potencial de junção líquida significativo, destacando como construção típica um tubo de material inerte preenchido com eletrólito cujos íons apresentem mobilidades aproximadamente iguais, por exemplo, KCl ou KNO_3 . Essa definição é particularmente importante para a interpretação da ddp da célula, pois o potencial de junção (difusão) pode distorcer valores medidos e comprometer reprodutibilidade em contextos experimentais e eletroanalíticos.

Em termos operacionais, a ponte salina exerce duas funções centrais: completar o circuito por condução iônica e manter a eletroneutralidade em cada compartimento ao fornecer íons que migram para compensar desequilíbrios de carga. Em uma célula do tipo Daniell, por exemplo, à medida que ocorre oxidação no ânodo e redução no cátodo, a composição iônica das soluções se altera. A ponte salina permite que ânions migrem em direção ao ânodo e cátions em direção ao cátodo, impedindo o acúmulo líquido de cargas e estabilizando o funcionamento da célula.

Caso não houvesse ponte salina), haveria rápida separação de cargas nas semicélulas, produzindo um campo elétrico interno que se opõe ao fluxo espontâneo de elétrons no circuito externo. Consequentemente, a reação global tende a ser inibida e a corrente elétrica cessa após curto intervalo, justamente porque o sistema caminha para neutralizar o desequilíbrio elétrico por via eletrostática, e não por via eletroquímica controlada.

Em uma célula eletrolítica típica de laboratório, ambos os eletrodos costumam estar imersos no mesmo eletrólito (um único compartimento), e a fonte externa impõe a direção do fluxo eletrônico. Nessa configuração, o circuito iônico já se fecha diretamente pelo eletrólito comum, o que torna desnecessária uma ponte salina entre semicélulas separadas. Essa ideia é visualizada em textos didáticos de eletroquímica ao indicarem que, quando os dois eletrodos mergulham no mesmo eletrólito, não é necessária uma ponte salina. Em termos semelhantes, materiais de ensino destacam que, enquanto células galvânicas costumam organizar as semicélulas em recipientes distintos conectados por ponte salina, na eletrólise é frequente colocar ambos os eletrodos no mesmo recipiente, de modo que a condução iônica ocorre no próprio meio.

Historicamente, antes de se consolidar o formato didático moderno de ponte salina em U com gel, muitas células empregavam separadores porosos. Um exemplo

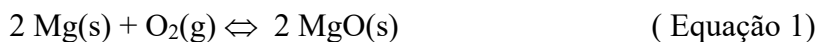
emblemático é a célula de Daniell (1836), cuja evolução incorporou barreiras cerâmicas porosas (como um cilindro/jarro cerâmico) para manter soluções próximas, mas parcialmente separadas, permitindo circulação de íons através da parede porosa. A descrição histórica ressalta justamente que a cerâmica porosa atuava como meio de separação das soluções, mantendo a passagem iônica necessária para o funcionamento do sistema eletroquímico.

Na prática contemporânea de laboratório e ensino, a ponte salina é frequentemente confeccionada como tubo inerte preenchido por eletrólito concentrado gelificado (por exemplo, com ágar-ágar), utilizando sais como KCl ou KNO_3 por apresentarem mobilidades iônicas relativamente próximas, o que ajuda a reduzir potenciais de junção e melhora a estabilidade do arranjo. Essa padronização também dialoga com a tradição da eletroanálise, na qual a ponte salina permaneceu amplamente utilizada por décadas pela ausência de alternativas universalmente superiores, apesar de limitações reconhecidas.

2.7.4 Reações de oxirredução

A reação de oxirredução, ou redox, é um dos pilares fundamentais da química, envolvendo a transferência de elétrons entre espécies químicas. Durante essas reações, ocorre uma mudança no estado de oxidação dos átomos ou íons envolvidos, sendo uma oxidação caracterizada pela perda de elétrons e uma redução pela ganância de elétrons. Segundo Atkins e Jones (2006), as reações de oxirredução são essenciais para uma vasta gama de processos químicos, desde a respiração celular até a produção de energia em células galvânicas. Nesses processos, a transferência de elétrons entre os reagentes é fundamental para a formação de novos compostos.

Para exemplificar, Atkins e Jones (2006) abordam a reação redox de formação do óxido de magnésio, a partir do magnésio e do oxigênio, na equação 1. Essa reação é muito utilizada para gerar faíscas brancas em fogos de artifícios. Nessa reação, os átomos de magnésio doam elétrons e formam o cátion Mg^{2+} , enquanto os átomos de oxigênio recebem os elétrons doados pelo magnésio e formam o ânion O^{2-} .

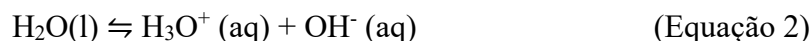


Em uma reação de oxirredução típica, o agente redutor doa elétrons (oxidando-se) e o agente oxidante recebe os elétrons (reduzindo-se). Essa troca de elétrons pode ser observada em reações como a formação de um metal a partir de seus íons em solução, ou na reação entre ácidos e metais, onde os elétrons são transferidos entre os reagentes, permitindo a ocorrência da reação global de oxidação e redução simultâneas. A compreensão dessa transferência é crucial para entender não apenas os processos bioquímicos, mas também as aplicações industriais e energéticas baseadas em reações redox, como as utilizadas em baterias e células combustíveis.

2.7.5 Potencial de uma célula eletroquímica

A espontaneidade de um processo eletroquímico é medida pelo potencial da célula (E), em voltagem, esse, refere-se à diferença de potencial elétrico entre os dois eletrodos de uma célula, sendo uma medida da tendência das reações redox em ocorrer de forma espontânea. Esse potencial é fundamental para a análise do comportamento da célula, pois ele determina a quantidade de energia disponível para realizar trabalho elétrico. Em uma célula eletroquímica, o potencial é calculado a partir dos potenciais de redução dos dois eletrodos, que representam a facilidade com que os íons em solução podem ser reduzidos, isto é, a tendência de aceitar elétrons (Joules, 2015).

O eletrodo de referência é o hidrogênio por que o H^+ é o cátion mais presente em soluções aquosas, uma vez que ele se forma a partir da dissociação da água, conforme a equação 2.



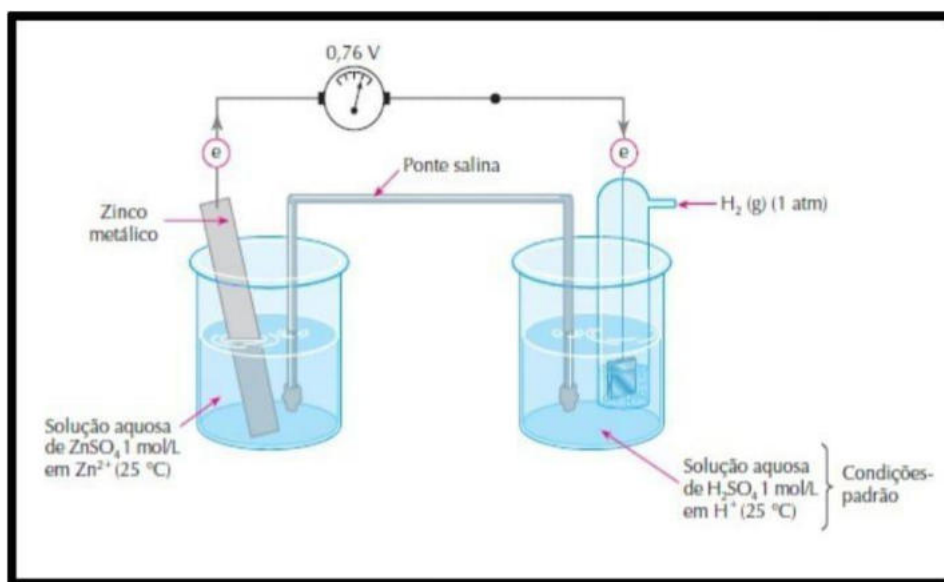
O potencial padrão de eletrodo (E°) de uma célula, que é uma medida do potencial quando todas as substâncias estão em suas concentrações padrão (1 M para soluções e 1 atm para gases), é utilizado para prever a direção da reação e calcular a voltagem da célula. Por exemplo, a pilha de Daniell, que é uma célula galvânica clássica, tem um potencial padrão de 1,1 V, o que indica que ela pode fornecer uma corrente elétrica estável até que o equilíbrio químico entre os reagentes seja alcançado.

Sendo 1 mol/L a molaridade das espécies envolvidas e partindo das Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP), temos o potencial global (notação 3) calculado de seguinte maneira (FELTRE, 2004):

$$E_{\text{global}} = E_{\text{catodo}} - E_{\text{anodo}} \quad (\text{Equação 3})$$

De acordo com Skoog e colaboradores (2008), o potencial de um eletrodo pode ser determinado quando este está comparado ao eletrodo-padrão de hidrogênio, desde que sejam atendidas as condições de temperatura, pressão e concentração, como ilustrado nas Figuras 3 e 4.

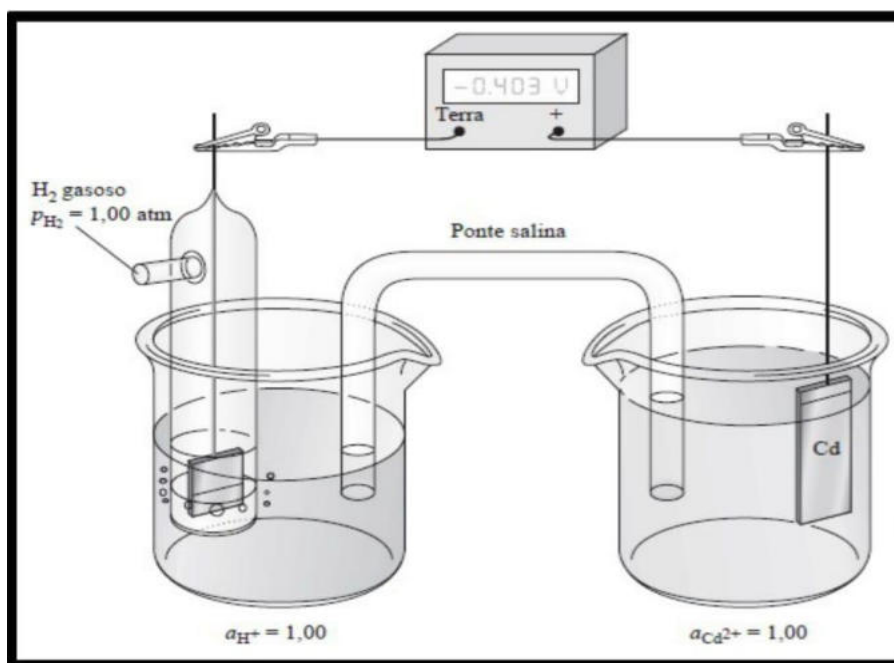
Figura 3 - Representação de uma pilha com evidência para o potencial de redução do par Zn/Zn^{2+}



Fonte: Feltre 2004.

A representação do potencial do eletrodo de Cd, a partir do eletrodo-padrão de hidrogênio, é mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Representação de uma pilha com evidência para o potencial de redução do par Cd/Cd^{2+}



Fonte: Skoog 2012.

A Figura 3 apresenta o potencial do eletrodo de zinco, enquanto a Figura 4 mostra o do eletrodo de cádmio. Ao analisar os valores de redução de cada eletrodo, é possível identificar um potencial positivo, indicando um processo espontâneo, caracterizando assim uma pilha. Os potenciais de redução dos principais eletrodos estão ilustrados na Figura 5.

Figura 5 - Tabela de potenciais padrão de redução para diferentes espécies

ORDEN CRESCENTE DE AÇÃO OXIDANTE	Potencial de redução (E_{red}^0)	Estado reduzido	Estado oxidado	Potencial de oxidação (E_{oxid}^0)	ORDEN CRESCENTE DE AÇÃO REDUTORA
	-3,04	Li	$\rightleftharpoons$	$\text{Li}^+ + \text{e}^-$	+3,04
	-2,92	K	$\rightleftharpoons$	$\text{K}^+ + \text{e}^-$	+2,92
	-2,90	Ba	$\rightleftharpoons$	$\text{Ba}^{2+} + 2\text{e}^-$	+2,90
	-2,89	Sr	$\rightleftharpoons$	$\text{Sr}^{2+} + 2\text{e}^-$	+2,89
	-2,87	Ca	$\rightleftharpoons$	$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^-$	+2,87
	-2,71	Na	$\rightleftharpoons$	$\text{Na}^+ + \text{e}^-$	+2,71
	-2,37	Mg	$\rightleftharpoons$	$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$	+2,37
	-1,66	Al	$\rightleftharpoons$	$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$	+1,66
	-1,18	Mn	$\rightleftharpoons$	$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^-$	+1,18
	-0,83	$\text{H}_2 + 2(\text{OH})^-$	$\rightleftharpoons$	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$	+0,83
	-0,76	Zn	$\rightleftharpoons$	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$	+0,76
	-0,74	Cr	$\rightleftharpoons$	$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^-$	+0,74
	-0,48	S^{2-}	$\rightleftharpoons$	$\text{S} + 2\text{e}^-$	+0,48
	-0,44	Fe	$\rightleftharpoons$	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$	+0,44
	-0,28	Co	$\rightleftharpoons$	$\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^-$	+0,28
	-0,23	Ni	$\rightleftharpoons$	$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^-$	+0,23
	-0,13	Pb	$\rightleftharpoons$	$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^-$	+0,13
	0,00	H_2	$\rightleftharpoons$	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	0,00
	+0,15	Cu^+	$\rightleftharpoons$	$\text{Cu}^{2+} + \text{e}^-$	-0,15
	+0,34	Cu	$\rightleftharpoons$	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0,34
	+0,40	$2(\text{OH})^-$	$\rightleftharpoons$	$\text{H}_2\text{O} + 1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^-$	-0,40
	+0,52	Cu	$\rightleftharpoons$	$\text{Cu}^+ + \text{e}^-$	-0,52
	+0,54	2I^-	$\rightleftharpoons$	$\text{I}_2 + 2\text{e}^-$	-0,54
	+0,77	Fe^{2+}	$\rightleftharpoons$	$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$	-0,77
	+0,80	Ag	$\rightleftharpoons$	$\text{Ag}^+ + \text{e}^-$	-0,80
	+0,85	Hg	$\rightleftharpoons$	$\text{Hg}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0,85
	+1,09	2Br^-	$\rightleftharpoons$	$\text{Br}_2 + 2\text{e}^-$	-1,09
	+1,23	H_2O	$\rightleftharpoons$	$2\text{H}^+ + 1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^-$	-1,23
	+1,36	2Cl^-	$\rightleftharpoons$	$\text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$	-1,36
	+2,87	2F^-	$\rightleftharpoons$	$\text{F}_2 + 2\text{e}^-$	-2,87

Fonte: Disponível em: <https://www.colegioweb.com.br/eletroquimica-i-pilhas/tabela-de-potenciaispadrao-dereducao.html> Acesso 14 abr 2025

Além disso, o potencial da célula é crucial para o entendimento de diversas aplicações práticas, como o funcionamento de baterias e pilhas, que dependem da geração de corrente elétrica a partir de reações redox controladas. O desenvolvimento de novas tecnologias para otimização da capacidade e eficiência das células eletroquímicas está diretamente relacionado à melhoria no controle do potencial das reações envolvidas, o que pode levar ao avanço em sistemas de armazenamento de energia, como as baterias de íons de lítio, amplamente utilizadas em dispositivos eletrônicos e veículos elétricos (Jones, 2019).

2.7.6 Tipos de pilhas

Bocchi e colaboradores (2000) classificam as pilhas com base no tipo de material utilizado nos eletrodos e no processo de reação redox que ocorre dentro delas. De acordo com os autores, as pilhas podem ser divididas em dois grupos principais: pilhas primárias e pilhas secundárias.

a) Pilhas primárias: São aquelas em que as reações de oxidação e redução acontecem de forma irreversível. Ou seja, uma vez que os reagentes se esgotam, a pilha não pode ser recarregada e precisa ser descartada. Exemplos típicos de pilhas primárias incluem as pilhas de zinco-carbono e as pilhas alcalinas.

b) Pilhas secundárias: Também conhecidas como baterias recarregáveis, essas pilhas permitem que a reação redox seja revertida por meio de um processo de recarga, o que possibilita o seu uso múltiplo. Exemplos de pilhas secundárias incluem as baterias de íons de lítio, chumbo-ácido e níquel-cádmio.

Além dessa divisão, Bocchi e colaboradores (2000) destacam a importância de analisar o potencial de célula e a capacidade de armazenamento de energia das pilhas, elementos essenciais para a escolha de pilhas adequadas para diferentes aplicações, desde dispositivos portáteis até sistemas de armazenamento de energia em grande escala.

2.7.7 Materiais das pilhas que podem ser reciclados e reutilizados

As pilhas e baterias constituem sistemas eletroquímicos complexos formados por diferentes materiais metálicos e não metálicos, muitos dos quais apresentam elevado valor econômico e estratégico. A reciclagem desses dispositivos, além de mitigar impactos ambientais e sanitários associados ao descarte inadequado, possibilita a recuperação e a reutilização de matérias-primas essenciais, alinhando-se aos princípios da logística reversa e da economia circular (Baird; Cann, 2011; Ellen MacArthur Foundation, 2019).

Entre os principais materiais recicláveis presentes nas pilhas destacam-se os metais, zinco, manganês, Lítio e Níquel, que atuam como eletrodos ou componentes estruturais.

Em relação ao Zinco, o reaproveitamento desse metal nesse contexto contribui diretamente para a redução do consumo energético, uma vez que a produção de zinco

secundário demanda significativamente menos energia do que sua obtenção a partir da mineração e do beneficiamento do minério (Manahan, 2013).

Outro destino relevante para o zinco reciclado é a produção de ligas metálicas, como latão (liga de cobre e zinco), amplamente utilizada na indústria mecânica e elétrica. Além disso, compostos de zinco obtidos a partir da reciclagem podem ser empregados na indústria química, na fabricação de óxidos, sais e catalisadores, bem como em fertilizantes e aditivos industriais. Essa diversidade de aplicações reforça o caráter estratégico do zinco como recurso reciclável e evidencia o potencial econômico associado à gestão adequada de pilhas pós-consumo (Baird; Cann, 2011).

Sob a perspectiva ambiental, a reciclagem do zinco contribui de forma significativa para a mitigação de impactos associados à mineração primária, atividade reconhecidamente intensiva em consumo de água, energia e insumos químicos, além de gerar grandes volumes de rejeitos e resíduos potencialmente contaminantes. Ao recuperar o zinco presente nas pilhas descartadas, reduz-se a pressão sobre os recursos naturais e minimizam-se riscos de contaminação ambiental decorrentes da lixiviação desse metal em solos e corpos hídricos, especialmente quando o descarte ocorre de forma inadequada (Manahan, 2013).

Assim, o zinco exemplifica de maneira clara como os materiais presentes nas pilhas não devem ser compreendidos como resíduos sem valor, mas como fontes secundárias de matérias-primas com elevado potencial de reutilização. A valorização desse metal por meio de processos de reciclagem integra conhecimentos de eletroquímica, tecnologia industrial e gestão ambiental, reafirmando o papel central da economia circular na transformação de passivos ambientais em recursos estratégicos para o desenvolvimento sustentável.

O outro metal presente na pilha, é o manganês (Mn), que é um dos metais mais relevantes presentes nas pilhas alcalinas e comuns, desempenhando papel central no funcionamento eletroquímico desses dispositivos. Nessas pilhas, o manganês encontra-se predominantemente na forma de dióxido de manganês (MnO_2), que atua como material catódico, sendo responsável pela redução durante o processo de geração de corrente elétrica. A ampla difusão das pilhas alcalinas no mercado faz com que o MnO_2 constitua uma fração significativa dos resíduos eletroquímicos gerados após o uso, conferindo ao manganês elevado potencial de reaproveitamento (Baird; Cann, 2011).

Do ponto de vista eletroquímico, durante a descarga da pilha alcalina, o dióxido de manganês sofre processos de redução, formando espécies como MnOOH ou Mn_2O_3 , dependendo das condições do sistema. Ao final da vida útil da pilha, essas formas oxidadas de manganês permanecem quimicamente ativas, o que possibilita sua recuperação por meio de processos de reciclagem baseados em separações físico-químicas e reações controladas de oxirredução. Técnicas como trituração, separação granulométrica, lixiviação ácida ou alcalina e precipitação seletiva permitem a solubilização e posterior recuperação do manganês sob a forma de óxidos, sais ou até mesmo manganês metálico, dependendo da rota tecnológica empregada (Manahan, 2013).

O reaproveitamento do manganês reciclado apresenta diversas aplicações industriais estratégicas. Na metalurgia, o manganês é amplamente utilizado na produção de ligas metálicas, especialmente no aço, onde atua como agente desoxidante, além de melhorar propriedades mecânicas como dureza, resistência e tenacidade. A utilização de manganês proveniente de fontes secundárias reduz a dependência da mineração primária e contribui para a diminuição dos impactos ambientais associados à extração desse metal, como a geração de rejeitos e o consumo intensivo de energia (Zhang et al., 2018).

Outra aplicação relevante do manganês recuperado é na indústria química e agrícola, especialmente na produção de fertilizantes e micronutrientes. O manganês é um elemento essencial para o metabolismo vegetal, atuando em processos como fotossíntese e ativação enzimática. Compostos de manganês obtidos a partir da reciclagem de pilhas podem ser empregados como fontes desse micronutriente, desde que atendam aos critérios de pureza e segurança exigidos pelas normas ambientais e sanitárias, ampliando o aproveitamento do material reciclado (Manahan, 2013).

Além disso, o manganês reciclado possui grande relevância na fabricação de novos materiais eletroquímicos. Óxidos de manganês são amplamente estudados e utilizados em sistemas de armazenamento de energia, como supercapacitores e baterias recarregáveis, devido às suas propriedades redox favoráveis, baixo custo e relativa abundância. A possibilidade de empregar MnO_2 recuperado de pilhas descartadas na síntese de novos materiais eletroativos reforça o potencial de fechamento de ciclos materiais no setor eletroquímico, alinhando-se diretamente aos princípios da economia circular (Zhang et al., 2018).

Sob a perspectiva ambiental, a reciclagem do manganês contribui de maneira significativa para a mitigação de impactos associados ao descarte inadequado de pilhas. Embora o manganês seja menos tóxico que outros metais pesados, sua liberação descontrolada no ambiente pode provocar alterações na qualidade do solo e da água, além de efeitos adversos em organismos aquáticos quando presente em concentrações elevadas. A recuperação controlada desse metal reduz esses riscos e transforma um potencial passivo ambiental em um recurso de valor tecnológico e econômico (Baird; Cann, 2011).

Dessa forma, o manganês presente nas pilhas alcalinas exemplifica o papel estratégico dos materiais catódicos na reciclagem de resíduos eletroquímicos. Sua recuperação e reutilização demonstram como o conhecimento dos processos eletroquímicos e das propriedades químicas dos materiais permite a integração entre tecnologia, sustentabilidade e gestão de resíduos, consolidando a reciclagem como etapa fundamental para a construção de sistemas produtivos mais eficientes e ambientalmente responsáveis.

As baterias de íons de lítio (Li-íon) consolidaram-se como a principal tecnologia de armazenamento de energia em dispositivos eletrônicos portáteis, como celulares, notebooks, tablets e, mais recentemente, em veículos elétricos e sistemas estacionários. Essa predominância decorre de suas elevadas densidades energética e de potência, além de maior vida útil em comparação a tecnologias anteriores. Do ponto de vista eletroquímico, essas baterias operam por meio da intercalação reversível de íons Li^+ entre o ânodo, geralmente constituído de grafite e o cátodo, formado por óxidos metálicos complexos que combinam lítio com metais de transição, como cobalto (Co), níquel (Ni) e manganês (Mn) (Gaines, 2018).

Os materiais catódicos representam o núcleo tecnológico dessas baterias e são determinantes tanto para seu desempenho quanto para seu impacto ambiental. Compostos como LiCoO_2 , $\text{Li}(\text{NiMnCo})\text{O}_2$ (NMC) e $\text{Li}(\text{NiCoAl})\text{O}_2$ (NCA) exemplificam a complexidade química envolvida, uma vez que combinam múltiplos metais de alto valor agregado. Além disso, as baterias de íons de lítio utilizam cobre (Cu) e alumínio (Al) como coletores de corrente no ânodo e no cátodo, respectivamente, ampliando ainda mais o potencial de recuperação de materiais durante o processo de reciclagem (Manahan, 2013).

Sob a ótica da sustentabilidade, a reciclagem dessas baterias assume caráter estratégico, especialmente em função dos impactos ambientais e sociais associados à extração

mineral de seus principais constituintes. A mineração de cobalto, por exemplo, está frequentemente relacionada a degradação ambiental, elevado consumo de água e denúncias de violações de direitos humanos em regiões produtoras. O lítio, por sua vez, embora essencial para a transição energética, é extraído majoritariamente a partir de salmouras ou minerais, processos que demandam grandes volumes de água e podem comprometer ecossistemas frágeis, especialmente em áreas semiáridas (Gaines, 2018; Ellen MacArthur Foundation, 2019).

Nesse contexto, a reciclagem de baterias de íons de lítio permite a recuperação controlada desses metais, transformando resíduos eletroquímicos em fontes secundárias de matérias-primas. Processos hidro metalúrgicos, amplamente estudados e utilizados, envolvem etapas de lixiviação ácida, separação seletiva e precipitação, possibilitando a obtenção de sais de lítio, cobalto, níquel e manganês com elevado grau de pureza. Em etapas posteriores, técnicas eletroquímicas, como a eletrodeposição, podem ser empregadas para a purificação final ou recuperação metálica, evidenciando a aplicação direta dos princípios da eletroquímica na valorização desses resíduos (Manahan, 2013).

Além dos metais ativos, a reciclagem das baterias de íons de lítio permite o reaproveitamento de componentes estruturais, como o alumínio e o cobre dos coletores de corrente, que apresentam altas taxas de reciclagem e baixo custo energético quando comparados à produção primária. Dessa forma, praticamente todos os constituintes das baterias podem ser reinseridos em novos ciclos produtivos, reforçando o conceito de fechamento de ciclos materiais, central à economia circular (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

A presença de níquel (Ni) em pilhas e baterias recarregáveis, especialmente nos sistemas níquel-cádmio (Ni-Cd) e níquel-hidreto metálico (Ni-MH), confere a esses dispositivos um elevado potencial de reaproveitamento de materiais, ao mesmo tempo em que impõe desafios ambientais e sanitários quando o descarte ocorre de forma inadequada. O níquel atua predominantemente no eletrodo positivo dessas pilhas, geralmente na forma de hidróxido de níquel $[\text{Ni}(\text{OH})_2]$, participando ativamente das reações de oxirredução responsáveis pelo armazenamento e liberação de energia elétrica. Ao final da vida útil, entretanto, esse material permanece quimicamente ativo, o que justifica a necessidade de sua recuperação por meio de processos de reciclagem controlados e tecnologicamente avançados (Baird; Cann, 2011).

Do ponto de vista da eletroquímica aplicada, a reciclagem do níquel baseia-se na conversão das espécies sólidas presentes na massa eletroativa em íons solúveis, permitindo sua separação e purificação. Em escala industrial, as pilhas passam inicialmente por etapas de coleta e triagem, seguidas de desmontagem mecânica e trituração em ambientes controlados. Esse tratamento possibilita a separação dos componentes estruturais, como carcaças metálicas e plásticos, da fração eletroquimicamente ativa, onde se concentra o níquel. Posteriormente, essa fração é submetida a processos de lixiviação química, geralmente utilizando soluções ácidas, que promovem a solubilização do níquel na forma de íons Ni^{2+} (Manahan, 2013).

Após a lixiviação, o níquel é separado dos demais metais presentes por técnicas de purificação, como precipitação seletiva, extração por solventes ou troca iônica. Esses procedimentos permitem a obtenção de compostos de níquel com elevado grau de pureza, como sulfato ou óxido de níquel, que podem ser empregados diretamente em diferentes segmentos industriais. Em muitos casos, a recuperação final do metal ocorre por meio de processos eletroquímicos, como a eletrodeposição, nos quais os íons Ni^{2+} são reduzidos a níquel metálico em eletrodos apropriados, evidenciando a aplicação direta dos princípios da eletroquímica no fechamento do ciclo produtivo (Baird; Cann, 2011).

O níquel reciclado apresenta ampla gama de aplicações, destacando-se sua reutilização na produção de novas baterias recarregáveis, ligas metálicas, especialmente aços inoxidáveis, e revestimentos metálicos obtidos por galvanoplastia. Além disso, compostos de níquel são empregados como catalisadores e em processos químicos industriais, ampliando o valor agregado do material recuperado. A reutilização do níquel proveniente de pilhas descartadas contribui significativamente para a redução da demanda por mineração primária, atividade associada a elevado consumo energético, degradação ambiental e geração de resíduos perigosos (Manahan, 2013).

Observa-se que a análise dos materiais recicláveis presentes nas pilhas e baterias, com destaque para o zinco, o manganês, o níquel, o cobalto e o lítio evidencia que esses dispositivos eletroquímicos concentram recursos de elevado valor tecnológico, econômico e estratégico. A compreensão de suas funções eletroquímicas, aliada ao conhecimento dos processos de reciclagem e reutilização, permite reconhecer que o resíduo de pilhas não representa o fim de um ciclo, mas a possibilidade de reinserção desses materiais em novas cadeias produtivas. Nesse sentido, a articulação entre eletroquímica, reciclagem, logística reversa e economia circular revela-se fundamental para a mitigação de impactos ambientais

e sociais associados à mineração primária, ao mesmo tempo em que reforça o papel do conhecimento científico na construção de sistemas produtivos mais sustentáveis e socialmente responsáveis.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa tem como foco central a abordagem do tema eletroquímica e seu desdobramento no estudo de pilhas, com ênfase na importância dos experimentos no ensino de química para alunos do Ensino Médio. A metodologia empregada busca explorar formas pelas quais a experimentação pode facilitar a compreensão dos conceitos eletroquímicos e, ao mesmo tempo, promover a conscientização sobre a reciclagem de pilhas e os malefícios para meio ambiente de um descarte incorreto desses dispositivos.

A metodologia adotada apresenta uma abordagem qualitativa de caráter experimental, fundamentada em referenciais teóricos que integram a Química, a educação ambiental e as metodologias ativas de aprendizagem, com a seleção de dois experimentos didáticos, análise dos impactos pedagógicos no processo de ensino e aprendizagem, e a percepção dos alunos em relação à relevância prática do conteúdo. Ao investigar a articulação entre o conteúdo teórico e a prática experimental, a pesquisa objetiva compreender como essas atividades podem contribuir para uma formação mais crítica e consciente sobre os impactos ambientais associados ao ciclo de vida das pilhas, promovendo atitudes responsáveis no descarte e reciclagem. A pesquisa foi aplicada em turmas do Ensino Médio e utilizará métodos indutivos e participativos, envolvendo tanto a experimentação científica quanto a reflexão crítica dos alunos sobre os impactos ambientais do descarte incorreto de pilhas.

A metodologia será subdividida em etapas como planejamento do conteúdo, seleção e reprodução dos experimentos, planejamento e aplicação dos experimentos, planejamento e aplicação pós-experimento e verificação da aprendizagem. Além disso, aulas expositivas, abordando os fundamentos da eletroquímica (como pilhas, baterias e reações de oxirredução) e o conceito de sustentabilidade, com ênfase na economia circular e nos ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável). Além disso, os alunos serão introduzidos nas legislações brasileiras sobre o descarte correto de pilhas e baterias.

A sequência didática foi desenvolvida com estudantes do 2º ano do Ensino Médio da rede privada, no Centro Educacional Milton Muniz, localizado no centro de Maricá (RJ). A escolha desse ano de escolaridade justificou-se por se tratar de conteúdo previsto para essa etapa, conforme orientações da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). O produto educacional foi aplicado no 2º bimestre de 2025, com duas turmas de 2º ano, com média de 35 estudantes em cada uma. As atividades foram realizadas no âmbito dos itinerários formativos ofertados pela escola, às quartas-feiras, o que demandou planejamento prévio para

garantir a organização do tempo didático, a condução das etapas e a sistematização final dos conceitos trabalhados.

No desenvolvimento da sequência, foi incluído dois experimentos de caráter demonstrativo, conduzido integralmente pelo professor. Nessa etapa, os estudantes não participaram da manipulação direta dos materiais, permanecendo como observadores do procedimento experimental. Essa opção metodológica considerou aspectos de segurança, disponibilidade de tempo e a logística necessária para a realização da prática com grupos numerosos, além de buscar assegurar que todos tivessem condições de acompanhar as etapas essenciais do experimento com clareza. Assim, o professor executou o procedimento passo a passo em local visível à turma, garantindo que os componentes e as transformações observáveis fossem apresentadas de forma sequenciada e compreensível.

Embora não tenham manipulado os materiais, os estudantes participaram ativamente por meio de uma observação orientada, mediada por perguntas norteadoras e por momentos de pausa estratégica ao longo da demonstração. Antes do início do experimento, o professor explicou os objetivos da prática, retomando os conceitos fundamentais necessários à compreensão do fenômeno (ânodo, cátodo, oxidação, redução, diferença de potencial e fluxo de elétrons) e apresentou os materiais e suas funções no sistema. Durante a execução, os alunos foram convidados a registrar observações, identificar evidências macroscópicas (mudanças de cor, formação de depósito, presença de bolhas ou variações de leitura em instrumentos, quando aplicável) e relacioná-las com a explicação submicroscópica do processo, mobilizando a linguagem científica apropriada.

A escolha por apenas dois experimentos demonstrativos se mostrou pedagogicamente relevante, especialmente no ensino de eletroquímica, por se tratar de um conteúdo que frequentemente apresenta alto nível de abstração para estudantes do Ensino Médio. Ao tornar visíveis efeitos associados à transferência de elétrons e à produção de corrente elétrica, a demonstração contribui para reduzir a distância entre teoria e fenômeno, favorecendo a construção de significados e a compreensão de relações de causa e efeito. Além disso, esse tipo de prática amplia o engajamento ao criar um “marco” concreto para a discussão conceitual posterior: a observação do experimento atua como referência comum para que a turma retome, discuta e sistematize os conceitos trabalhados, minimizando a aprendizagem baseada apenas na memorização de definições.

Do ponto de vista didático, a prática demonstrativa também permite ao professor controlar variáveis, garantir a sequência correta do procedimento e assegurar que a turma

observe as evidências mais relevantes, o que é especialmente importante quando o tempo de aula é limitado e o número de estudantes é elevado. Nesse formato, a atividade experimental assume o papel de recurso de mediação pedagógica: ainda que a manipulação não tenha sido realizada pelos alunos, a observação orientada, os registros e o diálogo científico durante e após a demonstração preservam o caráter investigativo do experimento, fortalecendo o desenvolvimento de habilidades como atenção a evidências, descrição, interpretação e argumentação com base em dados observáveis.

Ao final da demonstração, realizou-se uma sistematização coletiva, na qual as observações registradas pelos estudantes foram retomadas e conectadas aos conceitos teóricos, reforçando a compreensão do funcionamento das células eletroquímicas e sua importância na geração de energia em dispositivos presentes no cotidiano. Desse modo, a sequência didática articulou exposição teórica, contextualização e experimentação demonstrativa, visando promover aprendizagem significativa e consolidar os fundamentos da eletroquímica de maneira acessível e cientificamente adequada ao nível de ensino.

3.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA APLICADA

Seguindo a BNCC, o conteúdo de eletroquímica e a promoção da sustentabilidade, o objetivo desta proposta pedagógica aplicada foi proporcionar aos alunos do Ensino Médio uma abordagem prática e reflexiva sobre o tema eletroquímica, com foco no estudo das pilhas e suas implicações ambientais e sanitárias. Sendo assim, as atividades foram estruturadas na forma de Sequência Didática (SD), com base nos princípios da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), buscando integrar teoria e prática de maneira contextualizada e alinhada às competências e habilidades previstas para a área de Ciências da Natureza. A SD é dividida em encontros realizados durante as aulas ministradas.

3.1.1 Primeiro encontro

Para o primeiro encontro elaborou-se e ministrou-se uma aula expositiva dialogada de eletroquímica, ao longo de duas aulas de 50 minutos cada. O objetivo foi apresentar os conceitos fundamentais desta área da química, proporcionando aos alunos uma compreensão clara e dinâmica sobre as reações redox, a transferência de elétrons, a diferença de potencial (ddp) e o papel da ponte salina nas pilhas.

No primeiro tempo, de 50 minutos, fez-se uma introdução aos conceitos fundamentais, começando com uma explicação sobre os fundamentos da eletroquímica,

destacando a importância das reações de oxirredução, que envolvem a transferência de elétrons entre espécies químicas. Os conceitos de anodo e cátodo foram abordados, com ênfase em como esses componentes das células eletroquímicas estão relacionados ao fluxo de elétrons durante as reações redox.

Após essa explicação inicial, realizou-se uma discussão sobre como essas reações de oxirredução são a base das pilhas e baterias. A ideia é que o aluno tivesse a oportunidade de visualizar, por meio de esquemas e diagramas, como os elétrons migram entre os eletrodos, de acordo com os processos de oxidação e redução.

No segundo tempo da aula, foi introduzido o conceito de diferença de potencial (ddp), que é a força motriz responsável pela movimentação dos elétrons entre os dois eletrodos.

Foi discutido também o conceito de ponte salina, uma parte crucial de muitas células eletroquímicas compostas por dois compartimentos eletródicos. A ponte salina, que é geralmente composta por uma solução salina gelificada, serve para completar o circuito entre o ânodo e o cátodo que estão separados, permitindo que os íons da solução se movam para os compartimentos, equilibrando as cargas elétricas e mantendo a eletroneutralidade no sistema.

A fim de melhorar o entendimento do conteúdo trabalhado, a proposta é que o professor apresente um modelo de célula eletroquímica simples, com diagramas de como a ponte salina conecta as soluções de diferentes íons e como os elétrons se movem ao longo do fio condutor.

Ao final da aula, foi realizado um momento de fechamento pedagógico com o objetivo de estimular os estudantes a retomarem, de forma ativa, os conceitos discutidos ao longo do encontro. Esse estímulo ocorreu por meio de uma revisão breve e orientada, conduzida pelo professor, na qual os alunos foram convidados a verbalizar definições essenciais e a estabelecer relações entre os termos-chave trabalhados (ânodo, cátodo, diferença de potencial elétrico (ddp) e ponte salina) e o funcionamento global das células eletroquímicas. Para favorecer a participação e a consolidação da aprendizagem, a revisão foi estruturada a partir de perguntas norteadoras e situações-problema de curta duração, como: “Em qual eletrodo ocorre a oxidação e por quê?”, “Como a ponte salina contribui para manter o sistema em funcionamento?” e “O que a ddp representa no contexto de geração de corrente elétrica?”. As respostas eram discutidas coletivamente, com intervenções pontuais do professor para corrigir equívocos conceituais, reforçar justificativas e retomar, quando necessário, o raciocínio que fundamenta os processos de transferência de elétrons.

Além disso, foram retomados os diagramas e esquemas apresentados durante a exposição teórica, de modo que os estudantes pudessem reconstruir o modelo explicativo da célula eletroquímica, identificando seus componentes e suas funções. Essa estratégia buscou transformar a revisão final em um momento de sistematização, e não apenas de repetição, incentivando a mobilização do conhecimento e o desenvolvimento de argumentação científica. Complementarmente, foram apresentados exemplos do cotidiano (como baterias e pilhas utilizadas em dispositivos eletrônicos) para que os alunos associassem os conceitos à realidade tecnológica e compreendessem a relevância social do tema, especialmente no que se refere à geração e ao uso de energia.

Em síntese, o primeiro encontro foi planejado para garantir uma base teórica consistente sobre os princípios da eletroquímica, destacando conceitos estruturantes como ânodo, cátodo, ddp e a função da ponte salina. A utilização de explicações objetivas, diagramas e contextualizações permitiu organizar cognitivamente as informações e favorecer a aprendizagem significativa. O estímulo à revisão ao final da aula constituiu, portanto, uma estratégia de consolidação e verificação formativa, contribuindo para a assimilação do conteúdo e para o desenvolvimento do pensamento crítico acerca da importância das células eletroquímicas nos processos de geração de energia.

3.1.2 Segundo encontro

No segundo encontro, pós aula teórica, com duração de dois tempos de 50 minutos, foram realizados os experimentos da pilha de Daniell e da pilha de limão, cujos roteiros estão apresentados no Apêndice A. Os experimentos foram elaborados para uso de materiais reciclados, incluindo metais extraídos de pilhas AA usadas. A atividade foi conduzida com o objetivo de que os estudantes compreendessem os conceitos fundamentais de reações redox, potencial elétrico e células galvânicas, ao mesmo tempo em que se promovia a prática da sustentabilidade, por se utilizar componentes de pilhas usadas.

Posteriormente, os alunos responderam a um questionário avaliativo, elaborado com o objetivo de verificar a compreensão dos conceitos envolvidos e o impacto da atividade na aprendizagem.

As perguntas do questionário foram:

1. Explique com suas palavras o que é uma pilha eletroquímica.

2. Qual foi a função do eletrodo de zinco e do eletrodo de cobre na pilha construída no experimento?
- a) Ambos funcionaram como condutores neutros.
 - b) O zinco funcionou como cátodo e o cobre como ânodo.
 - c) O zinco perdeu elétrons (ânodo) e o cobre os recebeu (cátodo).
 - d) O cobre produziu energia e o zinco armazenou.
3. Durante o experimento, observamos o acendimento do LED ou movimento da agulha no multímetro. O que isso indica?
- a) Apenas presença de calor.
 - b) Passagem de corrente elétrica pela solução.
 - c) A produção de gás oxigênio.
 - d) A presença de luz solar.
4. A reação entre cobre e zinco é um exemplo de:
- a) Reação de síntese.
 - b) Reação ácido-base.
 - c) Reação de oxirredução.
 - d) Reação de combustão.
5. Você conseguiu observar sinais de geração de corrente elétrica? Descreva o que aconteceu.
6. A reutilização dos eletrodos retirados de uma pilha foi útil para demonstrar o funcionamento de uma pilha eletroquímica? Por quê?
7. Qual foi a função da solução eletrolítica no experimento? Você consegue pensar em outro líquido que poderia ter sido usado?
8. Você considera que o experimento ajudou a compreender melhor os conteúdos de eletroquímica? Justifique sua resposta.
9. Marque a alternativa que melhor expressa sua percepção da aula prática:
- a) Consegui entender melhor o conteúdo com a prática.
 - b) A prática foi interessante, mas prefiro aula teórica.
 - c) A prática não teve relação com o conteúdo aprendido.
 - d) Achei o experimento confuso e sem sentido.
10. Se você pudesse modificar algo no experimento para torná-lo ainda mais interessante ou eficiente, o que sugeriria?

Este questionário constitui uma avaliação diagnóstica realizada depois da prática estabelecida, pois ajudará a identificar o nível de conhecimento dos alunos sobre o tema abordado, permitindo que o professor ajuste a sequência didática às necessidades e dificuldades específicas da turma. Com isso, o ensino pode ser mais direcionado e eficaz.

3.1.3 Terceiro encontro

No terceiro Encontro, realizou-se uma discussão sobre os Impactos Ambientais e Sanitários do descarte de Pilhas, com o objetivo de contextualizar o conhecimento adquirido no experimento prático, os alunos participaram de uma discussão voltada para os impactos ambientais e sanitários do descarte incorreto de pilhas. Este encontro também foi estruturado em dois tempos de 50 minutos, com um enfoque reflexivo e investigativo, alinhado à BNCC, que enfatiza o desenvolvimento de uma visão crítica sobre os desafios ambientais e o uso consciente de recursos.

Durante a aula, foram apresentados dados sobre os efeitos do descarte inadequado de pilhas no meio ambiente, como a contaminação do solo e da água devido ao vazamento de metais pesados, como cádmio e mercúrio. Em seguida, os alunos foram incentivados a comparar a situação atual com os princípios da economia circular, que visam à redução, reutilização e reciclagem de materiais. A partir dessa comparação, os estudantes discutiram soluções possíveis para minimizar os impactos ambientais, refletindo sobre alternativas mais sustentáveis, como a reciclagem de pilhas e o uso de materiais menos poluentes. O objetivo é que os alunos compreendam a importância do ciclo de vida dos produtos e a necessidade de incorporar práticas sustentáveis em seu cotidiano.

A aula foi estruturada para favorecer debates e troca de informações entre estudantes e docente, seguindo três momentos didáticos:

1. Problematização inicial: apresentação do tema (pilhas e descarte) e levantamento de percepções prévias dos estudantes sobre riscos ambientais e práticas locais.
2. Debate mediado: condução do diálogo pelo docente com perguntas orientadoras (por exemplo: “o que acontece quando pilhas vão para o lixo comum?”, “como o ciclo de vida de um produto influencia o impacto ambiental?”, “onde descartar corretamente no município?”), buscando estimular argumentação e confronto de ideias.

3. Sistematização e conexão com ODS: organização das contribuições em eixos (impactos ambientais; responsabilidade compartilhada; práticas de destinação; ação local), relacionando a discussão com EDS/Agenda 2030 e com atitudes concretas.

Durante o debate, emergiram contribuições espontâneas dos estudantes, incluindo a menção a pontos de coleta em Maricá para descarte de pilhas usadas, aspecto relevante para a territorialização do conteúdo. A aula dialogou com iniciativas locais divulgadas pelo poder público, como ecopontos e orientações de descarte que incluem itens como pilhas/baterias.

Essa discussão permitiu que os estudantes se apropriassem de conceitos fundamentais, como sustentabilidade, economia circular e gestão de resíduos, desenvolvendo uma consciência crítica sobre as questões ambientais e sanitárias, conforme as diretrizes da BNCC para a formação cidadã e ética dos alunos (EM13CNT106).

Ao longo dos três encontros, os alunos serão estimulados a desenvolver uma série de competências e habilidades, conforme o que é estabelecido pela BNCC para o Ensino

Médio, com ênfase em Ciências da Natureza. Entre as competências trabalhadas estão:

1. Desenvolver a compreensão dos processos eletroquímicos e suas aplicações (EM13CNT101).

2. Refletir sobre os impactos ambientais e sanitários de práticas cotidianas (EM13CNT106).

3. Estabelecer conexões entre o conhecimento científico e as questões socioambientais, reconhecendo a importância da economia circular e das práticas sustentáveis (EM13CNT104).

4. Desenvolver habilidades de trabalho em grupo, comunicação e solução criativa de problemas, ao realizar experimentos e discussões (EM13CNT103).

Esse planejamento buscou proporcionar aos alunos uma experiência integrada e significativa, envolvendo práticas experimentais e reflexão crítica sobre temas atuais relacionados à ciência e ao meio ambiente. Além disso, a proposta atende aos objetivos de aprendizagem da BNCC, favorecendo o desenvolvimento de competências cognitivas e socioemocionais essenciais para a formação de cidadãos conscientes e ativos na sociedade.

3.2 SELEÇÃO E VALIDAÇÃO DOS EXPERIMENTOS PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO

A escolha de experimentos para alunos do Ensino Médio que não dispõem de um laboratório adequado exige criatividade e a adaptação de técnicas simples, porém significativas, que proporcionem uma aprendizagem eficaz e envolvente.

Considerando essa realidade, foram selecionados três experimentos práticos para o estudo de pilhas e reações eletroquímicas, com a intenção de aproximar os estudantes dos conceitos científicos de maneira mais lúdica, concreta e acessível. Os experimentos escolhidos foram: a pilha de Daniell, a pilha de limão e o experimento com eletrodo de grafite. Entretanto, no contexto de aplicação em sala de aula, apenas dois deles foram efetivamente realizados com os alunos: a pilha de Daniell e a pilha de limão.

Esses dois experimentos foram escolhidos não apenas pela sua viabilidade em escolas sem laboratório, mas também pelo potencial de tornar o aprendizado mais dinâmico e interessante. As aulas práticas, especialmente quando combinadas com abordagens lúdicas, como o uso de materiais comuns e a realização de experimentos simples, oferecem uma experiência de aprendizado mais significativa e envolvente. Os alunos podem observar diretamente os conceitos teóricos em ação, o que facilita a compreensão de processos químicos complexos. Além disso, o caráter experimental das atividades promove a curiosidade e o pensamento crítico, incentivando os alunos a fazerem perguntas e a buscarem soluções para problemas de forma autônoma.

Em suma, a metodologia proposta neste estudo combina uma abordagem prática e teórica, integrando a experimentação eletroquímica com a educação para a sustentabilidade. Por meio de atividades experimentais com materiais recicláveis e reflexão orientada buscamos não apenas aprofundar o conhecimento dos alunos sobre os fundamentos da eletroquímica, mas também promover uma reflexão crítica sobre o descarte correto de pilhas.

Ao alinhar a aprendizagem ativa e experimental com as diretrizes nacionais e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, espera-se que esta metodologia contribua para a formação de um pensamento mais consciente e responsável em relação ao meio ambiente. Além disso, a aplicação das atividades de ensino permitirá uma maior interação e protagonismo dos alunos no processo de aprendizagem, fomentando a construção de conhecimento de forma colaborativa e crítica.

Por fim, os instrumentos qualitativos aplicados ao longo das etapas metodológicas garantem uma análise aprofundada sobre a eficácia das atividades propostas, bem como a

capacidade dos alunos de relacionar os conteúdos de Química ao contexto socioambiental, cumprindo, assim, os objetivos do estudo.

3.3 EXPANSÃO DO EXPERIMENTO DA PILHA DE DANIELL E POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO.

O experimento inicial foi baseado no modelo tradicional da pilha de Daniell, composto pelos eletrodos de cobre e zinco, imersos em soluções de sulfato de cobre e sulfato de zinco, respectivamente. Para expandir as possibilidades do experimento, como sugestão poderá ser realizada a substituição dos eletrodos tradicionais por eletrodos de ferro e grafite, com o objetivo de analisar as variações nos potenciais de célula e na eficiência da pilha. Além disso, poderá ser utilizados eletrólitos alternativos, como nitrato de prata e sulfato de cobre, para verificar como a composição da solução pode influenciar a corrente gerada.

Embora uma pilha de Daniell sozinha não forneça a voltagem necessária para acender uma lâmpada de LED de alto consumo, é possível acender LEDs de baixo consumo. Para isso, seria necessário conectar várias pilhas de Daniell em série para aumentar a tensão (voltagem) até o valor exigido pelo LED (geralmente em torno de 1,5V a 3V). Essa aplicação pode ser uma demonstração interessante para os alunos, pois ela conecta o conhecimento teórico sobre eletrólise e a produção de energia elétrica com uma aplicação prática.

Com a geração de uma corrente suficiente, seria possível alimentar pequenos dispositivos de baixo consumo como relógios digitais simples. Esses dispositivos exigem uma tensão estável e uma corrente moderada, que poderiam ser proporcionadas por uma configuração adequada de pilhas de Daniell, especialmente se várias pilhas forem conectadas em série.

Dispositivos simples como buzinas elétricas ou alarmes sonoros de baixo consumo também pode ser alimentados por uma pilha de Daniell. Esses dispositivos consomem corrente de forma contínua, mas geralmente não exigem uma alta tensão, o que os torna uma aplicação viável para a pilha.

Alguns ventiladores elétricos pequenos, como os usados em brinquedos ou experimentos de baixo custo, podem ser alimentados por uma pilha de Daniell. Embora o motor precise de uma corrente constante, os ventiladores de baixa potência são projetados

para operar com tensões de 3V ou 6V, o que poderia ser alcançado com a combinação de várias pilhas de Daniell.

Pequenos motores de corrente contínua usados em brinquedos ou experimentos educativos simples podem ser acionados com a energia gerada por uma pilha de Daniell. Como esses motores geralmente requerem uma tensão de 3V a 6V, a combinação de várias pilhas pode ser suficiente para acionar esses dispositivos, dependendo da configuração.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão apresentados resultados obtidos a partir da implementação de estratégias didáticas externas para o ensino de eletroquímica, com foco na formação do pensamento sustentável. A experimentação eletroquímica foi utilizada como ferramenta pedagógica central para promover a conscientização discente sobre o impacto ambiental causado pelo descarte incorreto de pilhas, alinhando o conteúdo científico às demandas da sustentabilidade.

4.1 ENSAIOS PRELIMINARES

A busca por vídeos confiáveis sobre a abertura de pilhas mostrou-se uma tarefa desafiadora. A pesquisa foi necessária para compreender como realizar a abertura de pilhas novas, com o objetivo de aproveitar todos os seus componentes e analisar as diferenças entre eles. No entanto, os vídeos disponíveis são, em sua maioria, simplistas e não refletem a realidade do processo, eles demonstram uma facilidade que não condiz com a prática. Na prática, todas as pilhas abertas apresentaram dificuldades que não foram mencionadas nos vídeos, que estão disponíveis no *youtube*, o que dificultou o procedimento e revelou uma discrepância significativa entre o que é mostrado e o que realmente acontece ao tentar abrir uma pilha de maneira eficiente e segura.

As pilhas, dependendo de seus tipos e fabricantes, apresentam composições químicas e estruturais diferentes, o que torna essencial a abertura de diversos exemplares (Figura 6) para entender as variações entre elas.

Figura 6 – Abertura de uma pilha alcalina



Fonte: Própria do autor 2025.

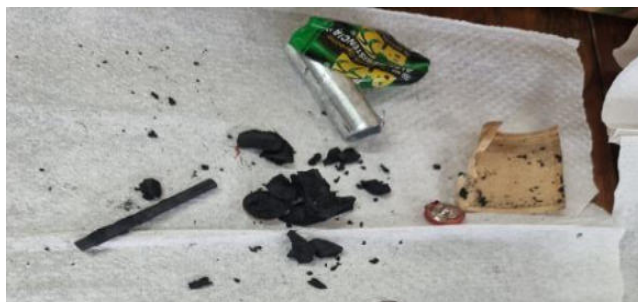
Foi necessário realizar esse procedimento para comparar os componentes e identificar as particularidades de cada tipo de pilha. No entanto, um dos fatores que complicou o processo foi o estado de deterioração de algumas pilhas, que, com o tempo, apresentam corrosão e manipulação de suas partes internas e externas. Isso dificultou significativamente a abertura dos dispositivos, tornando-o mais complexo e exigindo maior cuidado, visto que uma estrutura comprometida pode tornar o processo mais perigoso e menos previsível.

Ao abrir pilhas de diferentes marcas, foram identificadas diferenças que afetam tanto sua composição quanto seu funcionamento.

Uma das principais diferenças está nos eletrodos. Algumas pilhas utilizam um eletrodo de grafite como cátodo (Figura 7), enquanto outras fazem uso de zinco (Figura 8), que pode atuar como ânodo em determinados modelos. Essa influência varia diretamente nas reações eletroquímicas que ocorrem dentro da pilha

Na Figura 7 é possível observar o eletrodo de grafite que é o catodo da pilha e o invólucro de zinco que funciona como anodo.

Figura 7 – Eletrodo de grafite extraído da pilha em estudo



Fonte: Própria do autor, 2025.

Na Figura 8 mostra-se um eletrodo interno de zinco extraído de uma pilha comercial. Este eletrodo foi utilizado no experimento de pilha de Daniell aplicado na escola.

Figura 8 – Eletrodo de Zinco, extraído de uma pilha AA em estudo



Fonte: Própria do autor, 2025.

Algumas informações importantes destacadas nestes ensaios preliminares foram destacadas a seguir.

As pilhas de marcas diferentes podem conter eletrólitos diferentes. Alguns utilizam cloreto de amônio ou óxido de manganês, enquanto outros fazem uso de hidróxido de potássio. A escolha do eletrólito também afeta a durabilidade e o desempenho da pilha.

A disposição dos materiais no interior das pilhas varia significativamente entre marcas. Em alguns casos, o grafite é centralizado e rodeado pelo eletrólito, enquanto em outros, o zinco é aplicado como um revestimento externo que também funciona como eletrodo. Essa diferença de design altera a eficiência e a capacidade de reciclagem dos componentes.

Outra diferença importante foi observada na camada de proteção contra corrosão, que varia em espessura e qualidade entre as pilhas. Alguns utilizam materiais de maior resistência à proteção, enquanto outros empregam camadas mais finas, o que acelera o processo de corrosão e manipulação ao longo do tempo. Essas diferenças estruturais e químicas revelam a diversidade na fabricação de pilhas, impactando diretamente o desempenho e a facilidade de abertura dos dispositivos.

4.2 PREPARO DAS SOLUÇÕES E MONTAGEM DA PONTE SALINA

Para a realização dos experimentos, foram preparadas soluções de sulfato de cobre 1 M (CuSO_4) e de sulfato de zinco 1M (ZnSO_4 - Figura 9), permitindo a montagem da célula eletroquímica. Além disso, foi preparada uma solução de Cloreto de Potássio (KCl) e Cloreto

de Sódio (NaCl) para ser utilizada na ponte salina, componente essencial para equilibrar as cargas durante o funcionamento da pilha.

Figura 9 – Sulfato de Cobre (esquerda) e de Zinco (direita)

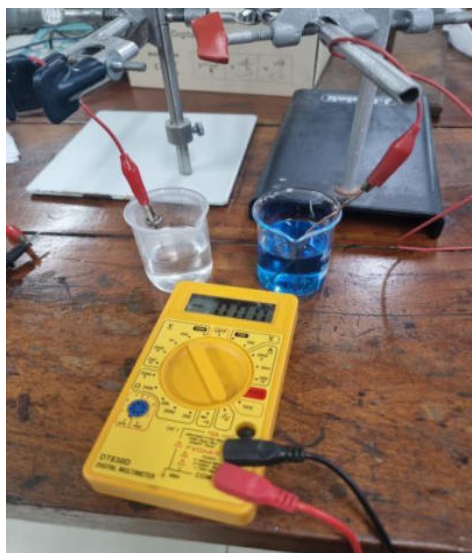


Fonte: Própria do autor, 2025.

Inicialmente, foi testado uma solução de cloreto de sódio (NaCl) para montagem da ponte salina, no entanto, os resultados mostraram que a voltagem gerada pela pilha estava alta, prejudicando uma interferência no funcionamento adequado do sistema. Isso ocorre porque o NaCl , apesar de ser um eletrólito comum, pode alterar a resistência interna da célula ou potencial eletroquímico. Na ausência da ponte salina, como observado na Figura 10, não ocorre a transferência de elétrons entre os eletrodos, impossibilitando o funcionamento completo da célula eletroquímica. Isso ocorre porque a ponte salina é um componente essencial que permite o equilíbrio de cargas nas duas soluções eletrolíticas envolvidas.

Sem a ponte salina, as soluções começaram a se carregar positivamente ou qualidades de forma desigual à medida que os íons migram, o que impedem a continuidade do fluxo de elétrons através do circuito externo. Em outras palavras, as cargas se acumularam em excesso em uma das soluções, gerando uma barreira que interrompeu o movimento de elétrons entre os eletrodos, essencial para a geração de eletricidade. A função da ponte salina é justamente permitir uma passagem controlada de íons, evitando esse acúmulo de carga e mantendo o fluxo de elétrons constante.

Figura 10 – Pilha de Daniell montada sem a ponte salina



Fonte: Própria do autor, 2025.

Optou-se, então, por substituir o NaCl por cloreto de potássio (KCl), uma escolha mais adequada para a ponte salina, devido ao comportamento de seus íons em solução. Em termos didáticos, mobilidade iônica pode ser compreendida como a facilidade, ou velocidade com que um íon consegue se deslocar na solução aquosa quando há uma força que o impulsiona, como um campo elétrico gerado pela própria pilha. Assim, quanto maior a mobilidade iônica, mais rapidamente o íon migra pelo meio líquido, contribuindo para o transporte de carga e para a manutenção do equilíbrio elétrico entre as semicelas.

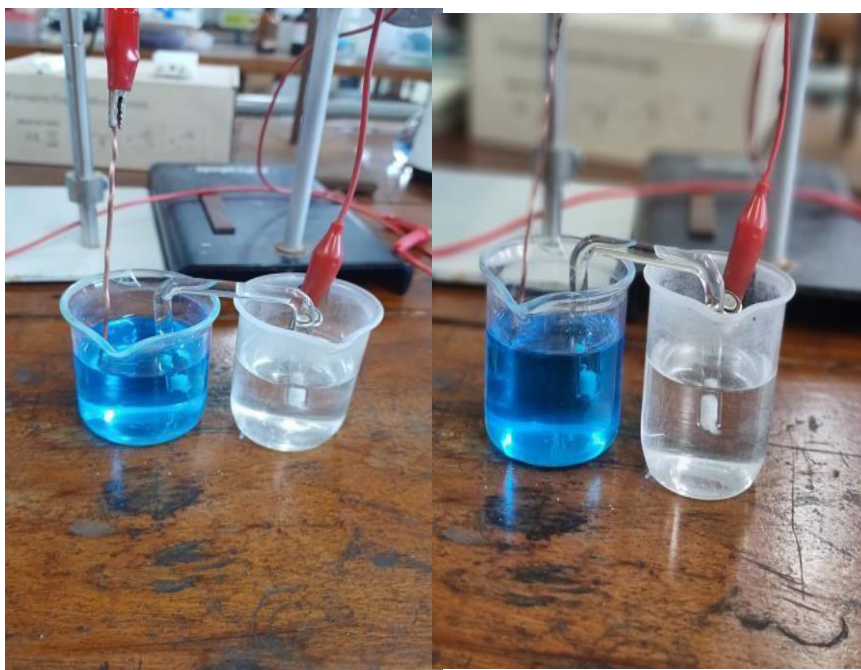
No caso do KCl, os íons K^+ e Cl^- apresentam mobilidades mais semelhantes entre si, o que significa que ambos tendem a se deslocar em ritmos próximos dentro da ponte salina. Essa característica é importante porque reduz a chance de ocorrer separação de cargas na região de contato entre soluções diferentes, fenômeno que pode gerar uma diferença de potencial adicional e indesejada, chamada potencial de junção. Consequentemente, o uso de KCl favorece uma ddp mais estável, tornando o funcionamento da pilha Zn/Cu mais consistente e mais fácil de interpretar em sala de aula.

Por outro lado, no NaCl, o Na^+ tende a se deslocar mais lentamente do que o Cl^- . Isso ocorre porque o Na^+ interage de forma mais intensa com as moléculas de água, passando a carregar uma camada de água mais estruturada ao seu redor, o que aumenta o arrasto e dificulta sua migração. Essa diferença de mobilidade entre os íons pode intensificar o potencial de junção e provocar oscilações ou desvios na ddp observada. Dessa forma, a substituição do

NaCl por KCl na ponte salina contribui para reduzir interferências experimentais e para evidenciar, de modo mais claro, o papel do fluxo iônico na manutenção da eletroneutralidade e na geração de energia elétrica em células eletroquímicas.

Há um fator crucial no preparo da ponte salina, que é a colocação de dois chumaços de algodão embebidos com a solução de KCl no vidro em formato de U (Figura 11), para fechar o sistema eletroquímico de maneira eficiente. Esses chumaços atuam como barreiras impedindo que a solução desça do tubo, e permite a passagem controlada dos íons entre a ponte salina e as soluções de sulfato de cobre e de zinco, garantindo o equilíbrio de cargas necessário para o funcionamento adequado da célula. Sem esse aparato o sistema não funciona, comprometendo a reação de oxirredução.

Figura 11 - Dois chumaços de algodão embebidos com a solução de KCl no vidro em formato de U mostrados em dois ângulos de uma pilha de Daniell



Fonte: Própria do autor, 2025.

Outro aspecto crucial é a ausência de bolhas de ar dentro do vidro em formato de U, onde a solução de KCl é inserida. As bolhas de ar podem atuar como barreiras, bloqueando ou restringindo a passagem de íons pela ponte salina, pois o ar é um mau condutor de eletricidade. Isso gera interferências no fluxo de íons entre as soluções, provocando variações indesejadas na voltagem da célula e comprometendo a estabilidade do sistema. A presença de bolhas aumenta a resistência interna da ponte salina, o que pode resultar em leituras de

voltagem inconsistentes e um funcionamento inadequado do circuito eletroquímico. Portanto, garantir que não haja bolhas no interior do vidro e que os chumaços de algodão estejam corretamente embebidos com a solução de KCl foram passos essenciais para manter a eficiência do sistema e obter resultados mais precisos nos experimentos.

Para um melhor funcionamento nos experimentos, a preparação adequada dos materiais é essencial para garantir a precisão dos resultados. Durante o experimento, uma dificuldade significativa encontrada foi que o fato de o potencial medido estar apresentando constantemente valores muito superior ao esperado de acordo com a bibliografia. O valor de 1,10 volts, que é o potencial teórico para a Pilha de Daniell, foi obtido apenas após o correto ligamento dos eletrodos e das garras de jacaré (Figura 12). No entanto, mesmo quando o potencial esperado foi atingido, o comportamento do sistema não se manteve estável; o valor subiu rapidamente logo em seguida.

Figura 12 - Eletrodos conectados às garras tipo jacaré da pilha de Daniell



Fonte: Própria do autor, 2025.

Esse comportamento indica que, antes de estabelecer as conexões adequadas entre os eletrodos e as garras de jacaré, o circuito não estava funcionando de maneira ideal, possivelmente devido à maior conexão ou resistência adicional gerada por contatos inadequados. A correta fixação dos eletrodos e das garras foi fundamental para estabilizar o sistema e obter o potencial de 1,10 volts. No entanto, um aumento repentino do potencial

após esse ponto pode ter sido causado por algum desequilíbrio momentâneo no fluxo de íons ou na qualidade da conexão elétrica, o que interferiu na estabilização do experimento. Essas oscilações demonstram a sensibilidade do sistema eletroquímico e a necessidade de cuidado ao manusear os componentes para garantir leituras precisas e condições com a teoria.

É constatado que a qualidade da superfície dos eletrodos tem grande impacto na precisão dos experimentos. Uma superfície limpa e bem lixada facilita a ocorrência das reações de oxirredução, permitindo que os elétrons fluam de maneira mais eficiente entre os eletrodos e o eletrólito. A presença de oxidação ou sujeira, por outro lado, cria uma resistência elétrica maior, pois os produtos de oxidação são piores condutores de eletricidade que os metais, resultando em dados inconsistentes e tensões abaixo do esperado. Além disso, as garras de jacaré usadas para conectar os eletrodos ao circuito também desempenham um papel crucial na condução elétrica. Durante os experimentos, foi constatado que as garras de jacaré disponíveis no laboratório não ofereciam uma boa conexão, devido ao desgaste de oxidação e deformação, com baixa superfície de contato. Para garantir a condução elétrica adequada e eficiente, foi necessário utilizar garras novas, garantindo um contato firme e sem interferências.

A combinação de eletrodos bem lixados e garras de jacaré em bom estado garante que a condução dos elétrons ocorra de forma adequada, resultando em experimentos eletroquímicos mais precisos e consistentes. Esses cuidados são essenciais para obter dados confiáveis e uma melhor compreensão das especificações eletroquímicas.

4.3 EXPERIMENTAÇÃO EM SALA DE AULA COMO ESTRATÉGIA PARA O ENSINO DE ELETROQUÍMICA

No segundo encontro da SD proposta, realizou-se o experimento da pilha de Daniell, utilizando materiais reciclados, incluindo metais extraídos da pilha. A atividade foi conduzida com o objetivo de que os estudantes compreendessem os conceitos fundamentais de reações redox, potencial elétrico e células galvânicas, ao mesmo tempo em que promovem a prática da sustentabilidade.

Para realização do experimento utilizou-se os materiais e procedimentos descritos no Apêndice A.

A atividade experimental referente à determinação da diferença de potencial (ddp) em pilhas foi conduzida de forma demonstrativa, de modo que os alunos não manipularam diretamente os materiais, mas observaram atentamente a execução do experimento pelo

professor. Durante a aula, os estudantes puderam acompanhar a montagem de uma pilha eletroquímica e observar a medida da ddp no multímetro, conforme Figura 13.

Figura 13 – Realização do experimento de medida de ddp da pilha de Daniell em sala de aula

Fonte: Própria do autor, 2025.



O momento de observação foi intercalado com explicações conceituais, permitindo que os discentes relacionassem os fenômenos práticos — geração espontânea de corrente elétrica a partir de reações de oxirredução — com os conteúdos já discutidos em sala de aula sobre potenciais de redução e a espontaneidade das reações eletroquímicas.

Posteriormente, os alunos responderam ao questionário avaliativo, elaborado com o objetivo de verificar a compreensão dos conceitos envolvidos e o impacto da atividade na aprendizagem, cujos resultados serão discutidos no tópico seguinte.

A principal razão pela qual esse experimento foi selecionado é a sua simplicidade e o fato de que os materiais necessários são de fácil acesso, como o cobre, o zinco, as soluções de sulfato de cobre e sulfato de zinco. Além disso, a pilha de Daniell oferece uma excelente oportunidade para os alunos entenderem os conceitos de oxidação e redução, diferença de

potencial elétrico e circuitos elétricos, utilizando apenas materiais básicos. Este experimento é de fácil execução e pode ser realizado de forma segura, mesmo em escolas que não possuem um laboratório completo.

O segundo experimento realizado foi a pilha de limão, cujos materiais e procedimentos estão apresentados no Apêndice A.

O princípio químico por trás dessa montagem é que o suco de limão, rico em ácido cítrico, atua como um eletrólito em meio aquoso, permitindo o transporte ordenado de íons entre os eletrodos, criando assim um circuito elétrico. Esse experimento prático ilustra como o ácido cítrico presente no suco de limão facilita a condução de íons, demonstrando a geração de corrente elétrica de forma tangível (Atkins & De Paula, 2006).

Esse experimento foi escolhido por ser uma maneira divertida e prática de demonstrar a geração de energia elétrica a partir de uma reação redox simples. O uso do limão como eletrólito e metais como o cobre e o zinco como eletrodos facilita a compreensão do processo de condução de eletricidade através de substâncias comuns.

Este experimento também é de baixo custo e não exige equipamentos sofisticados, o que o torna uma opção ideal para escolas que não possuem infraestrutura de laboratório. Além disso, o experimento pode ser utilizado para discutir conceitos como eletrólitos, circuitos elétricos simples e energia química convertida em energia elétrica. O aspecto lúdico do uso de alimentos como ingredientes para a pilha torna o aprendizado mais atrativo e acessível para os alunos.

Em suma, os experimentos realizados em sala de aula sobre eletroquímica foram fundamentais para se alcançar os objetivos pedagógicos da estratégia proposta. A partir da experimentação prática, os alunos conseguiram visualizar fenômenos compatíveis reações de oxirredução e compreender como as reações químicas ocorrem dentro das pilhas. Acredita-se que esses experimentos permitiram que os alunos correlacionassem a teoria com a prática, contribuindo para a construção de um conhecimento mais sólido e duradouro.

Além disso, a aplicação desses experimentos no contexto de ensino de química para o 2º ano do Ensino Médio espera-se promover uma melhor assimilação dos conceitos de eletrólise e reações de oxirredução, temas tradicionalmente abstratos para os alunos. As atividades experimentais visam estimular a aprendizagem, uma vez que os discentes podem manipular os materiais e observar as respostas de forma direta.

Nos experimentos, cada atividade tem como objetivo abordar conceitos específicos, proporcionando aos alunos a oportunidade de vivenciar na prática os fenômenos que estudam

na teoria. A experimentação é essencial para que os alunos compreendam a dinâmica das reações de oxirredução, a transferência de elétrons e o funcionamento das pilhas, aspectos que, quando vistos apenas de maneira abstrata, podem ser difíceis de entender plenamente.

A Pilha de Daniell é um experimento clássico em eletroquímica, no qual são utilizados dois eletrodos – um de zinco e outro de cobre – imersos em soluções de sulfato de zinco e sulfato de cobre, respectivamente. Este experimento aborda conceitos como: -

Reações de oxirredução: os alunos observam diretamente a troca de elétrons entre os eletrodos.

- Potencial de célula: é possível medir a diferença de potencial gerada entre os eletrodos.
- Transferência de íons: a importância da ponte salina para manter o equilíbrio das cargas.

A realização prática deste experimento é fundamental para que os alunos visualizem o que acontece dentro de uma pilha, compreendam a função de cada componente e verifiquem como o fluxo de elétrons gera energia elétrica. A experimentação torna os conceitos mais tangíveis, facilitando a compreensão da teoria.

No experimento da Pilha de Limão, limões são utilizados como uma fonte de eletrólitos, com eletrodos de cobre e zinco inseridos nos frutos. Este experimento aborda os seguintes conteúdos:

- Natureza dos eletrólitos: os alunos descobrem como ácidos naturais, como o ácido cítrico, podem conduzir eletricidade.
- Reações de oxirredução: assim como na Pilha de Daniell, há uma troca de elétrons entre os eletrodos.
- Fontes alternativas de energia: este experimento também permite discussões sobre o uso de materiais simples para gerar eletricidade.

Ao realizar esse experimento, os alunos podem visualizar como uma reação eletroquímica pode ser gerada a partir de substâncias do cotidiano, promovendo uma compreensão mais acessível dos princípios da eletroquímica e incentivando o pensamento sustentável e criativo.

A vivência dessas duas práticas podem transformar o aprendizado teórico em conhecimento aplicado, favorecendo um maior entendimento dos conteúdos.

4.4 GANHOS COGNITIVOS DA PRÁTICA DENTRO DE SALA DE AULA

A análise das respostas obtidas por meio do questionário aplicado evidenciou que a maioria conseguiu identificar corretamente a função dos eletrodos, o fluxo de elétrons e a relação entre os potenciais-padrão e a ddp obtida experimentalmente. Tais resultados sugerem que, mesmo em atividades de caráter observacional, o contato com a prática experimental contribui para a construção de significados, confirmando o potencial didático da experimentação no ensino de Química.

Contudo, também se verificou que parte dos alunos apresentou dificuldades em articular a teoria com os dados experimentais, especialmente no que se refere ao cálculo da ddp a partir dos potenciais de eletrodo. Esse aspecto indica a necessidade de reforço conceitual e, possivelmente, de maior envolvimento prático dos estudantes em atividades futuras. A literatura especializada (HOFSTEIN; LUNETTA, 2004; GIORDAN, 1999) aponta que a experimentação, quando vivenciada de forma ativa, potencializa a aprendizagem ao estimular habilidades investigativas e o raciocínio crítico, o que reforça a importância de buscar condições institucionais para a ampliação desse tipo de experiência.

De modo geral, o experimento demonstrativo mostrou-se adequado para despertar o interesse dos estudantes e consolidar noções fundamentais sobre as pilhas eletroquímicas, além de contribuir para a aproximação entre teoria e prática. Entretanto, os resultados obtidos apontam também para os limites da metodologia observacional, indicando que a participação ativa dos alunos pode ampliar o desenvolvimento de competências experimentais e favorecer uma compreensão mais aprofundada dos conceitos eletroquímicos.

4.5 O DOCENTE FRENTE À EDUCAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL COM ENFOQUE NAS ODS

O papel do professor no contexto da educação para o desenvolvimento sustentável, com enfoque nas ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável), é de extrema importância na conscientização e na formação de futuros cidadãos comprometidos com práticas sustentáveis. Ao abordar temas ligados à eletroquímica e ao descarte correto de pilhas em sala de aula, o educador tem a oportunidade de introduzir conceitos fundamentais sobre a economia circular e a economia sustentável, criando um elo entre os conteúdos curriculares e os desafios ambientais globais.

A eletroquímica, que trata das reações químicas que envolvem a transferência de elétrons, é um tópico essencial para o entendimento de processos cotidianos, como o funcionamento de pilhas e baterias. Essas tecnologias, amplamente utilizadas em dispositivos

eletrônicos, representam um desafio ambiental significativo devido principalmente ao descarte inadequado de seus componentes, que podem conter metais pesados e outras substâncias tóxicas. Ao trabalhar esse tema, o professor desempenha um papel fundamental ao despertar nos alunos a consciência sobre os impactos ambientais associados ao ciclo de vida das pilhas, desde a extração de matérias-primas até o descarte final.

Nesse sentido, o conceito de economia circular se torna relevante, pois propõe a redução da extração de recursos naturais e o reaproveitamento de materiais, buscando fechar os ciclos produtivos. O descarte adequado e a reciclagem de pilhas e baterias se alinham diretamente a esse modelo, contribuindo para a minimização de resíduos e para a preservação do meio ambiente. O professor, ao tratar da relação entre eletroquímica e descarte de pilhas, pode promover discussões sobre como as práticas do cotidiano podem ser transformadas para atender aos princípios da economia circular.

Além disso, a economia sustentável, que visa equilibrar o desenvolvimento econômico com a preservação dos recursos naturais para as futuras gerações, deve ser um tópico de reflexão no contexto escolar. O uso consciente de pilhas e baterias, a promoção da reciclagem e a busca por soluções tecnológicas mais limpas são alguns dos pontos que podem ser explorados para mostrar aos alunos que a ciência, em especial a química, desempenha um papel central na construção de um futuro mais sustentável.

O professor, portanto, não é apenas um transmissor de conhecimento, mas um mediador que fomenta a reflexão crítica sobre o impacto das ações humanas no meio ambiente e o papel da ciência na busca por soluções. Ao integrar as ODS à educação, ele contribui para a formação de indivíduos mais conscientes e preparados para enfrentar os desafios ambientais e sociais que a sociedade contemporânea apresenta, particularmente no que se refere ao descarte de pilhas e à necessidade de um desenvolvimento que respeite os limites do planeta.

4.6 DA PROBLEMATIZAÇÃO À AÇÃO LOCAL: PARTICIPAÇÃO DISCENTE E ODS EM UMA AULA SOBRE PILHAS E RESÍDUOS.

A aula analisada foi planejada e conduzida a partir do referencial da Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS), entendida como uma abordagem que busca desenvolver conhecimentos, valores e competências para que os estudantes atuem de

forma crítica e responsável diante de problemas socioambientais, com ênfase em aprendizagem participativa e conectada ao território. Essa perspectiva dialoga diretamente com a Agenda 2030, especialmente com a meta 4.7 do ODS 4, que prevê que, até 2030, os estudantes adquiram conhecimentos e habilidades necessárias para promover o desenvolvimento sustentável.

Nos resultados observados, destacou-se a participação integral dos alunos, com envolvimento ativo nas etapas de problematização, argumentação e socialização de informações. O formato em debate mediado pelo docente favoreceu a circulação de falas, a escuta e a construção de sentido coletivo — elementos coerentes com a recomendação da UNESCO de fortalecer ambientes de aprendizagem transformadores e ações em nível local como caminhos centrais para a EDS.

Esse engajamento apareceu não apenas pela frequência de intervenções, mas pela qualidade das contribuições, que alternavam relatos do cotidiano, referências a práticas familiares e tentativas de explicar, com linguagem própria, conceitos relacionados à sustentabilidade e ao ciclo de vida de produtos. Do ponto de vista pedagógico, esses achados reforçam o papel do docente como mediador e organizador do diálogo, que promove a transição entre percepções cotidianas e explicações mais sistematizadas, favorecendo aprendizagem com significado social.

Ao longo da aula, a discussão sobre impactos ambientais do descarte incorreto de pilhas emergiu como eixo central. Os estudantes associaram o descarte inadequado à contaminação do solo e da água e levantaram preocupações com riscos à saúde humana e à fauna. Tais preocupações são consistentes com o enquadramento regulatório brasileiro para pilhas e baterias, que reconhece que esses resíduos podem envolver substâncias potencialmente tóxicas e, por isso, estabelece critérios de gerenciamento ambientalmente adequado e limites para metais como chumbo, cádmio e mercúrio. Além disso, a literatura internacional e organismos de saúde apontam que metais como chumbo são tóxicos e podem causar danos significativos à saúde, especialmente em crianças, o que sustenta a relevância do tema como conteúdo de educação ambiental e de cidadania científica.

O debate também incorporou a noção de ciclo de vida das pilhas abordando sobre produção, consumo, descarte e destinação, conectando o tema à ideia de que o impacto ambiental não se restringe ao fim do produto, mas atravessa toda a cadeia. Essa abordagem se articula com o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), pois desloca a discussão do lixo para um entendimento de padrões de consumo, responsabilidade compartilhada e

práticas de destinação ambientalmente adequada. A aula, portanto, evidenciou um movimento de ampliação da compreensão discente: de um foco apenas no descarte doméstico para uma leitura mais sistêmica do problema, coerente com os pressupostos de EDS de integrar dimensões ambientais, sociais e de tomada de decisão informada.

Um resultado particularmente relevante para a discussão sobre EDS foi o fato de os estudantes trazerem informações locais sobre onde descartar pilhas usadas em Maricá. Essa entrada do território na aula fortaleceu a dimensão prática do ensino, aproximando a sustentabilidade de ações concretas e viáveis. Foram mencionados pontos de coleta/recebimento no município, incluindo ecopontos voltados ao descarte correto de resíduos eletrônicos, com menção explícita de recebimento de baterias e pilhas.

Do ponto de vista analítico, esse achado reforça a potência de uma EDS situada: quando os estudantes reconhecem infraestruturas e políticas locais, a sustentabilidade deixa de ser apenas um ideal abstrato e passa a ser compreendida como prática social e cívica. Isso se alinha ao próprio desenho da Agenda 2030, que enfatiza a necessidade de mobilização e implementação em diferentes escalas, inclusive local.

Os resultados sugerem que a atuação docente foi decisiva para: garantir que o debate não se restringisse a opiniões, conduzir a turma a relações de causa–efeito mais robustas, e articular as falas dos estudantes com ODS e referências normativas. Nesse ponto, a inclusão de marcos como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (regulamentada por decreto) contribui para ampliar o sentido de cidadania, mostrando que a destinação de resíduos envolve responsabilidade compartilhada e diretrizes públicas. Ao inserir esse repertório no diálogo, o docente transforma a aula em um espaço de formação para a participação social informada, coerente com a meta 4.7 e com o enfoque de capacidades e ação local recomendado pela UNESCO para EDS.

4.7 O DOCENTE COMO MEDIADOR NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM

A postura do professor como mediador no processo de ensino e aprendizagem é fundamental para engajar os alunos e promover divulgação significativa sobre o tema. Ao incentivar o diálogo, a reflexão e a aplicação dos conceitos científicos em problemas reais, o

docente proporciona um ambiente propício para o desenvolvimento do pensamento crítico dos estudantes, estimulando-os a relacionar a teoria com práticas sustentáveis.

Observe-se que a abordagem mediadora facilita a conexão entre o conteúdo de eletroquímica e questões ambientais, permitindo que os alunos se apropriem dos conceitos de maneira mais profunda e crítica, promovendo o pensamento moderno e o engajamento com a problemática do descarte incorreto de pilhas.

Como produto final, foi elaborado um documento instrucional destinado aos professores, que detalha as estratégias e os experimentos realizados, apresentando práticas que podem ser adaptadas de acordo com o contexto de cada escola. O documento visa orientar os docentes na condução de aulas experimentais, oferecendo sugestões de como trabalhar a conscientização ambiental por meio de temas de eletroquímica e sustentabilidade.

Este material mostrou uma ferramenta essencial para garantir a continuidade das práticas desenvolvidas e fornece uma base sólida para outros docentes que desejam utilizar a experimentação como recurso para a formação do pensamento sustentável em seus alunos.

A expectativa para os resultados é que a metodologia proposta não atinja apenas os seus objetivos, mas também proporcione aos alunos uma formação mais ampla e crítica, integrando conhecimentos científicos e preocupações ambientais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escolha da eletroquímica, com ênfase nas pilhas e em seu descarte, como tema gerador mostrou-se pertinente por permitir a abordagem de conteúdos de Físico-Química de maneira contextualizada, concreta e alinhada aos princípios da sustentabilidade. Essa opção ampliou as possibilidades didáticas do ensino de Química, aproximando o conhecimento científico da realidade dos estudantes e favorecendo a compreensão das implicações socioambientais associadas ao uso cotidiano de dispositivos eletroquímicos.

No campo metodológico, a implementação de atividades experimentais com materiais acessíveis, especialmente utilizando componentes recicláveis de pilhas, evidenciou-se como uma estratégia eficaz para dinamizar o processo de ensino e aprendizagem. Mesmo em contextos escolares sem laboratórios equipados, foi possível promover práticas experimentais significativas, demonstrando que a ausência de infraestrutura não deve ser um impeditivo para o uso da experimentação como recurso pedagógico. Os roteiros desenvolvidos permitiram maior engajamento discente, estimularam a curiosidade, a autonomia e a postura investigativa, além de favorecerem a construção ativa do conhecimento químico. Para êxito na aplicação da metodologia, vale reforçar que o educador precisa ter um bom planejamento, pois há diversidades de níveis de aprendizado de cada aluno e com a experimentação, há maior facilidade em atingir todo tipo de aluno, permitindo-os interagir e participar de forma mais ativa no processo de aprendizagem.

A proposta didática desenvolvida nesse trabalho, para ensinar conceitos de eletroquímica, utilizando aulas expositivas e a experimentação com material de fácil acesso e baixo custo, aplicada em sala de aula do segundo ano do Ensino Médio, mostrou-se um recurso pedagógico eficiente e relevante no processo de ensino e aprendizagem dos estudantes, uma vez que houve uma melhora no desempenho dos mesmos nos instrumentos avaliativos, aplicados após o desenvolvimento da proposta didática.

Ao longo das aplicações do produto educacional, as percepções dos alunos reforçaram o potencial das práticas experimentais para tornar a Química menos abstrata e mais próxima do cotidiano, contribuindo para a superação de concepções negativas associadas à disciplina. Observou-se que o planejamento docente assume papel central nesse processo, sobretudo ao considerar a diversidade de ritmos e dificuldades presentes em sala de aula, possibilitando adaptações e diferentes estratégias para alcançar todos os estudantes.

Os resultados indicam que é plenamente viável planejar aulas fundamentadas em temas geradores derivados da realidade dos estudantes, capazes de promover autonomia, criticadas, proatividade e criatividade. Além disso, essa abordagem, contribui para o desenvolvimento de habilidades socioemocionais essenciais para a formação integral no contexto escolar, reforçando a relevância pedagógica e social do ensino de Química articulado com a temática ambiental.

Conclui-se que essa dissertação evidencia o compromisso com uma proposta pedagógica que integra ciência, sustentabilidade e responsabilidade social. Ao desenvolver e implementar experimentos viáveis a partir de compartimentos recicláveis de pilhas, o trabalho valoriza práticas experimentais acessíveis e contextualizadas, promovendo a aprendizagem significativa no Ensino Médio. Além disso, ao alinhar-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente o ODS 4, o ODS 12 e o ODS 13, a pesquisa ultrapassa o ensino conceitual da Química, contribuindo para a formação de estudantes críticos, conscientes de seu papel no consumo responsável e na mitigação dos impactos ambientais, fortalecendo a educação científica como ferramenta para a transformação social. A disponibilização de roteiros experimentais implementados, utilizando componentes reciclados de pilhas, amplia as possibilidades de aplicação prática em sala de aula, ao mesmo tempo em que reforça a contextualização científica e ambiental para alunos do 2º ano do Ensino Médio. Ademais, o levantamento realizado sobre os processos de reciclagem de pilhas na região metropolitana do Rio de Janeiro evidenciou a ausência de indústrias que realizem integralmente o ciclo de reciclagem, restringindo-se a centros de coleta e distribuição que encaminham os materiais para outros estados. Esse achado reforça a relevância da discussão sobre logística reversa e gestão de resíduos no contexto local, contribuindo para uma compreensão mais crítica e realista das limitações e desafios da sustentabilidade, tanto no ensino de Química quanto na prática socioambiental.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, A., Silva, C., & Pinto, G. (2019). *Sustainable design in battery technology: A step towards circular economy*. Journal of Sustainable Materials, 12(4), 1015-1028.
- ARROYO, Miguel. *Educação e meio ambiente: reflexões e perspectivas*. São Paulo: Cortez, 2002.
- ATKINS, P; JONES, L. *Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*, Porto Alegre: Bookman, 2006.
- ATIKINS, P.; DE PAULA, J. *Físico-química – Fundamentos*.vol.1. 9. Ed.LTC, 2012
- BACHELARD, G. (1996). *A formação do espírito científico*. Rio de Janeiro: Contraponto
- BARRETO, Alzira. *Aprendizagem baseada em projetos: conceitos e práticas*. São Paulo: Cortez, 2016.
- BERGMANN, Jonathan; SAMS, Aaron. *Flip your classroom: reach every student in every class every day*. International Society for Technology in Education, 2012.
- BROWN, T. L. *Química: A Ciência Central*. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2020.
- BERNADES, A. M., Espinosa, D. C. R., & Tenório, J. A. S. (2004). Recycling of batteries: a review of current processes and technologies. Journal of Power Sources, 130(1), 291-298.
- BOCCHI, N., Ferracin, L. C., & Biaggio, S. R. (2000). *Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental*. Química Nova na Escola, 11, 3-9.
- BRANDAO, Carlos Rodrigues. *Pedagogia da Terra*. 2. ed. São Paulo: Ática, 2004.
- BRASIL. (2010). Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Política Nacional de Resíduos Sólidos*.
- CORREIO BRAZILIENSE. (2024). Brasil não vai cumprir a meta de extinguir lixões este ano, aponta relatório. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br>
- CONAMA. (1999). Resolução nº 257, de 30 de junho de 1999. Dispõe sobre o recolhimento e destinação final de pilhas e baterias. Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CONAMA. (2008). Resolução nº 401, de 4 de novembro de 2008. Estabelece limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias.

Ecoassist. (2023). *Os impactos ambientais causados pelo descarte de pilhas e baterias*. Disponível em: <https://www.ecoassist.com.br>.

DANIELL, John Frederic. Sobre a Eletricidade dos Circuitos Galvânicos . **PhiTransações filosóficas da Royal Society* , 1836.

DIÁRIO DO RIO. (2024). RJ avança na gestão de resíduos, mas ainda possui 3 lixões ativos. Disponível em: <https://www.diariodorio.com>

DINIZ, B. P., Silva, L. A., & Alves, V. A. (2020). *Experimentação no ensino de células galvânicas utilizando o método Jigsaw*. Química Nova na Escola, 42(1), 77-87.

DÍAS-BARRIGA, F., García, E., & López, M. (2020). *Environmental impacts of battery disposal and recovery of critical metals: A review*. Environmental Science and Technology, 54.

FERREIRA, D. A., Prados, L. M. Z., Silva, M. M., & Mansur, M. B. (2009). *Recovery of zinc and manganese from spent alkaline batteries by liquid-liquid extraction with Cyanex 272*. Journal of Power Sources, 160(2), 1546-1551.

FIOCRUZ. (2023). Tentativa de construção de aterros de lixo no Rio de Janeiro no bairro de Paciência e no município de Seropédica enfrentam protestos dos moradores, ambientalistas, do Ministério Público, do TCU e da Aeronáutica. Mapa de Conflitos Envolvendo Injustiça Ambiental e Saúde no Brasil. Disponível em: <https://mapadeconflitos.ensp.fiocruz.br>

FREIRE, P. *Pedagogia do Oprimido* (1968).

GATTI, Bernadete. *Metodologias ativas e a inovação no ensino: uma análise crítica*. São Paulo: Atlas, 2018.

GADOTTI, M. *Pedagogia Ambiental: Contribuições para a Educação e o Meio Ambiente*. São Paulo: Cortez, 1994

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

GEISSDOERFER, M., Savaget, P., Bocken, N., & Hultink, E. (2017). *The circular economy – A new sustainability paradigm?*. Journal of Cleaner Production, 143, 757-768.

HOFSTEIN, Avi; LUNETTA, Vincent N. *The laboratory in science education: foundations for the twenty-first century*. Science Education, v. 88, n. 1, p. 28-54, 2004.

JONES, J. D. *Electrochemistry and Industrial Applications*. New York: McGraw-Hill, 2019.

JOULES, James. *Fundamentals of Electrochemistry*. London: Elsevier, 2015.

LI, J., Zhang, X., & Liu, S. (2020). *Recycling of lithium-ion batteries: A review of techniques and challenges*. Waste Management, 105, 93-109. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.010>.

LARCHER, D., & Tarascon, J. M. (2015). *Towards greener and more sustainable batteries for electrical energy storage*. Nature Chemistry, 7(1), 19-29.

MACHADO, P. A. L. (2007). *Direito Ambiental Brasileiro*. Malheiros Editores.

MATSUBARA, E. Y., Neri, C. R., & Rosolen, J. M. (2007). *Pilhas alcalinas: um dispositivo útil para o ensino de Química*. Química Nova, 30(4), 1020-1025.

MANHART, A., & Hörisch, J. (2018). *Sustainable waste management and recycling of electronic waste: A review*. Environmental Technology, 39(6), 707-723.

MARTINS, R. de A. *Alessandro Volta e a invenção da pilha: dificuldades no estabelecimento da identidade entre o galvanismo e a eletricidade*. Acta Scientiarum, Campinas, vol. 21, nº 4, 1999, p.823-835.

MOURA, Maria Cristina. *Educação Popular: Contribuições de Paulo Freire e Pedagogia Social*. São Paulo: Loyola, 2006.

MORAN, José Manuel. *Metodologias ativas para uma educação mais profunda e significativa*. São Paulo: Papirus, 2015.

MCLAREN, P. *Pedagogia da Esperança: Reencontrando a Pedagogia do Oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2000.

NAÇÕES UNIDAS. *Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 24 nov. 2024.

NÚCLEO DO CONHECIMENTO. (2023). *Poluição química proveniente do descarte incorreto de pilhas e baterias*. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br>.

PODER360. (2024). *Prazo para fim de lixões acaba, mas 1.593 cidades ainda usam*. Disponível em: <https://www.poder360.com.br>

RIBEIRO, J. G. R., Santos, M. F. dos, & Silva, N. C. (2022). *O impacto causado ao meio ambiente pelo descarte incorreto de pilhas e baterias*. Repositório Ânima Educação.

REIDLER, N. M. V. L., & Günther, W. M. R. (2002). *Impactos sanitários e ambientais devido aos resíduos gerados por pilhas e baterias usadas*. Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Cancún: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

SOUZA, Cristiano Júnior Andrade; ALMEIDA, Cristiane Souza; OLIVEIRA, Marlene Barbosa de. *O Jogo Educativo como Recurso Interdisciplinar no Ensino de Química*. Revista Brasileira de Ensino de Química, v. 41, n. 1, p. 1-12, 2018.

SKOOG, D. et al. *Fundamentos da química analítica*. 8 ed., São Paulo:Thomson, 2008.

TRIBUNA DO RIO. (2024). *Reviravolta histórica: Aterro Gramacho se transforma em santuário de biodiversidade após décadas de degradação e poluição ambiental*. Acesso em: 29 nov, 2024

TERUYA, L. C. (2000). *Pilhas e baterias*. Química Nova na Escola, 11, 40-44.

VOLTA, Alessandro. *On the Electric Organ of Fishes*. Philosophical Transactions of the Royal Society, 1800. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/107107>. Acesso em: 24 nov. 2024.

VYGOTSKY, Lev. *A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores*. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

APÊNDICE A

Roteiros dos experimentos realizados

a) Pilha de Daniell

Para realizar o experimento são necessários os seguintes materiais:

1. Eletrodo de zinco, sugerindo-se o de uma pilha AA usada
2. Peça de cobre, que pode ser um pedaço de fio usado
3. Solução de sulfato de zinco 1 mol L^{-1}
4. Solução de sulfato de cobre 1 mol L^{-1}
5. Solução de Cloreto de Potássio 1 mol L^{-1}
6. Vidro em formato de U
7. Algodão
8. 2 bécheres ou recipientes transparentes
9. Multímetro, 2 garras jacaré e fio com terminal para ligar ao multímetro

Procedimento experimental:

1. Preparas as soluções (Sulfato de Zinco, Sulfato de Cobre e Cloreto de Potássio)
2. Preencher o vidro em formato de U com solução de Cloreto de Potássio, e tampar as extremidades com algodão embebido na mesma Solução. Ter cuidado para que não fiquem bolhas de ar.
3. Em cada becher adicionar Sulfato de Zinco e Sulfato de Cobre, e conectar os sistemas através do vidro em formato de U (ponte salina), voltado para baixo.
4. Colocar o eletrodo de Zinco, imerso na solução Sulfato de Zinco, e o pedaço de Cobre, imerso na solução Sulfato de Cobre.
5. Conectar o Multímetro em cada eletrodo, usando garras jacaré ligadas ao fio do terminal do multímetro e observar a voltagem.

b) Pilha com limão Haiti

Para realizar o experimento são necessários os seguintes materiais:

1. Limões Haiti (ou outro cítrico ácido, como laranjas ou limas)
2. Moedas de cobre (por exemplo, moedas de 5 centavos)
3. Eletrodo de Zinco (retirado da pilha)
4. Faca
5. Multímetro, 2 garras jacaré e fio com terminal para ligar ao multímetro

Procedimento experimental:

1. Corte os limões ao meio e esprema-os um pouco para liberar o suco dentro de cada metade.
2. Insira uma moeda de cobre em uma metade do limão o eletrodo de zinco na outra metade. Certifique-se de que a moeda e o eletrodo não estejam muito próximos um do outro.
3. Conecte a moeda de cobre ao eletrodo de zinco usando as garras tipo jacarés aos fios do multímetro e faça a medida de tensão em Volts.

APÊNDICE B

Plano de Aula

Ano/Série: Ensino Médio

Carga horária: 3 semanas – 2 tempos/semana (50 min cada) = 6 tempos (300 min)

Tema integrador: Eletroquímica e sustentabilidade (descarte correto de pilhas/baterias, ciclo de vida e ODS)

Habilidades BNCC (Ciências da Natureza): EM13CNT101, EM13CNT206, EM13CNT307

Semana	Tempo de Aula	Conteúdo
1º Semana	2 tempos – 50 min cada	Teoria de Eletroquímica
2º Semana	2 tempos – 50 min cada	Aula experimental . Pilha de Daniell . Pilha de limão
3º Semana	2 tempos – 50 min cada	Sustentabilidade e roda de conversa