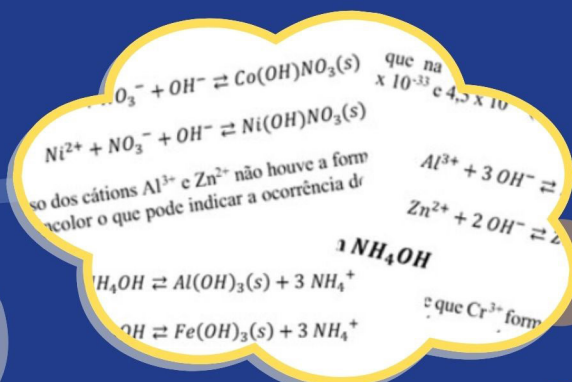


química nova NA ESCOLA

Volume 48 • N° 1 • fevereiro 2026



Fe	Cu	Zn
Ru	Pd	Ag
Rh	Pt	Au
Os	Ir	Hg
Re	Co	Ni
Mo	Tc	Pb
Sg	Bh	Sm
	Hs	Gd
	Mt	Tb
	Ds	
	Rg	
	Cn	
	Nh	
	Fl	
	Lr	



EDITORES

Paulo Alves Porto (IQ-USP)
Salette Linhares Queiroz (IQSC-USP)

CONSELHO EDITORIAL

Alice Ribeiro Casimiro Lopes (FE-UERJ - Rio de Janeiro, RJ - Brasil)
Antônio Francisco Carrelhas Cachapuz (UA - Aveiro, Portugal)
Attico Inacio Chassot (IPA - Porto Alegre, RS - Brasil)
Aureli Caamaño (UB - Barcelona, Espanha)
Edênia Maria Ribeiro do Amaral (UFRPE - Recife, PE - Brasil)
Eduardo Fleury Mortimer (UFMG - Belo Horizonte, MG - Brasil)
Gisela Hernández (UNAM - Cidade do México, México)
Julio Cezar Foschini Lisboa (GEPEQ-USP - São Paulo, SP - Brasil)
Lenir Basso Zanon (UNIJUÍ - Ijuí, RS - Brasil)
Marcelo Giordan (FE-USP - São Paulo, SP - Brasil)
Otávio Aloísio Maldaner (UNIJUÍ - Ijuí, RS - Brasil)
Roberto Ribeiro da Silva (UnB - Brasília, DF - Brasil)
Roseli Pacheco Schnetzler (UNIMEP - Piracicaba, SP - Brasil)

ASSISTENTE EDITORIAL

Nássara Bárbara Mendes Tanabe

Química Nova na Escola é uma publicação trimestral da Sociedade Brasileira de Química que tem como local de publicação a sede da sociedade localizada no Instituto de Química da USP -
Av. Prof. Lineu Prestes, 748, Bloco 3 superior, sala 371
05508-000 São Paulo - SP, Brasil
Fone: (11) 3032-2299,
E-mail: qnesc@sbq.org.br
Química Nova na Escola na internet: <http://qnesc.sbq.org.br>

Indexada no: Chemical Abstracts, DOAJ, Latindex, EDUBASE, CCN/IBICT,
Portal de Periódicos da CAPES, Portal do Professor MEC,
Google Acadêmico e Unibibliweb

Copyright © 2026 Sociedade Brasileira de Química

Para publicação, requer-se que os manuscritos submetidos a esta revista não tenham sido publicados anteriormente e não sejam submetidos ou publicados simultaneamente em outro periódico. Ao submeter o manuscrito, os autores concordam que o *copyright* de seu artigo seja transferido à Sociedade Brasileira de Química (SBQ), se e quando o artigo for aceito para publicação.

O *copyright* abrange direitos exclusivos de reprodução e distribuição dos artigos, inclusive separatas, reproduções fotográficas, microfilmes ou quaisquer outras reproduções de natureza similar, inclusive traduções. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em bancos de dados ou transmitida sob qualquer forma ou meio, seja eletrônico, eletrostático, mecânico, por fotocópia, gravação, mídia magnética ou algum outro modo com fins comerciais, sem permissão por escrito da detentora do *copyright*.

Embora todo esforço seja feito pela SBQ, Editores e Conselho Editorial para garantir que nenhum dado, opinião ou afirmativa errada ou enganosa apareçam nesta revista, deixa-se claro que o conteúdo dos artigos e propagandas aqui publicados são de responsabilidade, única e exclusivamente, dos respectivos autores e anunciantes envolvidos. Consequentemente, a SBQ, o Conselho Editorial, os Editores e respectivos funcionários, diretores e agentes isentam-se, totalmente, de qualquer responsabilidade pelas consequências de quaisquer tais dados, opiniões ou afirmativas erradas ou enganosas.

Licenças Creative Commons

Artigos de acesso aberto nas revistas da SBQ são publicados sob licenças *Creative Commons*. Essas licenças proveem um arranjo padrão do setor para apoiar o fácil reuso de material de acesso aberto.

Artigos na QNesc são publicados sob uma licença CC BY-NC-ND (licença de Atribuição *Creative Commons* Não Comercial-Sem Derivações 4.0 Internacional). A licença CC BY-NC-ND é uma licença restrita. Esta licença permite aos leitores copiar e redistribuir o material em qualquer meio ou formato, sob condição de atribuir crédito ao autor original. Contudo, o material não pode ser usado para fins comerciais. Além disso, ao alterar, transformar, ou incrementar o material, os leitores não podem distribuir o material modificado.

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.pt_BR



diagramação/capa

Hermano Serviços de Editoração

Sumário/Contents

Química e Sociedade / Chemistry and Society

- 5 Química forense e a violência contra mulher: um estudo de caso com as futuras cientistas
Forensic chemistry and violence against women: a case study with future scientists
Alessandra G. da Costa, Adriana M. das Neves, Daniele G. Müller, Jessica M. Mota, Juliane Natália L. da Silva e Vânia R. de Lima
- 13 Jogando com fórmulas e reações: ludicidade no ensino de Química para explorar a representação molecular no balanceamento químico
Playing with formulas and reactions: playfulness in teaching Chemistry to explore molecular representation in chemical balancing
Pedro Naum de Lima, Luciane Fernandes de Goes e Carmen Fernandez

Educação em Química e Multimídia / Chemical Education and Multimedia

- 24 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS): uma abordagem da temática de números quânticos utilizando ferramentas TICs e animações
Potentially Meaningful Teaching Units - PMTU: an approach to the theme of quantum numbers using ICT tools and animations
Fabricio Rodrigues Pereira, Bruno Magela de Melo Siqueira, Wanderson Romão e Paulo Rogerio Garcez de Moura
- 33 A informática no ensino de Química: desenvolvimento de um dispositivo virtual para o estudo de pilhas
Computer science in the teaching of Chemistry: development of a virtual device for the study of electrochemical cells
Natanuel de S. Sousa, Tayla T. B. Costa e Maria Célia P. Costa

Espaço Aberto / Issues/Trends

- 40 O uso de inteligência artificial no balanceamento de equações químicas: um relato de experiência
The use of artificial intelligence in balancing chemical equations: an experience report
Miguel A. Medeiros e Claudia N. Sakai
- 50 Ciência em ação: estudantes investigam a degradação de sacolas e canudos por compostagem
Science in action: students investigate the degradation of bags and straws through composting
Rayane V. V. de Oliveira, Eduarda B. S. de Melo, Sofia de F. R. de Oliveira, Manuela B. Dias, Juliana da S. Xavier, José Carlos C. da S. Pinto, Larissa L. de A. Carvalho, Natasha K. Sittton, Jéssica B. Alves, Verônica de S. Mussoi, Luciana da S. Dutra e Ariane J. Sousa-Batista

História da Química / History of Chemistry

- 58 Ida Noddack e Lise Meitner: Questões de Gênero e a Descoberta da Fissão Nuclear
Ida Noddack and Lise Meitner: Gender, and the Discovery of Nuclear Fission
Márcio C. dos S. M. Dantas e Indianara Silva
- 67 As mulheres cientistas e a descoberta de elementos químicos
Women scientists and the discovery of chemical elements
Juliana Magalhães Charamba de Souza e Lucas dos Santos Fernandes

O Aluno em Foco / The Student in Focus

- 74 De vala a córrego: Transformando a percepção ambiental através da aprendizagem baseada em projeto no ensino de Química
From ditch to stream: transforming environmental perception through project-based learning in Chemistry education
Iago G. Costa, Maria C. S. Gomes, Gabriel J. Curti e Cristiane Pilissão

Experimentação no Ensino de Química / Practical Chemistry Experiments

- 87 Explorando a capacidade de adsorção de macroalgas marinhas: uma abordagem didática com *Sargassum filipendula* e *Kappaphycus alvarezii*
Exploring the removal of heavy metals using marine algae: a didactic approach with Sargassum filipendula and Kappaphycus alvarezii
Isis Verona Nascimento da Silva Franzi, Kamila Lacerda da Silva e Anderson Gomes de Paula

Cadernos de Pesquisa / Research Letters

- 94 A música no ensino de ciências da natureza: uma revisão sistemática da literatura
Music in natural science teaching: a systematic literature review
Joice Menezes Lupinetti e Daniele Correia
- 108 Área de Educação em Química: evolução nas regiões e instituições brasileiras em três décadas
Area of Chemistry Education: evolution in Brazilian regions and institutions over three decades
Daniela Marques Alexandrino e Salete Linhares Queiroz

Duzentos anos do nascimento de Stanislao Cannizzaro

Neste ano de 2026, completa-se o bicentenário de nascimento do químico italiano Stanislao Cannizzaro (1826-1910). Embora, na atualidade, não esteja entre os nomes mais conhecidos da Química, Cannizzaro ofereceu contribuições muito importantes para o desenvolvimento dessa ciência. O nome de Cannizzaro costuma ser associado à distinção entre os conceitos de “átomo” e “molécula”, que eram objeto de divergências no século XIX. De fato, a situação era bem mais complexa do que simplesmente estabelecer definições. Havia dificuldades experimentais para a determinação de *pesos* atômicos e *pesos* moleculares (como então eram chamados), associados a problemas teóricos, como o estabelecimento de um padrão para os pesos atômicos. Se a determinação da composição elementar das substâncias inorgânicas apresentava significativos avanços, a composição dos compostos orgânicos se mostrava muito mais desafiadora: uns poucos elementos eram capazes de formar dezenas de substâncias diferentes, muitos deles com idênticas composições elementares. A ausência de consenso em torno de pesos atômicos e moleculares dificultava o estabelecimento de fórmulas para esses compostos. É em um cenário repleto de contradições que Cannizzaro se torna professor de Química na Universidade de Gênova e se vê na situação de ministrar um curso para iniciantes nessa ciência. Seu objetivo era tornar compreensível para seus alunos uma ciência na qual ainda havia inconsistências e divergências entre os próprios químicos que a estavam construindo. Cannizzaro buscou então sistematizar as ideias do período, procurando convergências que dessem ordem ao conjunto. O resultado foi um esboço de um curso introdutório de Química, escrito na forma de uma longa carta (ou um pequeno livro) dirigida a outro químico, seu amigo Sebastiano De Luca. O texto, intitulado *Sunto di un corso di filosofia chimica*, foi publicado em 1858. Dois anos depois, no Congresso de Química realizado em Karlsruhe, e que reuniu muitos dos principais químicos da época, a participação de Cannizzaro foi fundamental. Relatos da época dão conta de sua eloquência e da firme defesa das ideias expostas em seu livro, que propunham soluções promissoras para muitas das questões sobre as quais os químicos ali reunidos buscavam consenso. Um dos relatos, feito logo após o congresso, é de Dmitri Mendeleev: “O animado discurso [de Cannizzaro], com justiça, foi recebido com aprovação geral. (...) Foi decidido adotar uma compreensão diferente sobre moléculas e átomos (...)”. Anos depois, ao receber uma homenagem por seu trabalho sobre a classificação periódica dos elementos, Mendeleev fez menção ao congresso de Karlsruhe: “Eu me recordo vivamente da impressão causada pelos discursos de Cannizzaro, os quais não admitiam concessões, e pareciam defender a própria verdade (...)”. As habilidades de Cannizzaro como professor, no sentido de expor com clareza e consistência

suas ideias, foram reconhecidas não apenas nos relatos dos químicos presentes àquele congresso, mas também podem ser observadas na seleção e organização dos conteúdos de seu livro, estruturado com elegante argumentação. Suas ideias foram fundamentais, por exemplo, para o posterior desenvolvimento das teorias estruturais em Química Orgânica e da tabela periódica.

Esse episódio ilustra um aspecto interessante da construção da ciência. Não foram somente grandes teóricos ou minuciosos experimentalistas a construir a Química moderna: neste caso, foi a sistematização inovadora do conhecimento da época, feita por um químico e professor interessado em apresentar a Química da maneira mais didática possível, que contribuiu para que a comunidade científica chegasse a consensos fundamentais. Pensando na atualidade, em que muitos gestores educacionais parecem sonhar com a substituição de professores e professoras por recursos tecnológicos, como as “plataformas” e a inteligência artificial, o exemplo de Cannizzaro merece ser lembrado e contraposto à infeliz ideia de que professoras e professores seriam meros repetidores de ideias alheias.

Esta edição de *Química Nova na Escola*, mais uma vez, ilustra de diferentes maneiras como o trabalho criativo e crítico dos professores renova a cada dia o ensino de Química. Como vimos, a História da Química pode ser uma importante aliada nesse processo. Dois artigos neste número abordam a história de mulheres que contribuíram para as fronteiras da ciência no século XX: “Ida Noddack e Lise Meitner: questões de gênero e a descoberta da fissão nuclear” e “As mulheres cientistas e a descoberta de elementos químicos”. A importância em se discutir questões de gênero é abordada, sob outro viés muito atual, no artigo “Química forense e a violência contra mulher: um estudo de caso com as futuras cientistas”.

Explorar as possibilidades das tecnologias de informação e comunicação tem mobilizado muitos educadores em Química, e nesta edição de QNEsc temos três artigos que resultam desse esforço: “Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS): uma abordagem da temática de números quânticos utilizando ferramentas TICs e animações”; “A informática no ensino de Química: desenvolvimento de um dispositivo virtual para o estudo de pilhas”; e “O uso de inteligência artificial no balanceamento de equações químicas: um relato de experiência”.

Outra preocupação fundamental da atualidade diz respeito à sustentabilidade e a relação dos seres humanos com a natureza – e nunca é demais insistir em como o conhecimento químico ocupa um papel central nessa temática. Três artigos neste número trazem abordagens sobre aspectos diferentes dessas questões que podem ser levadas para a escola, seja por meio de atividades experimentais – como as descritas nos

artigos “Ciência em ação: estudantes investigam a degradação de sacolas e canudos por compostagem” e “Explorando a capacidade de adsorção de macroalgas marinhas: uma abordagem didática com *Sargassum filipendula* e *Kappaphycus alvarezii*” –, seja investigando o próprio entorno da escola, como no artigo “De vala a córrego: transformando a percepção ambiental através da aprendizagem baseada em projeto no ensino de Química”.

Abordagens lúdicas continuam a interessar a comunidade de educadores em Química, resultando em atividades que levam para a sala de aula jogos e músicas, como o leitor poderá ver nos artigos: “Jogando com fórmulas e reações: ludicidade no ensino de Química para explorar a representação molecular no balanceamento químico” e “A música no ensino de ciências da natureza: uma revisão sistemática da literatura”. Finalmente, a seção Cadernos de Pesquisa traz também um panorama amplo da produção acadêmica sobre o

ensino de Química ao longo de trinta anos em nosso país, no artigo intitulado “Área de Educação em Química: evolução nas regiões e instituições brasileiras em três décadas”.

Que esta edição de QNEsc possa ser proveitosa e inspiradora para todo nosso público leitor!

Paulo Alves Porto 

*Instituto de Química,
Universidade de São Paulo (USP)
São Paulo-SP, Brasil*

Salete Linhares Queiroz 

*Instituto de Química de São Carlos,
Universidade de São Paulo (USP)
São Carlos-SP, Brasil*

Editores de QNEsc



Química forense e a violência contra mulher: um estudo de caso com as futuras cientistas

Alessandra G. da Costa, Adriana M. das Neves, Daniele G. Müller, Jessica M. Mota, Juliane Natália L. da Silva e Vânia R. de Lima

Este artigo descreve uma imersão científica de cinco alunas de ensino médio focada na aplicação da química forense associada à violência contra a mulher, viabilizada por um projeto aprovado pelos autores no Edital Futuras Cientistas (CETENE/CNPq). A metodologia de trabalho contou com palestras, aulas teóricas e experimentais para obtenção de noções jurídicas e de conhecimento sobre química forense, e posterior apresentação de um estudo de caso inédito, que descrevia um possível crime de feminicídio. A cena do crime e os suspeitos foram simulados em um laboratório. As estudantes analisaram por experimentação os vestígios do crime no local, encontrando o principal suspeito, e foram aptas a classificar o tipo de crime. A elucidação deste estudo de caso estabeleceu as etapas da imersão para serem aplicadas total ou parcialmente em escolas de ensino médio como ferramenta para sensibilização e redução da violência contra a mulher.

► violência, mulher, química, experimentação ◀

Recebido em 20/01/2025; aceito em 07/05/2025

5

Introdução

Um número de 1,4 mil mulheres mortas por casos de feminicídio foi registrado em 2022 pelo Núcleo de Estudos de Violência da Universidade de São Paulo (NEV-USP). Este dado equivale à morte de uma mulher a cada 6 horas. A Lei Federal Nº 11.340/06, conhecida como Lei Maria da Penha (Brasil, 2006), embasa-se em abordagens e entendimentos da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2002), que reconhece que a violência de gênero pode ser desencadeada por diversos fatores, que incluem os biológicos, os sociais, os psicológicos e os econômicos. Entre esses fatores, está o uso e abuso de substâncias psicoativas. Em 1997, constatou-se que 92% dos casos de violência doméstica estavam associados ao uso de substâncias psicoativas por parte do agressor, da vítima ou de ambos (Brookoff *et al.*, 1998). Por exemplo, em 2018, o alcoolismo estava diretamente ligado a 18% dos casos de violência (OMS, 2018) e em 2020, com a pandemia

As universidades podem desempenhar um papel central como espaços de formação intelectual e cidadania para as mulheres na sociedade. Portanto, é importante estabelecer parcerias entre profissionais de diferentes níveis educacionais, como os do ensino médio e superior, para incentivar estudantes e familiares a romperem ciclos de violência. Essa abordagem pode ser realizada por meio de um acompanhamento contínuo dos estudantes desde o ensino médio, incentivando-os a prosseguir seus estudos na universidade.

de COVID-19, os casos de violência de gênero foram foco de maior preocupação social, pois o confinamento levou a uma redução nos registros policiais, enquanto as vendas de álcool e substâncias psicoativas aumentaram (Ornell *et al.*, 2020). Com base nessas informações, é crucial promover a sensibilização, prevenção e combate à violência contra a mulher. Ao mesmo tempo, é fundamental incentivar a autoconfiança, autoestima, autoproteção e empoderamento feminino. Dentre as medidas recomendadas pela OMS (2002) para evitar a violência contra a mulher estão as campanhas de prevenção e os programas escolares.

As universidades podem desempenhar um papel central como espaços de formação intelectual e cidadania para as mulheres na sociedade. Portanto, é importante estabelecer parcerias entre profissionais de diferentes níveis educacionais, como os do ensino médio e superior, para incentivar estudantes e familiares a romperem ciclos de violência. Essa abordagem pode ser realizada por meio

de um acompanhamento contínuo dos estudantes desde o ensino médio, incentivando-os a prosseguir seus estudos na universidade. Essa assistência pode ser continuada e fortalecida por meio de políticas institucionais e públicas, como descrito no Pacto Nacional de Prevenção aos Feminicídio (Brasil, 2023) e no Programa de Prevenção e Enfrentamento ao Assédio Sexual e demais Crimes contra a Dignidade Sexual e à Violência Sexual, instituído pela Lei n. 14.540/2023 (Brasil, 2023). Um importante mapeamento de ações institucionais em universidades federais na prevenção e combate à violência de gênero até 2022 está descrito na Cartilha intitulada “Violências de gênero nas universidades: prevenção e enfrentamento” (Furlin e Graupe, 2024).

Dentre as abordagens universitárias que fortalecem a associação entre ciência e questões sociais, o projeto de extensão “Representatividade Feminina, Divulgação Científica e Inclusão Social a partir do PPGQTA: Gurias na Ciência” (projeto EXT 2005/FURG), iniciado em junho de 2022, vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Química Tecnológica e Ambiental (PPGQTA) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), vem atuando nos municípios gaúchos de Rio Grande (RG) e de Santo Antônio da Patrulha (SAP). O projeto, conhecido como “Gurias na Ciência” (GC), é desenvolvido por docentes, técnicos e discentes da universidade, e dissemina o trabalho de cientistas mulheres, incentivando, a partir de divulgação científica e popularização da ciência, a carreira profissional dos estudantes de ensino médio e fundamental, incluindo o ingresso dos estudantes na universidade como uma das vias de incentivo. Essas atividades ocorrem em escolas, institutos federais, universidades, feiras, eventos e junto a projetos sociais, com o intuito de estreitar os laços entre a universidade e as comunidades locais. A experiência adquirida com este projeto nas escolas revelou a urgência do tema da violência contra a mulher nos municípios atendidos, bem como a nível nacional e mundial. Sabe-se que o compartilhamento de conhecimento científico desempenha um papel crucial no fornecimento de informações confiáveis, na sistematização de ações de segurança e aumento de possibilidades de carreira profissional. No contexto da química forense, atividades experimentais associadas nas escolas de ensino médio vêm sendo ferramentas facilitadoras do processo de ensino-aprendizagem, viabilizando a associação dos benefícios da ciência com o cotidiano da sociedade (de Oliveira, 2006; da Rosa *et al.*, 2015; Cruz *et al.*, 2016). Neste sentido, destaca-se que a dependência financeira ainda é um fator significativo na perpetuação do ciclo de violência familiar, juntamente com preocupações com a sobrevivência dos filhos e dependência emocional (Azevedo e Alves, 2016). Assim, o conhecimento científico e a profissionalização podem vir

O estudo de caso descrito neste trabalho envolveu a investigação e análise de vestígios que correspondem a toda marca, objeto, sinal, rastro, substância ou elemento que seja identificado em um local onde tenha ocorrido a prática de um ato delituoso (Mallmith, 2007). Os vestígios passíveis de análise e relacionados à simulação da cena de crime foram classificados como evidências neste estudo.

a romper um ciclo de violência ao propiciar independência financeira às vítimas ou às vítimas em potencial.

Em resposta à urgência supracitada, a equipe do GC aprovou em 2023 um projeto pelo Edital Futuras Cientistas, vinculado ao programa nacional do Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). O edital previa uma imersão científica nas universidades contempladas nas quais, por 30 dias, seriam desenvolvidas atividades científicas presenciais e remotas, teóricas e práticas sobre um tema específico associado a química, de forma a aumentar a participação feminina nas ciências exatas. Com o apoio do Programa Futuras Cientistas e do PPGQTA, a equipe do GC promoveu uma imersão científica para cinco estudantes da rede estadual de ensino médio providas dos municípios de Rio Grande e de São José do Norte (RS), durante o mês de janeiro de 2024, na Escola de Química e Alimentos (EQA), sede do PPGQTA/FURG, para desenvolver o projeto intitulado “Química Forense e a Violência contra a Mulher, por Gurias na Ciência”. Ao abordar este tema, viu-se a possibilidade da participação da FURG e do PPGQTA na prevenção e combate à violência em suas comunidades.

O presente trabalho relata atividades científicas realizadas na imersão, que associaram a química forense à violência contra a mulher através da sensibilização sobre a violência de gênero, bases químicas, teóricas e práticas, das formas de prevenção e combate a este tipo de violência. Visto que a promoção da autonomia estimula o interesse pelo aprendizado (Fagundes *et al.*, 2022), neste artigo também está relatada a elucidação de um estudo de caso simulado de violência contra a mulher pelas estudantes aplicando o conhecimento repassado durante o restante da imersão. Segundo Sátyro e D’albuquerque (2020), o uso de estudo de caso é extremamente útil para compreender fenômenos sociais complexos que requerem uma investigação profunda para capturar suas características abrangentes e elucidar os processos e mecanismos essenciais, distinguindo-os de outros fatores e processos menos relevantes para a análise principal. O estudo de caso descrito neste trabalho envolveu a investigação e análise de vestígios que correspondem a toda marca, objeto, sinal, rastro, substância ou elemento que seja identificado em um local onde tenha ocorrido a prática de um ato delituoso (Mallmith, 2007). Os vestígios passíveis de análise e relacionados à simulação da cena de crime foram classificados como evidências neste estudo.

Assim sendo, o objetivo deste trabalho é descrever as etapas desta imersão realizada na FURG, incluindo os resultados obtidos para a elucidação do estudo de caso, para serem total ou parcialmente usadas em escolas de ensino médio como ferramenta para sensibilização e redução dos

índices associados à violência contra a mulher. As etapas desta imersão científica foram elaboradas como uma ação educativa-investigativa que reflete um contexto social permissivo a atos de violência contra a mulher, mas que também promove reflexão sobre estratégias para modificá-lo (Elliott, 2000).

Metodologia

A metodologia foi baseada em uma sequência de atividades teórico-experimentais (palestras, aulas e experimentação), que geraram conhecimento para a elucidação de um estudo de caso associado a um possível feminicídio, simulado em um laboratório. O cronograma detalhado destas ações está descrito no Material Suplementar (item 1S).

Explorando a química forense: atividades teórico-experimentais prévias ao estudo de caso

Palestras e aulas teóricas: Durante a imersão foram ministradas palestras e aulas conduzidas por tutoras, alunas de doutorado e professoras do PPGQA para as estudantes contempladas com o projeto. As palestras foram ministradas por profissionais convidadas pela equipe de trabalho que abordaram as seguintes temáticas: Mulheres Cientistas Laureadas e GC, a Violência contra a Mulher (palestra ministrada por profissional da área de direito, apresentando as legislações e conceitos legais vigentes referentes ao combate à violência contra a mulher), Investigação Forense e Pesquisa Criminal (palestra ministrada por profissional especialista na área pericial, apresentando conceitos e protocolos em perícia e química forense) e Identificação de Edulcorantes em Substância Ilícita, este último um trabalho de Pesquisa executado no PPGQA em colaboração com a Polícia Federal. O planejamento das aulas teóricas e experimentais ocorreu de forma a partilhar os conhecimentos às estudantes sobre o ambiente de laboratório e seus riscos, preparo de soluções que seriam empregadas nas práticas e subsidiá-las com os conhecimentos da química forense que podem ser utilizados em cenas de crimes. Para isso, foram ministradas aulas teóricas sobre normas de segurança de laboratórios, soluções, funções orgânicas, solventes e suas periculosidades - reconhecendo pictogramas e densidade. As atividades práticas estão descritas a seguir.

Atividades práticas e experimentais: Aulas práticas contemplaram os temas: manuseio de vidrarias e pesagens, reagentes, soluções, densidade e cromatografia. Além destes foram abordados os princípios e experimentação de: 1) Teste do bafômetro; 2) Extração do DNA; 3) Identificação de grupos funcionais; 4) Revelação de digitais que, por terem sido realizados para a elucidação do estudo de caso, estão descritos no decorrer do artigo. Vale ressaltar, conforme Galliazzi e Gonçalves (2004), que o conteúdo ministrado via experimentação foi contextualizado para relações sociais, culturais, econômicas e políticas. Os experimentos, como parte de uma pesquisa, buscaram associar e consolidar o conteúdo teórico-prático envolvido à relação entre abuso

de psicoativos e violência (a partir do estudo de grupos funcionais presentes em fármacos psicoativos), além do reconhecimento de material biológico e identificação de digitais como ferramentas para a elucidação de atos de violência ou feminicídio, que viabilizam a incriminação e prisão de agressores/assassinos. Foram assim incentivados às estudantes o questionamento, argumentação e validação dos dados, a partir de uma abordagem social (Galliazzi e Gonçalves, 2004).

Teste do Bafômetro: Para abordar o teste do bafômetro com as estudantes, foi pontuado inicialmente o dado da OMS, referente a que o consumo nocivo e prejudicial de bebidas alcoólicas está relacionado a 18% dos casos de violência contra a mulher, no qual tanto vítima quanto agressor pode estar sob influência do álcool. Ressaltou-se a importância das discussões científicas a respeito do consumo de drogas lícitas, tal como o álcool, dentro da sala de aula e em outros ambientes das instituições de ensino. Nesse contexto, o teste do bafômetro foi realizado em cinco amostras: cerveja com álcool, cerveja sem álcool, vinho, álcool etílico e cachaça. O teste contou com um protótipo de bafômetro montado pela equipe, a partir de um Erlenmeyer, mangueiras e tubo de ensaio, conforme a Figura 1.

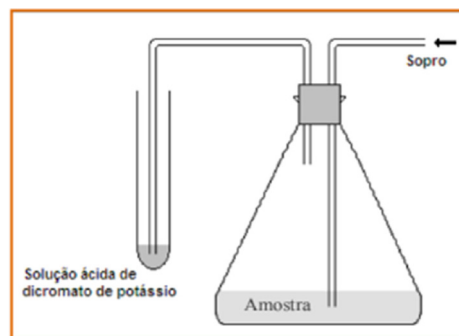


Figura 1: Protótipo do bafômetro utilizado para identificação do grupo álcool. Fonte: Autoras.

Para realização deste teste, a amostra foi transferida para o Erlenmeyer e, no tubo de ensaio, foi colocada uma solução de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ acidificada com ácido sulfúrico (H_2SO_4) 20%v/v (Braathen, 1997). Em seguida, pelo canudo, membros da equipe de trabalho assoopraram a amostra (pelo fato de as estudantes serem menores de idade) para que, o vapor de álcool fosse deslocado para a solução de $K_2Cr_2O_7$. Esta solução, ao reagir com o álcool, mudava sua coloração de laranja para verde. Quanto menor o tempo para a mudança de cor, maior o teor dessa substância na bebida. Sendo assim, o tempo da reação, verificado pela mudança de coloração, foi medido com um cronômetro.

Extração do DNA: Os ensaios de extração de DNA foram realizados a partir de extrato de morango. O preparo do extrato deu-se pela pesagem de 125 g de tecido de morangos que foram cortados em quadrados com cerca de 5 mm e, posteriormente, macerados. O extrato foi submetido ao teste de extração de DNA para uma fase alcóolica (Furlan *et al.*, 2010; Galhardo, 2012; Fagundes *et al.*, 2022).

Identificação de grupos funcionais: Os testes para a identificação de grupos funcionais foram realizados em compostos orgânicos encontrados em fármacos ou substâncias comumente utilizados como analgésicos, antidepressivos e/ou oferecidos/aplicados em mulheres para posterior agressão. Os grupos funcionais analisados foram aminas secundárias alifáticas, aldeídos, fenóis e ácido carboxílico. Os fármacos e substâncias em que estes grupos foram monitorados foram Fluoxetina®, Sertralina®, formol, Paracetamol® e Ibuprofeno®. Para identificar as aminas secundárias alifáticas presentes nas amostras como os fármacos antidepressivos Fluoxetina® e Sertralina®, foi utilizado o Teste de Simon. Neste teste, a presença da amina secundária é confirmada pela mudança de cor da solução para azul (Engel *et al.*, 2012; Soares *et al.*, 1988). Para identificar o grupo aldeído em amostra como formol, utilizou-se o Teste com Permanganato de Potássio (KMnO_4). A presença de aldeído é observada a partir do desaparecimento da cor violeta (típica da solução de KMnO_4) e do surgimento de precipitado marrom (Soares *et al.*, 1988; Engel *et al.*, 2012). Para verificar a presença de fenol no fármaco Paracetamol®, utilizou-se o Teste de Complexação com cloreto férrico (FeCl_3). O aparecimento imediato da coloração vermelha, azul, púrpura ou verde indica a presença de fenol (Soares *et al.*, 1988; Engel *et al.*, 2012). Para identificar a função ácido carboxílico no fármaco de Ibuprofeno®, foi empregado o Teste com Bicarbonato de Sódio (NaHCO_3). A confirmação da presença de ácido carboxílico é verificada pela liberação de gás carbônico (CO_2) com formação de bolhas (Shriner *et al.*, 1998; Engel *et al.*, 2012).

Revelação de digital: Para a revelação de digital, foram usados dois métodos: 1) a câmara de iodo para a revelação de digital fixada no papel (FBI, 2003; Jasuja *et al.*, 2019), e 2) o pó negro para a revelação da digital fixada no copo (Mercio *et al.*, 2002). A análise das digitais foi baseada no reconhecimento dos 4 tipos de digitais: arco, verticilo, presilha interna e presilha externa (estas duas últimas contendo ou não deltas (Δ)) (Figini, 2012).

Elaboração, simulação e aplicação do estudo de caso em laboratório

Um estudo de caso foi elaborado pela equipe de trabalho e aplicado na última semana de imersão com as estudantes, com base em uma cena de crime simulado, criada e montada no laboratório Química Orgânica II da EQA/FURG pela equipe de trabalho. O estudo de caso foi elaborado a partir de uma narrativa que buscou descrever os aspectos da vida pessoal e profissional da vítima de um possível feminicídio ocorrido em um laboratório, assim como os referentes a três suspeitos potenciais do crime. Esta narrativa também buscou inserir as estudantes no contexto do crime simulado enquanto peritas encarregadas do caso. A narrativa foi distribuída às alunas, lida em voz alta e, em seguida, as alunas/peritas receberam as fichas cadastrais dos suspeitos envolvidos no caso (que foram interpretados como personagens por membros convidados da FURG, assim como a

ficha da própria vítima. Estes documentos apresentavam informações tais como nome completo, idade, cargo no departamento, altura e digital. A cena do crime simulado estava isolada por fita zebra amarela e preta, continha um conjunto de garrafas PET de 5 litros, encaixadas entre si e ensacadas com um plástico preto, simulando o corpo da personagem Sofia, além dos seguintes vestígios: 1) digital em um bilhete deixado na cena do crime, 2) digital em um copo de vidro transparente com um líquido incolor no seu interior; 3) sangue simulado com extrato de morango; 4) pó branco na bancada; 5) um bilhete. Nas bancadas do laboratório, estavam dispostos os materiais para realização de quatro experimentos: 1) Identificação de grupos funcionais; 2) Revelação de digital; 3) Extração do DNA e 4) Teste do bafômetro. As estudantes, atuando como peritas, foram incentivadas a coletar os vestígios da cena do crime e a escolher e empregar as práticas experimentais que já haviam sido realizadas, previamente, durante a imersão científica. As estudantes foram assim instigadas a empregar os conhecimentos repassados durante a imersão para desenvolver o estudo de caso “Quem matou Sofia”, envolvendo a ideia de analisar minuciosamente um único caso usando a discussão em coletivo e criticidade para escolha do método mais adequado entre os experimentos disponibilizados, segundo a proposta de Sátyro e D’Albuquerque (2020).

Resultados e discussão

Os resultados apresentados a seguir referem-se à elucidação do estudo de caso na universidade, onde foram aplicados os conhecimentos teóricos-experimentais repassados durante a imersão, incluindo os experimentos descritos nas sessões 2.1.2.1 a 2.1.2.4 deste artigo. A narrativa completa do estudo de caso está descrita no Material Suplementar deste trabalho (Item 2S).

Modelos de fichas cadastrais

As fichas cadastrais dos personagens fictícios envolvidos no caso, distribuídas para as estudantes estão demonstradas na Figura 2.

Cena do crime simulado

A cena de crime para o estudo de caso intitulado “Quem matou Sofia”, contendo o corpo simulado e os vestígios como copo de vidro transparente com um líquido incolor no seu interior e digital na face superior, sangue simulado com extrato de morango, pó branco na bancada e um bilhete com digital, está mostrada na Figura 3 e Figura 4.

Análise dos vestígios

Inicialmente, as alunas observaram o ambiente, reconheceram e coletaram os vestígios para análise laboratorial e posterior elaboração de um relatório pericial com seus resultados e interpretações de acordo com modelo baseado em Costa (2016).

A

FICHA DE CADASTRO

NOME: SOFIA CORREA MARTINS
 IDADE: 32 ANOS ALTURA: 1,63
 CARGO: CHEFE DEPARTAMENTO DE QUALIDADE DE ALIMENTOS

INFORMAÇÕES RELEVANTES

- Teve um relacionamento recente com Matheus;
- Não mantinha boa relação com a subchefe do setor, Karina;
- Consumia bebidas alcoólicas moderadamente;
- Fazia uso de medicamentos controlados.

B

FICHA DE CADASTRO

NOME: JOSÉ ANTÔNIO DE MEDEIROS
 IDADE: 43 ANOS ALTURA: 1,79
 CARGO: TÉCNICO DO DEPARTAMENTO DE QUALIDADE DE ALIMENTOS

INFORMAÇÕES RELEVANTES

- Estava em aviso prévio, foi demitido por Sofia por assédio moral e sexual;
- Alcoolatra em tratamento;
- Estava muito revoltado com a demissão, alegando ser inocente.

C

FICHA DE CADASTRO

NOME: KARINE DOS SANTOS OLIVEIRA
 IDADE: 38 ANOS ALTURA: 1,71
 CARGO: SUBCHefe DEPARTAMENTO DE QUALIDADE DE ALIMENTOS

INFORMAÇÕES RELEVANTES

- Não mantinha boa relação com a sua chefe, Sofia;
- Mantém um relacionamento recente com Matheus;
- Não bebe cerveja, mas gosta de destilados;
- Faz uso de medicamentos controlados.

D

FICHA DE CADASTRO

NOME: MATEUS SILVA DA SILVA
 IDADE: 45 ANOS ALTURA: 1,82
 CARGO: CHEFE DEPARTAMENTO DE LOGÍSTICA

INFORMAÇÕES RELEVANTES

- Ex-namorado de Sofia e está em um relacionamento sério com Karine;
- Tem um perfil ciumento;
- Consome bebidas alcoólicas com frequência;
- Não faz uso de medicamentos controlados.

Figura 2: Modelos das fichas de cadastro da vítima (A) Sofia Correa Martins e dos suspeitos (B) José Antônio de Medeiros, (C) Karine dos Santos Oliveira e (D) Matheus Silva da Silva. Fonte: Autoras.



Figura 3: Registros da cena do crime no laboratório (Laboratório de Química Orgânica II, FURG), contendo: (A) copo de vidro transparente com um líquido incolor no seu interior e digital na face superior, (B) sangue simulado com extrato de morango, (C) pó branco na bancada e (D) alunas executando as tarefas. Fonte: Autoras.

Sofia

Poderíamos conversar depois do expediente hoje (24/01), pode ser ali no Lab. Química Orgânica II.

-Karina

Figura 4: Bilhete encontrado próximo ao corpo de Sofia. Fonte: Autoras.

Análise do líquido encontrado no copo pelo teste do bafômetro

Para esta análise, as estudantes/peritas, supuseram que a bebida no copo pudesse conter álcool, visto a relação entre a violência contra a mulher e o alcoolismo (OMS, 2018). Realizaram o teste do bafômetro. Ocorreu mudança na cor da amostra devido ao processo de oxirredução entre o etanol e o dicromato de potássio, indicando a presença de álcool no líquido. O tempo de reação para mudança de cor do reagente ocorreu em 2' 44". Como o líquido era incolor, as estudantes/peritas trouxeram como hipótese a possibilidade do líquido ser identificado como cachaça ou etanol. Compararam o tempo de reação do líquido incolor com resultados prévios de tempos de reação para diferentes amostras com teores alcoólicos distintos, sendo: cerveja, cachaça, cerveja sem álcool, vinho e etanol, conforme apresentado na Tabela 1.

O tempo para mudança de cor do reagente na amostra foi similar ao obtido na análise da cachaça (2' 32") em análise prévia (Tabela 1). Sendo assim, apontaram que o vestígio encontrado no copo era cachaça e não o etanol (cujo tempo de reação prévio de 1' 05"). Logo, supuseram que a cachaça poderia estar relacionada ao uso direto da vítima ou ao de José Antônio, por este ser um dos suspeitos e estar sob tratamento dos alcoólicos anônimos, conforme apresentado na ficha de cadastro (Figura 2B).

Tabela 1: Resultados do teste realizado em atividade prévia ao estudo de caso

Solução alcoólica	Graduação alcoólica conforme rótulo	Tempo aproximado para mudança de coloração (tempo de reação)
Álcool etílico (Etanol)	100%	1' 05"
Cachaça	39%	2' 32"
Vinho	10,5%	2' 38"
Cerveja	4,7%	7' 00"
Cerveja sem álcool	0%	não reagiu

Fonte: Autoras.

Extração do DNA

No teste de extração do DNA, as estudantes/peritas separaram alíquotas do extrato de morango, que havia sido deixado sobre a bancada e, após adicionarem etanol gelado, perceberam a formação de um filamento gelatinoso referente ao DNA que foi extraído na fase alcoólica. Desta forma, foi suposto que havia presença de material biológico, devido à presença do DNA. Com isto, as estudantes/peritas afirmaram que a amostra era uma evidência da presença de sangue. A partir deste momento, foi explicado às estudantes/peritas as bases teóricas para os testes de identificação de DNA, que poderiam confirmar se a amostra analisada pertencia à vítima ou ao suspeito.

Análise do pó branco

Para analisar o vestígio referente ao pó branco encontrado

na cena do crime, as estudantes/peritas decidiram empregar os testes para identificar grupos funcionais de compostos orgânicos. Isto se deveu ao fato de que tais testes possibilitariam indicar se o pó branco se tratava de um fármaco antidepressivo, analgésico ou apenas algum reagente presente na bancada. Para a identificação de grupos funcionais no pó branco, foram aplicados os três testes descritos no item 2.1.2.3: o Teste de Simon, Teste de Cloreto Férrico e Teste com Bicarbonato de Sódio.

Após a realização do Teste de Simon, a amostra não passou por alterações de cor. Desta forma, as estudantes concluíram que não havia a presença do grupo amina na amostra, que é comumente presente em antidepressivos. Em outra alíquota aplicaram o Teste de Cloreto Férrico, no qual observaram que não houve alteração da cor na solução, o que indicou um resultado negativo para a presença de fenol na amostra e para a possibilidade de o pó branco tratar-se do analgésico Paracetamol®. Ao realizarem o Teste com o Bicarbonato de Sódio, as estudantes/peritas perceberam a presença de bolhas na solução contendo a amostra, o que confirmou a presença de ácido carboxílico, permitindo a identificação que o pó desconhecido continha ácido carboxílico e poderia constar de Ibuprofeno®.

Com esses resultados não foi possível afirmar se o pó branco era ou não uma evidência, já que o estudo de caso não previa uma investigação para determinar se o pó branco tinha ou não relação direta com o caso, permanecendo considerada um vestígio.

Análise das impressões digitopapilares dos suspeitos

A análise datiloscópica foi realizada no vestígio da impressão digitopapilar encontrada no copo de vidro pelo método do carvão em pó. Depois de coletada, a impressão digitopapilar foi comparada com as impressões digitopapilares registradas nas fichas cadastrais dos suspeitos (Figura 4).

Na Figura 5 é possível verificar os 4 tipos de impressões digitopapilares: arco, verticilo, presilha interna e presilha externa. O datilograma da presilha externa contém um delta (Δ) à esquerda do observador, diferente da presilha interna que contém um Δ à direita do observador (Figini, 2012). Como na cena simulada constavam pessoas que atuavam como os personagens da cena do crime, as estudantes/peritas também coletaram e analisaram as suas impressões digitopapilares da mão direita, revelando-as pelo método da câmara de iodo.

A comparação das impressões digitopapilares digitais reveladas no copo com carvão em pó e a impressão digitopapilar coletada do suspeito indicou que a impressão digitopapilar encontrada pelas alunas pertencia a José Antônio. Isso foi determinado pela presença de uma presilha externa em comum entre a amostra coletada e a impressão digitopapilar registrada na ficha cadastral deste suspeito.

Após todas as análises supracitadas terem sido realizadas, foi encontrado o último vestígio, um bilhete que estava junto ao corpo da vítima Sofia. Vale ressaltar que, neste

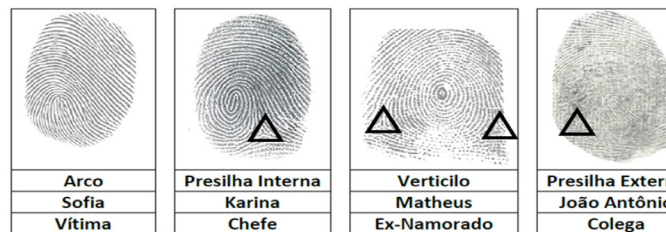


Figura 5: Dados dactiloscópicos do polegar da mão direita dos suspeitos de acordo com as fichas cadastrais para o estudo de caso. Fonte: Autoras.

estudo, a grafoscopia, usada para verificar e identificar a autoria do bilhete manuscrito, não foi abordada devido à sua complexidade (Hanusiak *et al.*, 2010). Para analisar este vestígio, as estudantes/peritas decidiram utilizar o método de revelação de impressão digitopapilar com a câmara de iodo, procedimento que revelou a descoberta de uma impressão digitopapilar na parte de trás do bilhete. Comparando a nova descoberta com os resultados anteriores, as alunas confirmaram que a impressão digitopapilar encontrada pertencia a José Antônio. Todas as impressões digitopapilares encontradas no local do crime, tanto no copo de vidro quanto no bilhete, foram idênticas à coletada na mão direita do suspeito, assim como foi a mesma descrita na ficha de cadastro deste suspeito.

Construção de um relatório pericial

As estudantes/peritas construíram um relatório pericial, onde correlacionaram as características descritas na ficha cadastral do suspeito José Antônio com os vestígios encontrados e as evidências detectadas. Segundo a ficha cadastral de José Antônio (Figura 4B), este era alcoólatra e tinha acesso livre ao laboratório. Ele também estava revoltado com Sofia por culpa da sua demissão e de uma acusação de assédio sexual e moral. Uma parte do relatório construído a partir das observações, análises e resultados das peritas é apresentado na Figura 6.

Dessa forma, para finalizar o estudo de caso, a partir dos vestígios coletados e das evidências encontradas, as peritas concluíram que o principal suspeito era José Antônio e que havia ocorrido um caso de feminicídio. Um relatório da imersão científica também foi realizado pelas estudantes, e baseado neste, foi realizada uma apresentação nacional pública e remota, disponível no endereço <https://www.youtube.com/watch?v=AlugaxfnLbE>, 2h40min55seg.

Conclusão

Considerando os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas no Pacto Global (2015), urge que as instituições escolares priorizem a prevenção e o combate à violência contra a mulher, preparando professoras e professores para atuação com as alunas e alunos, assim como atualizando seus currículos e materiais no âmbito desta temática (Oliveira e Melo, 2024). As políticas institucionais efetivas na prevenção

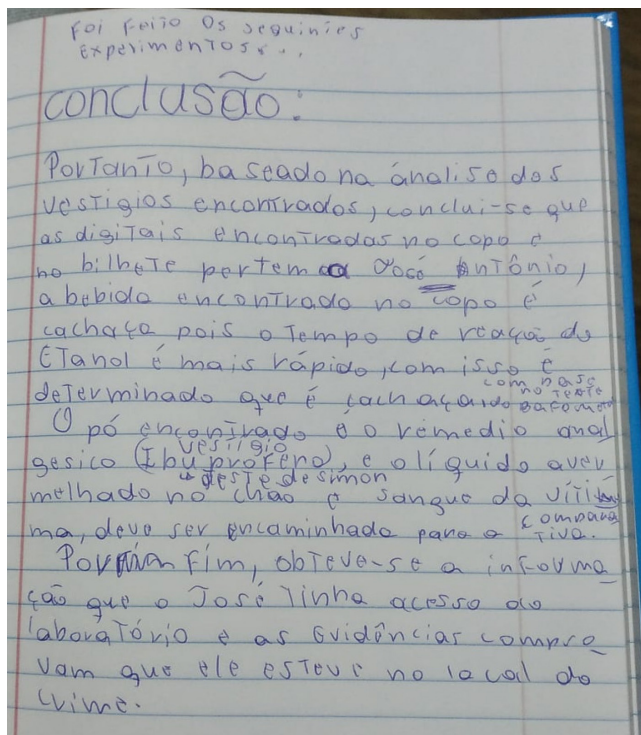


Figura 6: Relatório pericial sobre o caso “Quem matou Sofia?”. Fonte: Alunas do projeto Química Forense e a Violência contra a Mulher, por GC (2024).

e combate à violência contra a mulher, no âmbito da administração pública de nível federal a municipal, podem ser atualmente impulsionadas pelo Programa de Prevenção e Enfrentamento ao Assédio Sexual e demais Crimes contra a Dignidade Sexual e à Violência Sexual, instituído pela Lei n. 14.540/2023 (Brasil, 2023). Apesar do impulso de leis e organizações para políticas públicas no tema, os índices de casos de violência aumentam e são alarmantes, sendo primordial difundir esse tema nas escolas e universidades.

Durante a imersão científica, as palestras na área pericial e jurídica, possibilitaram que as estudantes compreendessem sobre os direitos da mulher, as legislações vigentes em casos de violência contra a mulher e a prevenção a violência relacionando drogas e fármacos de abuso. A temática também permitiu debates com as estudantes sobre a problemática social de violência contra a mulher, afirmando que é através da sensibilização e do conhecimento que se pode pensar em ações para minimizar essa violência. No campo da Química, a imersão proporcionou às estudantes a introdução aos elementos de uma investigação pericial, integrando-os aos aspectos de uma pesquisa científica no que diz respeito à: problemática (violência contra a mulher), justificativa (ações em escolas e universidades são recomendadas e úteis), hipóteses (no estudo de caso, se tratava de um feminicídio?), escolha e aplicação de metodologia (para analisar os vestígios do estudo de caso), obtenção/ tratamento de resultados e conclusão. O planejamento e sequência dos experimentos aprendidos, correlacionados e executados em laboratório pelas estudantes foram eficientes para desvendar o estudo de caso proposto. Vale ressaltar que, na ocasião, as estudantes

almejavam ingressar em universidade pública. Atualmente, três delas ingressaram nas áreas da saúde e das ciências exatas, com o objetivo de se tornarem futuras cientistas e alcançar independência financeira.

A imersão permitiu às estudantes do projeto “Química Forense e a Violência contra a Mulher, por GC” entenderem de forma tangível como os princípios da Química Forense, podem ser aplicados na prevenção, investigação e resolução de casos relacionados à violência de gênero, incluindo feminicídio.

Este trabalho foi estabelecido para ser replicado em outras instituições de ensino, em sedes de projetos sociais e comunidades, como uma ação educativa voltada à prevenção, ao enfrentamento e à redução dos índices de violência contra a mulher. As atividades descritas representam um exemplo prático e multidisciplinar – envolvendo as áreas do Direito e da Química – de como o conhecimento científico pode contribuir no enfrentamento da violência de gênero, evidenciando o potencial da educação e da pesquisa científica na sensibilização, prevenção e combate desse grave problema social.

Material suplementar

O material suplementar referente a este trabalho está disponível em https://qnesc.sbq.org.br/online/prelo/QNEsc_7-25_MS.pdf, na forma de arquivo PDF, com acesso livre.

Alessandra G. da Costa (ale_gcosta@hotmail.com) é mestre e doutoranda em Química pela Universidade Federal do Rio Grande. **Adriana M. das Neves** (adrianamdasneves@gmail.com) é doutora em Química pela Universidade Federal de Pelotas. Atualmente é pós-doutoranda em Química pela Universidade Federal do Rio Grande. **Daniele G. Müller** (dgomesmuller@yahoo.com.br) é doutora em Química pela Universidade Federal do Rio Grande. Atualmente é pós-doutoranda em Química pela Universidade Federal do Rio Grande. **Jessica M. Mota** (jessicammota00@gmail.com) é graduanda em Física Médica pela Universidade Federal do Rio Grande. **Juliane Natália L. da Silva** (julianelima@furg.br) é doutora em Química pela Universidade Federal do Rio Grande. Atualmente é pós-doutoranda em Ciência de Alimentos pela Universidade Federal do Rio Grande. **Vânia R. de Lima** (vrlima23@hotmail.com) é doutora em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina. Atualmente é docente da Universidade Federal do Rio Grande.

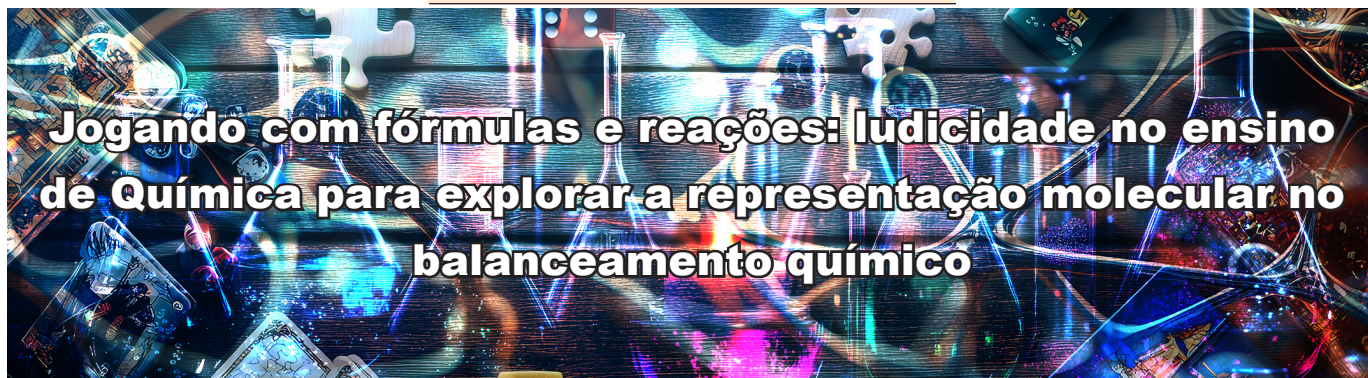
Referências

- AZEVEDO, M. e ALVES, P. Permanência de mulheres em situação de violência: compreensões de uma equipe multidisciplinar. *EPOS*, v. 7, p. 55-72, 2016.
- BRAATHEN, C. Hálito culpado: o princípio químico do bafômetro. *Química Nova na Escola*, v. 5, p. 1-3, 1997.
- BRASIL. Decreto nº 11.640, de 16 de agosto de 2023. Institui o Pacto Nacional de Prevenção aos Feminicídios. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/d11640.htm, acesso em abr. de 2025.
- BRASIL. Lei nº 11.340, de 7 de agosto de 2006. Cria mecanismos para coibir a violência doméstica e familiar contra a mulher. Diário Oficial da União. Brasília, DF. 8 ago. 2016. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/11340.htm, acesso em abr. de 2024.

- BRASIL. Lei n. 14.540, de 3 de abril de 2023 - Programa de Prevenção e Enfrentamento ao Assédio. Institui o Programa de Prevenção e Enfrentamento ao Assédio Sexual e demais Crimes contra a Dignidade Sexual e à Violência Sexual. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Lei/L14540.htm, acesso em abr. de 2025.
- BROOKOFF, D.; O'BRIEN, K.; COOK, C.; THOMPSON, T. e WILLIAMS, C. Characteristics of participants in domestic violence – assessment at the scene of domestic assault. *Journal of Clinical Forensic Medicine*, v. 5, p. 100, 1998.
- COSTA, R. S. *Um estudo de caso de química forense: despertando a sagacidade ao aprendizado de química*. Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- CRUZ, A. A. C.; RIBEIRO, V. G. P.; LONGHINOTTI, E. e MAZZETTO, S. E. A ciência forense no ensino de química por meio da experimentação investigativa e lúdica. *Química Nova na Escola*, v. 38, p. 167-172, 2016.
- ELLIOT, J. Recolocando a pesquisa-ação em seu lugar original e próprio. In: GERALDI, C.; FORENTINI, D.; PEREIRA, E. (orgs.). *Cartografia do trabalho docente: professor(a) – pesquisador(a)*. Campinas: Mercado das Letras, 2000.
- ENGEL, R.; KRIZ, G.; LAMPMAN, G. e PAVIA, D. *Química orgânica experimental: técnicas de escala pequena*. Brasil: Cengage Learning, 2012.
- FAGUNDES, S.; NASCIMENTO, C.; BRITO, D. e RIBEIRO, A. A prática experimental: extração de DNA aplicada ao ensino básico. *Physicae Organum – revista dos estudantes de física da UNB*, v. 8, p. 233-248, 2022.
- FBI. Handbook of forensic science. Disponível em: <https://www.fbi.gov/file-repository/handbook-of-forensic-services-pdf.pdf/view>, acesso em mar. de 2024.
- FIGINI, A. *Datilosopia e revelação de impressões digitais*. São Paulo: Millennium, 2012.
- FURLAN, C.; ALMEIDA, A. C. e RODRIGUES, C. Extração de DNA vegetal: o que estamos realmente ensinando em sala de aula? *Química Nova na Escola*, v. 33, p. 32-36, 2010.
- FURLIN, N. e GRAUPE, M. E. (org.). *Violências de gênero nas universidades: prevenção e enfrentamento*. Joaçaba: Editora Unoesc, 2024. Disponível em <https://mulherespaz.org.br/site/wp-content/uploads/2024/08/Cartilha-Violencias-de-genero-nas-universidades-prevencao-e-enfrentamento.pdf>, acesso em abr. de 2025.
- GALHARDO, E. Extraíndo DNA de morango. Disponível em: https://www2.assis.unesp.br/egalhard/Dna_2012.html, acesso em mar. de 2024.
- GALLIAZZI, M. C. e GONÇALVES, F. P. A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em química. *Química Nova*, v. 27, p. 326-331, 2004.
- HANUSIAK, R. K.; JUSTINO, E. J. R.; OLIVEIRA, L. S. e SABOURIN, R. Identificação da Autoria de Manuscritos com Base em Atributos Genéticos e Genéricos da Escrita. *RITA*, v. 17, p. 193-209, 2010.
- JASUJA, O. P.; KAUR, A. e KUMAR, P. Fixing latent fingerprints developed by iodine fuming: a new method. *Forensic Science International*, v. 223, p. 47-52, 2012.
- MALLMITH, D. M. *Local de crime*. Porto Alegre: Luzes, 2007.
- MERCIO, L. F. e PINTO, A. F. *Manual técnico de datilosopia*. Rio de Janeiro: Instituto de Identificação Félix Pacheco, 2002.
- Núcleo de Estudos de Violência da Universidade de São Paulo. Rede de observatórios de segurança. Disponível em: <https://nev.prp.usp.br/projetos/projetos-especiais/rede-de-observatorios-de-seguranças>, acesso em abr. de 2024.
- OLIVEIRA, M. F. Química forense: a atualização da química na pesquisa de vestígios de crime. *Química Nova na Escola*, v. 24, p. 17-19, 2006.
- OLIVEIRA, M. e MELO, F. M. Violência contra as mulheres e políticas públicas em educação: perspectivas necessárias para o combate e a prevenção no Amazonas com base na educação em direitos humanos. *Fênix – Revista de História e Estudos Culturais*, v. 21, p. 114-145, 2024.
- Organização Mundial De Saúde (OMS). Global status report on alcohol and health 2018. Genebra, 2022. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565639>, acesso em abr. de 2024.
- Organização Mundial De Saúde (OMS). Relatório mundial sobre violência e saúde. Genebra. 2002. Disponível em: <https://portaldeboaspraticas.iff.fiocruz.br/wp-content/uploads/2019/04/14142032-relatorio-mundial-sobre-violencia-e-saude.pdf>, acesso em abr. de 2024.
- ORNELL, F.; HALPERN, S.; DALBOSCO, C.; SARDI, A.; STOCK, B.; KESSLER, F. e TELLES, L. Violência doméstica e consumo de drogas durante a pandemia da COVID-19. *Pensando Famílias*, v. 24, p. 3-11, 2020.
- PACTO GLOBAL. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Nova York, 2015. Disponível em: <https://www.pactoglobal.org.br/ods>, acesso em abr. de 2025.
- ROSA, M. F.; DA SILVA, P. S. e GALVAN, F. B. Ciência forense no ensino de química por meio da experimentação. *Química Nova na Escola*, v. 37, p. 35-43, 2015.
- SÁTYRO, N. e D'ALBUQUERQUE, R. O que é um estudo de caso e quais as suas potencialidades?. *Revista Sociedade e Cultura*, v. 23, p. 1-33, 2020.
- SHRINER, R.; HERMANN, C.; MORRIL, T.; CURTIN, D. e FUSON, R. *The systematic identification of organic compounds*. New York: John Wiley and Sons, 1998.
- SOARES, B.; SOUZA, N. e PIRES, D. *Química orgânica: teoria e técnicas de preparação, purificação e identificação de compostos orgânicos*. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988.

Abstract: *Forensic chemistry and violence against women: a case study with future scientists.* This article describes a scientific immersion of five high school students focused on the application of forensic chemistry related to the violence against woman, through a project approved by the Future Scientists Public Notice, CETENE/CNPq. The applied methodology included the introducing of legal concepts and actions related to violence against woman, theoretical and experimental classes of forensic chemistry, and a case study to elucidate, based on a possible feminicide. A crime scene and the suspects were simulated in the laboratory. The students analyzed the crime traces, through laboratory experiments, finding who was the main suspect of the crime, and could detect the type of crime. The elucidation of the case study established the steps of the scientific immersion to be applied in high schools as a tool to raise the awareness and reduce violence against woman.

Keywords: violence, women, chemistry, experimentation



Jogando com fórmulas e reações: ludicidade no ensino de Química para explorar a representação molecular no balanceamento químico

Pedro Naum de Lima, Luciane Fernandes de Goes e Carmen Fernandez

A Química possui uma linguagem própria que os alunos precisam aprender a interpretar. O uso de equações para representar reações químicas pode ser desafiador, pois muitos não veem a conexão com os fenômenos das transformações químicas, dificultando a compreensão da estequiometria. Para enfrentar esse desafio, foi realizada uma atividade lúdica no Programa de Residência Pedagógica. A partir das dificuldades observadas em exercícios de balanceamento, os residentes propuseram uma atividade didática que conectava o nível simbólico da Química ao nível submicroscópico. Com lousa, crachás e jogos teatrais, os alunos interpretaram átomos, formando compostos e resolvendo desafios de balanceamento. Durante a representação teatral, os alunos puderam perceber a complexidade do processo, o que os ajudou a compreender a importância da representação química e sua conexão com os fenômenos. Após a atividade, mostraram maior facilidade em resolver os exercícios, ressaltando o papel motivador e explicativo do jogo na educação científica.

► jogos didáticos, ensino de Química, níveis de representação ◀

Recebido em 18/11/2024; aceito em 14/03/2025

13

Introdução

A Química tem uma linguagem própria, e seu ensino exige que os estudantes interpretem essa linguagem de forma adequada. O uso de equações para representar reações químicas costuma ser desafiador, pois muitos alunos têm dificuldade em perceber a conexão entre as equações e os fenômenos das transformações químicas. Sem essa compreensão, enfrentam dificuldades em entender a estequiometria e o balanceamento.

A abstração natural da Química, aliada à sua falta de intuitividade, impõe desafios significativos no processo de ensino-aprendizagem (Pozo e Crespo, 2009; Talanquer, 2011). As representações químicas, que são essenciais para a compreensão científica da matéria, muitas vezes se tornam obstáculos para um aprendizado efetivo (Gilbert e Treagust, 2009).

Mortimer e Miranda (1995) ressaltam a dificuldade que os estudantes enfrentam ao tentar identificar quais entidades se transformam e quais permanecem constantes nas reações. Muitas vezes, as explicações dos alunos se concentram apenas nas mudanças perceptíveis das substâncias, sem estabelecer conexões com as alterações em nível atômico e molecular. Além disso, os alunos frequentemente não

aplicam o conceito de conservação da massa a situações envolvendo reações químicas.

A falta de conexão entre as equações e os fenômenos das transformações químicas pode estar relacionada às dificuldades na interpretação da estequiometria das reações. Segundo Mortimer e Miranda (1995, p. 24), “a dificuldade em perceber que as mudanças observadas nas transformações químicas são consequências do rearranjo dos átomos faz com que os estudantes deixem de utilizar o raciocínio de conservação de massa.” Esse entendimento é essencial para o domínio do balanceamento de equações químicas e das relações estequiométricas nas reações. Os autores também destacam que, no ensino de Química, costuma-se priorizar o uso de equações para representar as reações químicas, enquanto o estudo dos fenômenos envolvidos nas transformações é frequentemente deixado em segundo plano.

Para superar essas dificuldades e tornar o aprendizado mais significativo, diversas ferramentas de ensino, quando bem planejadas e implementadas, têm o potencial de aumentar o prazer, a motivação e o interesse dos alunos em aprender, contribuindo para a melhoria do cenário educacional (Santos e Schenetzler, 2003).

Nesse contexto, muitos professores têm buscado se afastar dos métodos tradicionais de ensino, caracterizados por



tarefas repetitivas e conteúdo excessivamente enciclopédico, explorando a prática de contextualizar os conteúdos químicos com a realidade do estudante. Isso demonstra que a Química não se resume a teorias abstratas, mas envolve conceitos que impactam o cotidiano de todos (Wartha *et al.*, 2013).

Assim, a questão central não está apenas na abordagem do conteúdo em si, mas em como proporcionar uma experiência de aprendizado envolvente, que reconheça e supere as dificuldades inerentes à natureza do conhecimento científico. Essa realidade não é exclusiva do Brasil, já que o ensino de Química tem apresentado desafios similares internacionalmente, desde os primeiros currículos no nível básico (Corio e Fernandez, 2010; Eilks *et al.*, 2013; Fernandez, 2018).

No entanto, aproximar a Química do cotidiano não é suficiente para motivar os alunos. A motivação é um aspecto fundamental para a aprendizagem. Deci e Ryan (1985, 2002) investigaram esse tema e propuseram a Teoria da Autodeterminação (TAD), um conceito amplamente utilizado em diferentes contextos (Bolte *et al.*, 2013). A teoria se baseia na suposição de que cada pessoa busca satisfazer suas necessidades psicológicas naturais de competência, relacionamento e autonomia (Deci e Ryan, 1985). Essas três necessidades parecem ser essenciais para o funcionamento ideal da vida de uma pessoa.

A Teoria da Autodeterminação é uma estrutura teórica que investiga a motivação intrínseca e extrínseca das pessoas e seu papel na determinação do comportamento humano. O comportamento intrinsecamente motivado é atribuído às necessidades para competência e autonomia, enquanto o comportamento extrinsecamente motivado se relaciona em grande extensão às relações sociais (Deci e Ryan, 1985). Essa teoria pressupõe um *continuum* de autodeterminação que varia, num extremo, de um comportamento que não é autodeterminado, para outro extremo, um comportamento autodeterminado. E nesses dois extremos de determinação estão envolvidos tipos de motivação, extrínseca e intrínseca. No processo de ensino e aprendizagem, a Teoria da Autodeterminação sugere que os professores têm o poder de fomentar motivação extrínseca nos alunos ao criarem um ambiente educacional favorável. Em outras palavras, ao aplicar a TAD, é possível promover um ambiente de aprendizagem que incentiva os alunos a se tornarem aprendizes autônomos e motivados intrinsecamente.

Nesse contexto, destaca-se a utilização de atividades lúdicas como ferramentas pedagógicas no ensino de Química. Essas atividades são definidas como formas de aprendizado prazerosas e divertidas, realizadas de maneira voluntária e com regras explícitas ou implícitas, abrangendo jogos, brincadeiras, histórias em quadrinhos, teatro ou músicas (Soares, 2013). Embora distintos em seus sistemas de regras, o jogo e a brincadeira compartilham o objetivo de criar um ambiente de aprendizagem dinâmico e motivador.

Os jogos e brincadeiras não são exclusivos da infância; historicamente, eles têm sido valorizados em comunidades como meio de fortalecer relações sociais e culturais. Isso é especialmente relevante no contexto educacional, no qual atividades lúdicas podem criar um ambiente mais envolvente e engajador para os alunos.

O brincar é reconhecido como fundamental para o desenvolvimento humano, permitindo que crianças testem hipóteses, explorem o ambiente, expressem criatividade e se desenvolvam social e culturalmente (Tezani, 2006). Tanto Piaget (1978) quanto Vygotsky (2003) destacaram o papel crucial do jogo no estímulo ao crescimento cognitivo e no desenvolvimento de habilidades intelectuais e sociais. Segundo Vygotsky (2007), as brincadeiras imaginativas não apenas liberam a criança das limitações do mundo real, mas também introduzem a importância das regras, promovendo um ambiente de aprendizagem estruturado.

Os jogos e brincadeiras não são exclusivos da infância; historicamente, eles têm sido valorizados em comunidades como meio de fortalecer relações sociais e culturais. Isso é especialmente relevante no contexto educacional, no qual atividades lúdicas podem criar um ambiente mais envolvente e engajador para os alunos.

Kishimoto (2009) enfatiza que os jogos educativos não apenas facilitam a exploração e a construção do conhecimento, mas também introduzem elementos lúdicos essenciais no processo de ensino-aprendizagem. Segundo a autora, considera-se jogo educativo aquele utilizado no ambiente

escolar que, entre outras funções, promove a capacidade de integrar, divertir e cooperar, além de tornar o ensino e a aprendizagem mais eficazes (Kishimoto, 2021). A autora também destaca que esses jogos são capazes de conciliar a aprendizagem de conteúdos com o desejo de brincar. Ou seja, o jogo educativo é, para a criança, uma fonte de prazer, diversão e

brincadeira, enquanto, para o professor, representa uma ferramenta que pode apoiar o processo de ensino.

Entretanto, para que o jogo educativo atenda tanto ao professor quanto ao aluno, Kishimoto (2021) identifica duas funções principais: a lúdica e a educativa. A função lúdica está relacionada ao prazer e à diversão proporcionados aos alunos quando o jogo permite esse prazer. Por outro lado, a função educativa diz respeito ao ensino de conteúdos curriculares. Assim, segundo a autora, é essencial equilibrar essas duas funções, pois o excesso de ênfase na função educativa pode transformar o jogo em um material didático convencional, limitando seu caráter lúdico. Por outro lado, um desequilíbrio, com ênfase excessiva na diversão, pode transformar o jogo em algo meramente lúdico, sem cumprir seu papel educativo.

É crucial, conforme Soares (2013), que a aplicação de atividades lúdicas na sala de aula seja intencional e planejada, visando objetivos educacionais específicos. Isso requer que os professores assumam uma intencionalidade lúdica, equilibrando o aspecto prazeroso das atividades com seus objetivos pedagógicos. Para Felício e Soares (2018), a intencionalidade lúdica do professor orienta três comportamentos essenciais dos alunos: compromisso lúdico, responsabilidade lúdica

e atitude lúdica. Esses comportamentos são interligados e fundamentais para garantir que as atividades lúdicas cumpram seu papel de maneira eficaz no ambiente educacional. Assim, ao introduzir jogos educativos no ensino de Química, é essencial que o professor considere a cultura lúdica dos alunos e utilize o contexto simbólico da Química para promover a participação ativa dos estudantes, validando os conhecimentos químicos por meio das atividades propostas.

Considerando a relevância das atividades lúdicas no contexto educacional, este estudo teve como objetivo principal desenvolver, implementar e avaliar uma atividade lúdica específica focada nos diferentes níveis de representação presentes na disciplina química.

Representações no ensino de Química

A linguagem da Química é uma nova linguagem para os estudantes. Ela abrange um conjunto de termos técnicos, uma sintaxe específica e um mundo inteiro de fórmulas, sinais e representações gráficas únicas. Os alunos precisam desenvolver, em paralelo, tanto seu conhecimento e compreensão do conteúdo de química, como suas habilidades em usar as palavras e a sintaxe corretas (Markic *et al.*, 2013).

Ao discutir as representações em Química, destaca-se a contribuição fundamental de Johnstone, que categorizou os três níveis essenciais para o pensamento e ensino da disciplina: o macroscópico, o submicroscópico e o simbólico. Johnstone (1991) propôs inicialmente a relação tripla entre os níveis representacionais da Química, considerando-os como vértices de um triângulo: macro, submicro e simbólico. Para ele, nenhum nível é superior aos outros; cada um complementa os demais. Sua modelagem evoluiu ao longo dos anos, e os vértices do triângulo foram considerados “os três níveis conceituais da Química” (Johnstone, 2006), mantendo a ênfase na interação dinâmica entre os três aspectos representacionais da disciplina (Johnstone, 2010). Entretanto, Talanquer (2011, p. 193) chama a atenção para o fato de que o aprendizado de Química exige ir além e que os alunos devem ser capazes de

traduzir dentro e entre tipos de conhecimento, escalas, dimensões e abordagens. Assim, não é apenas uma questão de transformar de simbólico (fórmulas químicas) em icônico, por exemplo, desenhos de partículas) sinais, ou de objetos reais para visualizações submicro.

De qualquer forma, Talanquer concorda que, embora o modelo de Johnstone não seja completo ele é bastante frutífero. O nível macroscópico, também conhecido como sensorio, envolve observações visíveis e tangíveis, como evidências de

uma reação e propriedades das substâncias. No nível submicroscópico, são explorados os comportamentos das partículas, átomos e moléculas, incluindo seus arranjos e rearranjos. Por fim, o nível simbólico utiliza representações como fórmulas e equações para descrever os processos químicos. Apesar das interpretações variadas e terminologias distintas na literatura (Gilbert e Treagust, 2009), o modelo de Johnstone continua sendo fundamental na educação em Química, influenciando a pesquisa e a prática educacional até os dias atuais (Eilks *et al.*, 2007; Goes *et al.*, 2020; Treagust *et al.*, 2003).

É crucial que os professores, ao explicarem os conceitos químicos, conectem as diferentes representações dos fenômenos correspondentes e utilizem essas representações de forma integrada (Kozma e Russel, 2005; Valanides *et al.*, 2003). No entanto, estudos indicam que até mesmo os professores enfrentam dificuldades em estabelecer conexões explícitas entre esses níveis representacionais (Eilks, 2013). Muitas vezes, os próprios professores transitam entre esses níveis sem explicações claras ou privilegiam o nível macroscópico, assim como seus alunos (Gabel, 1999).

Infelizmente, as aulas de Química tendem a enfatizar predominantemente os problemas no nível simbólico, resolvendo-os por meio de raciocínio matemático-algébrico, enquanto deixam de explorar os níveis submicroscópico e macroscópico, essenciais para uma compreensão

conceitual e abrangente dos fenômenos químicos (Carobin e Serrano, 2007). Além disso, a literatura revela que, entre os livros didáticos, há uma priorização dos níveis macroscópico e simbólico (Goes *et al.*, 2020).

Os diferentes níveis de representação na Química frequentemente geram desafios para os estudantes, contribuindo para a formação de concepções alternativas. De Jong *et al.* (2013) exploraram diversas dessas concepções alternativas que surgem da dificuldade dos estudantes em conectar os diferentes níveis de representação na Química.

Diante da importância desses níveis para o entendimento profundo dos fenômenos químicos, é essencial que os professores não apenas apresentem essas representações aos estudantes, mas também articulem esses níveis em suas práticas de ensino.

Estequiometria e o balanceamento de reações químicas

A estequiometria baseia-se na lei da conservação das massas, na lei das proporções definidas (ou lei da composição constante) e na lei das proporções múltiplas. As reações químicas envolvem combinações de compostos químicos em proporções definidas. Uma vez que a matéria não pode ser criada ou destruída, a quantidade de cada elemento deve permanecer a mesma antes, durante e após a reação.

O estudo da estequiometria envolve o conceito de mol e o balanceamento de equações químicas. No entanto,

Infelizmente, as aulas de Química tendem a enfatizar predominantemente os problemas no nível simbólico, resolvendo-os por meio de raciocínio matemático-algébrico, enquanto deixam de explorar os níveis submicroscópico e macroscópico, essenciais para uma compreensão conceitual e abrangente dos fenômenos químicos.

sem compreender os diferentes níveis de representação da Química mencionados anteriormente, a estequiometria e o balanceamento de equações podem se transformar em um algoritmo sem qualquer conexão com a reação química em si.

O entendimento da lei de Lavoisier é fundamental para o balanceamento de equações químicas, um conceito amplamente abordado e geralmente explorado no contexto da estequiometria. Em um sistema fechado, a soma das massas dos reagentes é igual à soma das massas dos produtos. Essa lei é essencial para compreender processos químicos, prever o rendimento das reações e determinar as condições reacionais, entre outros aspectos (Kuman, 2001). O balanceamento de equações químicas é crucial para o aprendizado de Química e envolve o domínio de conceitos como a conservação da massa, a escrita correta de fórmulas moleculares, iônicas e atômicas, e o volume de gases, entre outros (Hinton e Nakhleh, 1999).

Metodologia

O contexto da atividade lúdica

Este trabalho é um relato de experiência e a atividade lúdica descrita foi desenvolvida por dois alunos participantes do Programa de Residência Pedagógica (denominados de Residentes), em colaboração com um preceptor de uma escola estadual na zona norte de São Paulo, que integra o Programa de Ensino Integral e recebe alunos de diversos bairros da cidade. Os participantes da pesquisa foram 14 alunos da terceira série do Ensino Médio, com idades entre 16 e 18 anos, identificados ao longo do texto como Aluno 1, Aluno 2 e assim por diante, para preservar o anonimato. A escolha da turma da terceira série do Ensino Médio deve-se ao fato de que os alunos já haviam estudado previamente o conteúdo de balanceamento químico, e a atividade proposta foi planejada como um momento de revisão, diante das dificuldades observadas ao longo das aulas.

Os residentes foram responsáveis por planejar e conduzir a atividade, enquanto o preceptor atuou como mediador e supervisor, garantindo a adequação da proposta ao contexto escolar e ao nível dos alunos. O estudo foi conduzido em conformidade com o Comitê de Ética da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. Na escola participante, os alunos assinam anualmente um termo de consentimento autorizando sua participação em estudos acadêmicos e o uso de imagens em atividades relacionadas. Adicionalmente, os residentes assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para a utilização dos materiais e imagens produzidos durante a atividade.

Um dos professores preceptores de Química era responsável por todas as aulas para os terceiros anos, ministradas para alunos de duas turmas do itinerário formativo de Ciências da Natureza e suas Tecnologias e uma turma do itinerário de Linguagens e suas Tecnologias. No final do segundo bimestre, durante uma aula acompanhada por dois residentes, o professor abordou as reações de combustão completa e incompleta. Essas reações diferem pela disponibilidade

de oxigênio para a oxidação dos hidrocarbonetos: na combustão completa, ocorre a oxidação total, resultando em dióxido de carbono (CO_2) e água; na incompleta, devido à falta de oxigênio, forma-se monóxido de carbono (CO) e material particulado (C). Para demonstrar essa diferença, o professor utilizou o quadro para descrever ambos os tipos de combustão e solicitou aos alunos que viessem à lousa para balancear as equações. Observando a hesitação dos alunos em completar o balanceamento na frente de todos, o professor propôs uma revisão do procedimento por meio de uma lista de exercícios sobre o tema. Com a resposta positiva dos estudantes, coube aos residentes formular o material.

Nesse contexto, os residentes elaboraram um material didático sobre balanceamento químico com uma abordagem resumida do conteúdo e exercícios gradualmente desafiadores. O material inicia com uma ideia macroscópica que norteia a estequiometria de uma reação: a Lei de Lavoisier. Depois, aborda o modelo atômico de Dalton, representando átomos como esferas para estabelecer uma relação entre a conservação de massa, em termos macroscópicos, e a conservação atômica, em termos submicroscópicos. A partir das ideias e exemplos apresentados, é proposto que os alunos balanceiem uma reação de combustão apenas com desenhos das moléculas sem o uso das fórmulas químicas. Após dois exercícios, introduz-se a equivalência entre representações de substâncias com o modelo de bolas e a fórmula química, seguido da conceituação do coeficiente estequiométrico. Por fim, propõe-se uma lista de exercícios com grau de dificuldade gradualmente crescente. Após a elaboração da lista de exercícios, os alunos solicitaram ao professor uma aula de revisão sobre o balanceamento, pois parte deles enfrentava dificuldades com a lista. No entanto, devido ao cronograma apertado, a revisão precisaria ser realizada fora do horário regular de aulas. Surgiu então a possibilidade de os residentes ministrarem essa aula, uma vez que ela surgira da necessidade dos alunos com base no material produzido pelos próprios residentes.

O planejamento da atividade lúdica

O balanceamento de equações é um procedimento fundamental no ensino de Química. Embora o procedimento em si não seja complexo, muitos professores adotam diferentes estratégias para ensiná-lo, geralmente envolvendo a contagem dos átomos de cada elemento em ambos os lados da reação e ajustando os coeficientes estequiométricos até que a equação esteja balanceada.

O ensino de conteúdos como o balanceamento de equações requer a apresentação do procedimento seguido de práticas repetidas até que este esteja internalizado pelos alunos (Pozo e Crespo, 2009). Durante suas observações, os residentes identificaram que os alunos nem sempre compreendiam a razão por trás do balanceamento; em outras palavras, não entendiam por que era necessário balancear as equações e o que exatamente significava um balanceamento, simplesmente seguindo os passos para alcançá-lo. Era necessário, portanto, uma abordagem que conectasse o nível simbólico

da Química ao nível submicroscópico, promovendo uma compreensão significativa do processo de balanceamento.

Além disso, era crucial considerar o momento em que a aula seria ministrada. Como mencionado, a aula ocorreria fora do horário regular de aulas, especificamente durante o período destinado aos clubes da escola. Esse período de duas aulas é reservado para atividades extracurriculares, como teatro, RPG (do inglês *Role Playing Game*, em português jogo de interpretação de papéis), futebol, entre outras. A combinação do ambiente descontraído com o desejo dos residentes de realizar uma aula menos convencional levou à escolha de uma atividade lúdica envolvendo o balanceamento de equações.

As atividades e os materiais da atividade lúdica

Para desenvolver a atividade lúdica, os residentes basearam-se nos princípios que nortearam a produção do material didático sobre balanceamento. A preocupação em enfatizar as noções de troca e permanência de entidades em uma reação química resultou em um material no qual ocorria uma transição gradual do nível submicroscópico (representado por bolinhas coloridas) para o nível simbólico (equações químicas). A aula seguiria essa mesma linha, permitindo aos alunos construir inicialmente a compreensão de que em uma reação química ocorrem quebras e formação de ligações em que os átomos dos reagentes se rearranjam para formar produtos.

A primeira etapa da aula focou na construção dessas ideias, utilizando uma atividade lúdica adequada na qual os alunos interagiam com átomos de forma concreta, superando dificuldades impostas pelas regras (Soares, 2013). A abordagem inicial considerada foi o uso de modelos moleculares, em que diferentes átomos seriam representados por bolas plásticas de cores distintas e as ligações por varetas flexíveis. Uma competição foi proposta para aqueles capazes de recombinar os átomos corretamente em diferentes reações, reforçando os conceitos previamente estudados.

Para desenvolver a atividade lúdica, os residentes basearam-se nos princípios que nortearam a produção do material didático sobre balanceamento. A preocupação em enfatizar as noções de troca e permanência de entidades em uma reação química resultou em um material no qual ocorria uma transição gradual do nível submicroscópico (representado por bolinhas coloridas) para o nível simbólico (equações químicas).

No entanto, após meses de observação do cotidiano escolar, os residentes perceberam que os alunos demonstravam um desejo natural de se expressar por meio de atividades como teatro, esportes, dança, entre outras formas de expressão. Seguindo essa perspectiva, os residentes planejaram

uma atividade lúdica baseada em jogos teatrais, na qual os alunos interpretariam papéis de átomos com o objetivo de formar compostos e enfrentar desafios para alcançar o balanceamento em suas reações. Esta abordagem não apenas permitia aos alunos operar com os conceitos de combinação de átomos, mas também enfatizava a importância do balanceamento na representação de uma reação química.

Os materiais utilizados incluíram apenas a lousa presente na sala e crachás coloridos feitos com cartolinas recortadas e alças de barbante, formando um tipo de “crachá gigante” (Figura 1).

Os crachás representavam dois tipos de átomos através dos símbolos químicos dos elementos: os verdes com “O” de oxigênio e os rosas com “H” de hidrogênio. Sabendo que havia cerca de 20 alunos, foram produzidos 10 crachás de hidrogênio e 10 crachás de oxigênio.

Na primeira parte da atividade, os residentes realizaram uma breve revisão teórica sobre conceitos fundamentais da química: a lei da conservação das massas e como as substâncias e moléculas são formadas por átomos e por quê estes formam ligações. Após a seção expositiva, os alunos foram orientados a formar compostos químicos (Figura 2). As regras da atividade enfatizavam que todos os átomos (alunos) deveriam formar ligações (ligar-se fisicamente), respeitando a lei da conservação das massas e seguindo as instruções dos professores. As três regras de forma resumida eram:

1. Átomos devem formar ligações: ninguém deve ficar sozinho.
2. Lei de conservação das massas: não é possível colocar nem retirar jogadores.
3. Os residentes falam quais os compostos a serem formados.

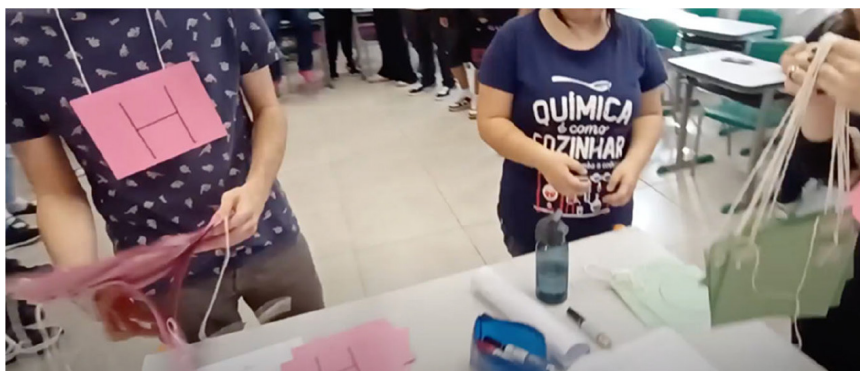


Figura 1: Imagens dos materiais utilizados na atividade lúdica.

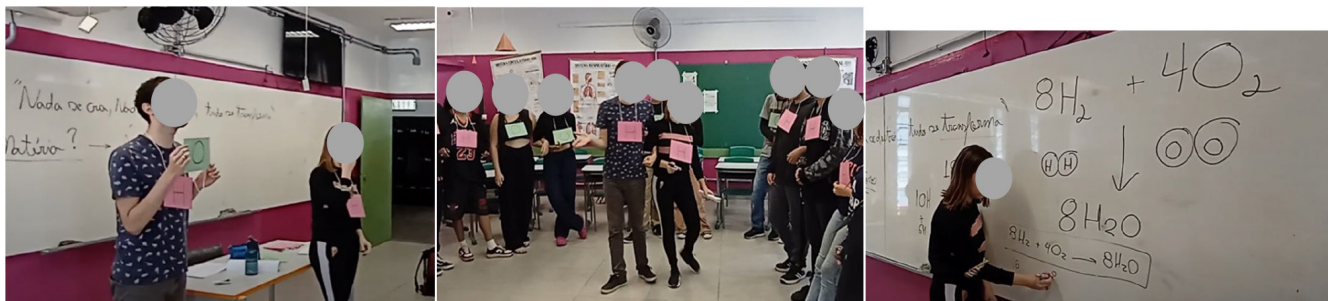


Figura 2: Implementação da atividade lúdica – explicitação das regras; formação de uma molécula de H_2 ; explicação teórica: transição entre os níveis representacionais da química. Obs: Apesar de os participantes autorizarem o uso das imagens, optamos por manter suas faces anônimas.

Os crachás foram distribuídos estrategicamente: metade da sala recebeu crachás representando oxigênio, enquanto a outra metade recebeu crachás de hidrogênio. Essa distribuição foi planejada para criar uma situação desbalanceada, desafiando os alunos a aplicarem conceitos como a lei de conservação das massas e o balanceamento de equações químicas. Foi explicado aos alunos que, naquele momento, eles representariam átomos e foram instruídos a formar os compostos químicos indicados pelos residentes na lousa. A última regra fundamental foi a lei de Lavoisier, que proibia adicionar ou remover “átomos” durante a formação dos compostos, evitando a criação ou destruição de matéria.

Após garantir que todos os alunos estavam de acordo em participar e decidir como seriam formadas as ligações entre os átomos (os alunos optaram por dar as mãos), os residentes desenharam na lousa os dois primeiros compostos formados: H_2 e O_2 . Os alunos representando hidrogênio rapidamente se uniram com outros alunos representando o mesmo elemento, o mesmo ocorrendo com os alunos representativos de oxigênio. Após algum tempo, a classe se estabilizou e os professores verificaram se todas as regras foram seguidas corretamente. Nesta fase, 10 alunos de cada elemento conseguiram formar com sucesso 5 moléculas de gás hidrogênio e 5 moléculas de gás oxigênio (Figura 2).

Na sequência, os residentes explicaram que essas moléculas recém-formadas atuariam como reagentes em uma reação e deveriam se reorganizar (reagir) para formar o produto indicado na lousa: a molécula de água, H_2O . Os alunos se separaram novamente e tentaram formar o produto, mas encontraram um obstáculo.

Os residentes haviam distribuído os crachás de forma desbalanceada de propósito, de modo que não havia átomos de hidrogênio suficientes para formar a molécula de água com a proporção adequada de um átomo de oxigênio para dois átomos de hidrogênio. Isso impossibilitou que todos os alunos participassem da formação da molécula e alguns alunos ficaram isolados, violando a primeira regra da atividade.

Os alunos então iniciaram uma discussão para resolver o problema dentro das regras estabelecidas. Após encontrar uma solução que respeitasse as regras, a atividade lúdica foi encerrada e a aula continuou para uma transição crucial entre os níveis representacionais. Neste ponto, os residentes guiaram os alunos na representação das equações químicas

que haviam sido exploradas durante a atividade lúdica. Esta etapa foi essencial para explicar e conectar o nível submicroscópico das interações entre átomos (como representado na atividade lúdica) ao nível simbólico das equações químicas, fundamentais para a compreensão e prática da química (Figura 2).

Coleta e análise dos dados

Os dados foram coletados durante a implementação da atividade lúdica por meio da observação direta das interações entre os alunos e os residentes, registradas por gravações de áudio e vídeo. A análise dos dados seguiu uma abordagem de análise temática qualitativa (Braun e Clarke, 2006), buscando identificar temas emergentes relacionados à ludicidade. A codificação foi conduzida de forma indutiva, permitindo que os códigos surgissem diretamente dos dados, sem categorias pré-definidas. Posteriormente, os códigos foram agrupados em três temas principais: 1) Interesse e o prazer em aprender, que aborda o interesse dos alunos e o prazer em aprender por meio da abordagem lúdica; 2) Ensino-Aprendizagem, que discute a relação entre o nível simbólico e submicroscópico, bem como os ganhos de compreensão observados; e 3) Algumas Dificuldades e Pontos a se atentar, que foca nas dificuldades encontradas pelos alunos e nos aspectos a serem aprimorados na implementação da proposta.

Resultados e discussão

Interesse e o prazer em aprender

Soares (2013) e Garcez (2014) defendem que a voluntariedade é um fator crucial para o sucesso das atividades lúdicas, pois ela permite construir um compromisso lúdico no qual tanto alunos quanto professores se tornam responsáveis pelo processo de ensino e aprendizagem. No entanto, um dos desafios iniciais observados na prática era convencer os alunos a participar das atividades propostas. Apesar do reconhecimento geral sobre a importância das atividades de lazer na escola (Checcia, 2010), muitos jovens mostram-se relutantes em participar de jogos em sala de aula, devido à associação do ambiente escolar com sentimentos negativos e não lúdicos (Soares, 2013).

A atitude inicial dos alunos refletia essa perspectiva. Eles demonstravam desconfiança em relação às atividades lúdicas

propostas, mantendo-se reservados mesmo durante a fase inicial da formação dos reagentes. Esse comportamento pode ser explicado, em parte, pela falta de desafio percebido na atividade. O desafio é um elemento crucial para a motivação, tanto em atividades lúdicas quanto em tarefas acadêmicas (Bolte *et al.*, 2013). Um jogo sem desafio ou uma tarefa entediante pode não atrair o interesse dos alunos da mesma forma que uma atividade excessivamente difícil.

Uma mudança perceptível na atitude dos alunos ocorreu quando a dificuldade aumentou. Durante a tentativa de formar reagentes, passaram a surgir intervenções dos próprios alunos onde eles mesmo corrigiam ou indicavam onde o outro deveria estar:

Aluna 1: Não, não ((impedindo que outro formasse a ligação)).

Aluno 2: Por que não “filhão”?

Aluna 3: Vai interagir demais!

Aluno 4: É H_2O , dois H e um O

Aluna 3: São dois H e um O ((aponta para onde o Aluno 2 deve ir))

Aluno 2: ((olhando ao redor)) E agora?

Fica evidente que muitos alunos não estavam conseguindo obter sucesso. Esse momento de “fracasso” inicialmente surpreendeu os estudantes, mas logo foi transformado em diversão. A presença de um aluno conhecido pelo seu senso de humor ajudou a criar um ambiente descontraído, onde os estudantes riram da situação confusa que se instalou enquanto tentavam formar ligações químicas para produzir água. A partir desse ponto, os alunos começaram a se envolver de maneira mais ativa na resolução do desafio proposto. A diversão gerada pela situação inspirou-os a questionar e propor soluções antes mesmo dos professores intervirem.

É interessante observar que os alunos envolvidos na atividade não eram conhecidos por sua participação regular em sala de aula, e muitos deles tinham dificuldades específicas com a disciplina de química. Isso sugere que a atividade lúdica não apenas mudou temporariamente a atitude dos estudantes em relação ao estudo da química, mas também os motivou a se envolver de maneira mais profunda e interessada.

A transformação na atitude dos alunos não se limitou à resolução do desafio inicial. Eles continuaram a demonstrar um nível renovado de interesse e prazer durante as etapas subsequentes da atividade. As perguntas feitas, as soluções propostas e as exclamações de entusiasmo foram diferentes do início da aula. O engajamento foi tanto que, em dado momento, os alunos chamam a atenção do residente que

estava fazendo a explicação e ainda usava o crachá verde de Oxigênio: “Você tá sozinho!”. Em suma, a introdução da voluntariedade e do desafio em atividades lúdicas não só pode aumentar o engajamento dos alunos, mas também transformar positivamente suas atitudes em relação ao aprendizado acadêmico.

Ensino-Aprendizagem

A atividade tinha como objetivo principal desenvolver os conceitos relacionados ao balanceamento de equações químicas, como lei de conservação de massa, a proporção e o uso de coeficientes estequiométricos e a identificação de reagentes e produtos. O procedimento em si poderia ser aprendido através da repetição e, no geral, não seriam necessárias outras abordagens, entretanto, havia a preocupação de se explorar aspectos mais profundos, como as recombinações dos átomos em reações químicas e a relevância do balanceamento para o estudo da química, além da transição entre os diferentes níveis representacionais.

Essas preocupações eram justificadas pois as dificuldades de abstração e de transição entre os níveis conceituais da Química são grande fonte de equívocos na utilização dos conceitos de balanceamento e estequiometria, conceito da química intimamente relacionado ao balanceamento (Duarte, 2020; Santos e da Silva, 2013; Savoy, 1988).

Visava-se, portanto, que a compreensão do balanceamento não se resumisse apenas ao âmbito matemático, já que é conhecido que os estudantes “Muitas vezes, conseguem balancear reações e até mesmo identificar a quantidade de átomos presentes nas fórmulas químicas, mas não compreendem o seu significado” (Duarte 2020, p.183). Esse autor deixa clara a importância de se relacionar os âmbitos microscópicos e simbólico no ensino do balanceamento.

Nesse contexto, a atividade lúdica desempenhou um papel essencial ao permitir o trânsito entre os níveis micro e o simbólico, promovendo também o desenvolvimento dos conceitos relacionados ao balanceamento químico. Durante a atividade, surgiram falas que indicam que os alunos foram capazes de estabelecer relações entre esses dois níveis. Um exemplo disso pode ser observado nos trechos a seguir, registrados após a formação dos produtos, quando ocorreu uma “sobra” de átomos:

Residente 1: Por que teve gente que ficou sem molécula?

Aluna 3: Porque tinha mais. Está faltando H.

Aluna 5: É? É!

Aluno 2: Porque não está balanceado.

Aluno 6: Vamos balancear?

A presença de um aluno conhecido pelo seu senso de humor ajudou a criar um ambiente descontraído, onde os estudantes riram da situação confusa que se instalou enquanto tentavam formar ligações químicas para produzir água. A partir desse ponto, os alunos começaram a se envolver de maneira mais ativa na resolução do desafio proposto. A diversão gerada pela situação inspirou-os a questionar e propor soluções antes mesmo dos professores intervirem.

Todos: Vamos balancear. ((Rindo))

Residente 1: Por quê? O que acontece? Como a gente não balanceou nossa equação, a gente formou então ((contando)), uma, duas, quatro, cinco moléculas de água.

Aluno 2: E três oxigênios, ali, depressivos.

Residente 1: Então gente, como a gente resolveria nosso problema?

Aluna 7: Pegando mais hidrogênio.

Aluno 2: Mais 2 no caso.

Aluno 6: Mais seis.

Residente: Quantos hidrogênios a gente precisaria?

Alunos: Seis

Aluno 2: Pera, por que 6?

Aluno 6: São dois para cada oxigênio

Aluna 8: Para formar H_2O ((aponta para a lousa)), dois hidrogênios e um oxigênio.

Podemos observar no diálogo que os alunos compreendem tanto que havia uma questão matemática envolvida, já que utilizam comparações entre os números nas fórmulas dos reagentes e produtos para explicar o problema. Porém, eles também demonstram compreender que estes números não estão limitados ao simbólico, já que argumentam que os números estão “errados” pois não condizem com o que é necessário para formar a moléculas de produto devidamente.

Após a atividade lúdica, seguiu-se uma breve exposição para consolidar os conceitos aprendidos. Os alunos foram então convidados a resolver exercícios de balanceamento na lousa, com auxílio dos colegas. A transição da representação dos átomos durante o jogo para representações em esferas e, por fim, para equações químicas, que são a forma usual de representação científica, foi um passo importante.

No primeiro exercício na lousa, os alunos usaram marcadores coloridos para representar átomos se combinando e formando novas moléculas. Contudo, eles logo expressaram que essa abordagem era demorada e exigia muito tempo. Isso foi um ponto de reflexão para os residentes, que reintroduziram a representação por equações químicas. Após a atividade lúdica, os alunos pareciam mais receptivos a essa forma de representação e mostraram-se visivelmente satisfeitos com ela:

Residente 1: Reparem que, fazer (as contas) com crachás, ou com bolinhas, é muito fácil. Porque é só a gente ir combinando até dar certo.

Aluno 6: É só contar, na prova não vai ter crachá.

Residente 1: Exatamente, vocês vão falar “na prova do Professor Preceptor ele não dá plaquinha para gente”.

Aluno 6: ((rindo)) Junta aqui pessoal vamos fazer uma dinâmica.

Aluna 3: ((rindo)) Vem aqui professor.

Aluno 6: ((rindo)) Professor, põe uns “crachazinhos” aqui para mim.

Residente 1: Imagina então um químico, está lá no laboratório dele e fala “Preciso chamar 30 pessoas

pra balancear essa equação”.

Aluno 6: ((rindo)) No ENEM todo mundo levantando pra fazer a prova!

Podemos observar nas falas como o próprio aluno chega à conclusão de que é necessário um método mais conciso de representação para que se faça o balanceamento no cotidiano da ciência escolar.

Antes da atividade, as equações químicas eram vistas como obstáculos pelos alunos, símbolos difíceis de compreender. No entanto, após a atividade, eles passaram a entender a necessidade de diferentes ferramentas para efetivamente balancear as reações químicas.

Ao permitir que os próprios estudantes resolvessem os exercícios na lousa, com a colaboração dos colegas, foi possível observar um raciocínio mais reflexivo e menos automático no processo de balanceamento. As discussões agora focavam não apenas na correção do procedimento, mas também na compreensão profunda das operações entre os átomos envolvidos nas reações químicas.

Algumas dificuldades e pontos a se atentar

Ao introduzir atividades lúdicas na sala de aula, é crucial seguir regras bem definidas, como enfatizado por Soares (2013, p. 42): “para um jogo funcionar adequadamente em sala de aula, faz-se necessária uma boa regra e que ela seja extremamente clara.” Investir tempo suficiente para que todos os alunos compreendam as regras é fundamental, especialmente considerando a possível resistência inicial dos jovens a jogos no ambiente escolar. De fato, nessa experiência específica, um aluno optou por não participar da aula devido à dinâmica que não o interessava.

Além da clareza das regras, é essencial considerar os aspectos sociais da sala de aula. Como observado na descrição da atividade, um ponto crucial do jogo foi o momento em que “sobraram” átomos na reação desbalanceada. A sala de aula não é apenas um espaço de aprendizado, mas também de interação entre alunos e professores, onde podem surgir dinâmicas sociais complexas. No caso citado, o grupo formado era diversificado, o que contribuiu para um ambiente sem atritos ou sentimentos de exclusão decorrentes da “sobra” no jogo. Pelo contrário, a situação proporcionou diversão adicional e estimulou discussões na sala de aula. Na situação estudada, a escola é participante do Programa de Ensino Integral, o que pode ter contribuído para o sucesso da atividade, uma vez que os alunos passam um tempo estendido na escola e isso pode favorecer a criação de vínculos mais duradouros entre eles.

Outro aspecto crítico discutido durante o planejamento da atividade foi o antropomorfismo das entidades atômicas. Quando questionados acerca do que ocorreria se retirássemos certa quantidade de átomos apenas do produto, alguns alunos chegaram a responder “Eles morrem”, dando a entender que as entidades atômicas estariam vivas. Podemos, também, observar a atribuição de características humanas aos átomos na atividade em falas como a do Aluno 2: “três oxigênios,

ali, depressivos”. A utilização do termo revela que o aluno compreende que os átomos têm a tendência de se juntarem em ligações, mas atribui esta característica ao gosto ou a emoções humanas.

O estudo de Kallery e Psillos (2004) indica que a linguagem antropomórfica é comum entre alunos e professores em diversas disciplinas científicas, sendo o antropomorfismo e o animismo frequentemente utilizados para facilitar a compreensão de fenômenos biológicos, físicos e químicos. Além disso, pesquisas como de Treagust e Harrison (2000) mostram que o uso de antropomorfismos e animismos pode, de fato, ser uma ajuda para a compreensão dos alunos em ciências, incluindo a Química. Esses estudos demonstram que, quando mediado de forma adequada, o uso dessas figuras de linguagem pode aproximar os alunos de conceitos abstratos e difíceis, aumentando seu envolvimento e interesse.

Desta forma, assim como aponta Giordan e Gois (2007), é necessário distinguir claramente os significados desejados (como a simulação do comportamento dos átomos) dos significados que devem ser evitados (como atribuir características humanas aos átomos). É fundamental que o professor reitere continuamente aos alunos que os átomos não são seres conscientes e que seu comportamento obedece a leis físicas e químicas, não a desejos ou vontades humanas.

Considerações finais

A atividade lúdica apresentada neste estudo se destacou como uma excelente estratégia para o ensino de balanceamento químico, promovendo o trânsito entre os diferentes níveis representacionais da Química e engajando os alunos em um processo de ensino-aprendizagem ativo.

Ao vivenciarem o papel de átomos e moléculas em uma dinâmica interativa, os estudantes puderam compreender de maneira mais concreta a lógica subjacente ao balanceamento de reações químicas, conectando conceitos simbólicos e submicroscópicos.

Os resultados evidenciaram que a ludicidade, quando aliada a desafios bem estruturados, não apenas motiva os alunos, mas também amplia sua compreensão sobre a importância das representações químicas. As interações durante a atividade e os diálogos observados reforçam o potencial da abordagem lúdica em transformar equações químicas, tradicionalmente vistas como barreiras, em ferramentas compreensíveis e úteis para os estudantes. Nesse sentido, os residentes foram capazes de fomentar uma motivação extrínseca nos alunos ao criarem um ambiente educacional favorável. Tal motivação resultou em ganhos na compreensão sobre o balanceamento químico, promovendo a conexão necessário entre o nível simbólico da Química ao nível submicroscópico.

No entanto, a experiência também revelou a necessidade de um planejamento detalhado, com regras claras e um equilíbrio adequado entre desafio e acessibilidade. Dessa forma, é possível superar as resistências iniciais e potencializar os benefícios pedagógicos do jogo.

Conclui-se que o uso de atividades lúdicas no ensino de Química não apenas facilita o aprendizado de conceitos específicos, como o balanceamento químico, mas também contribui para criar uma relação mais positiva e motivadora dos alunos com a disciplina. A proposta aqui apresentada pode servir como inspiração para práticas inovadoras, destacando a importância de explorar metodologias que tornem o ensino de Química mais dinâmico, acessível e envolvente. Essa abordagem não só facilitou a compreensão dos conceitos teóricos, mas também incentivou o desenvolvimento de habilidades sociais e de resolução de problemas entre os alunos.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Capes e da Pró-Reitoria de Graduação da USP pelas bolsas concedidas ao PRP, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) processos #2013/07937-8 e #2021/03489-7 e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Processo #312017/2021-9. Agradecimentos especiais aos residentes, preceptores e à recepção dada pela escola campo.

Pedro Naum de Lima (pedronaldelima@usp.br) é licenciado em Química pela Universidade de São Paulo e mestrando do Programa de Pós-Graduação Multidisciplinadas em Ensino de Ciências e Matemática da UNICAMP. **Luciane Fernandes de Goes** (luciane.goes@ufscar.br) é bacharel e licenciada em Química, mestre e doutora em Ciências (Ensino de Química), todos pela Universidade de São Paulo. Atualmente é professora da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), campus São Carlos - SP. **Carmen Fernandez** (carmen@iq.usp.br) é bacharel e licenciada em Química, mestre e doutora em Ciências (Química Orgânica). Tem livre-docência em Ensino de Química, todos pela Universidade de São Paulo (USP). Atualmente é professora associada do Departamento de Química Fundamental do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, SP-capital.

Referências

- BOLTE, C., STRELLER, S. e HOFSTEIN, A. How to motivate students and raise their interest in chemistry education. In: EILKS, I. HOFSTEIN, A. (Eds). *Teaching chemistry - a studybook: A practical guide and textbook for student teachers, teacher trainees and teachers*. Roterdã: Sense Publishers, 2013.
- BRAUN, V. e CLARKE, V. Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, v. 3, n. 2, p. 77-101, 2006.
- BROWN, T.; LeMAY, H. e BURSTEN, B. *Chemistry: the central science*. 12ª ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2013.
- CAROBIN, C. e SERRANO, A. Uma revisão das concepções alternativas em equilíbrio químico dentro do enfoque dos diferentes níveis de representação. *Acta Scientiae*, v. 9, n. 2, 2007.
- CHECCIA, A. *Adolescência e escolarização numa perspectiva crítica em psicologia escolar*. São Paulo: Alínea, 2010.

- CORIO, P. e FERNANDEZ, C. Teaching chemistry in Brazil. In: Björn Risch. (Org.). *Teaching chemistry around the world*. Berlin: Waxmann Verlag GMBH, 2010.
- DECI, E. e RYAN, R. *Intrinsic motivation and self-determination in human behaviour*. New York: Plenum, 1985.
- DECI, E. e RYAN, R. *Handbook of self-determination research*. Rochester: University of Rochester, 2002.
- De JONG, O.; BLONDER, R. e OVERSBY, J. How to balance chemistry education between observing phenomena and thinking in models. In: EILKS, I. HOFSTEIN, A. (Eds.). *Teaching Chemistry - a studybook: A practical guide and textbook for student teachers, teacher trainees and teachers*. Sense Publishers, 2013.
- DUARTE, C. J. Método algébrico para balanceamento de reações: Uma alternativa não explorada em livros didáticos de química. *Química Nova na Escola*, v. 43, n. 2, p. 183-189, 2021.
- EILKS, I.; MOELLERING, J. e VALANIDES, N. Seventh-grade students' understanding of chemical reactions: reflections from an action research interview study. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, v. 3, n. 4, p. 271-286, 2007.
- EILKS, I. Teacher pathways through the particulate nature of matter in lower secondary school chemistry: continuous switching between different models or a coherent conceptual structure? In: TSAPARLIS, G. e SEVIAN, H. (Eds.). *Concepts of Matter in Science Education*. Berlin: Springer, 2013.
- FELÍCIO, C. M. e SOARES, M. H. F. B. Da intencionalidade à responsabilidade lúdica: novos termos para uma reflexão sobre o uso de jogos no ensino de química. *Química Nova na Escola*, v. 40, n. 3, p. 160-168, 2018.
- FERNANDEZ, C. Formação de professores de química no Brasil e no mundo. *Estudos Avançados*, v. 32, p. 205-224, 2018.
- GABEL, D. Improving teaching and learning through chemistry education research: a look to the future. *Journal of Chemical Education*, v. 76, p. 548-554, 1999.
- GARCEZ, E. *O lúdico em ensino de química: um estudo do estado da arte*. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.
- GILBERT, J. K. e TREAGUST, D. F. Introduction: macro, submicro and symbolic representations and the relationship between them: key models in chemical education. In: GILBERT, J.K. e TREAGUST, D.F., (Eds.). *Multiple Representations in Chemical Education*. Berlin: Springer, 2009.
- GIORDAN, M. e GOIS, J. Semiótica na química: a teoria dos signos de Peirce para compreender a representação. *Química Nova na Escola*, n.7, p. 34-42, 2007.
- GOES, L. F.; CHEN, X.; NOGUEIRA, K. S. C.; FERNANDEZ, C. e EILKS, I. An analysis of the visual representation of redox reactions and related content in Brazilian secondary school chemistry textbooks. *Science Education International*, v. 31, n. 3, p. 313-324, 2020.
- HINTON, M. E. e NAKHLEH, M. B. Students' microscopic, macroscopic, and symbolic representations of chemical reactions. *The Chemical Educator*, v. 4, n. 5, p. 158-167, 1999.
- JOHNSTONE, A. H. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, v. 7, p. 75-83, 1991.
- JOHNSTONE, A. H. Chemical education research in Glasgow in perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 7, p. 49-63, 2006.
- JOHNSTONE, A. H. You can't get there from here. *Journal of Chemical Education*, v. 87, n. 1, p. 22-29, 2010.
- KALLERY, M. e PSILLOS, D. Anthropomorphism and animism in early years science: why teachers use them, how they conceptualise them and what are their views on their use. *Research in Science Education*, v. 34, p. 291-311, 2004.
- KISHIMOTO, T. M. O jogo e a educação infantil. In: KISHIMOTO, T. M. (Org). *Jogo, Brinquedo, Brincadeira e a Educação*. 12ª ed. São Paulo: Cortez, 2009.
- KISHIMOTO, T. M. *O jogo e a educação infantil*. São Paulo: Cengage Learning, 2021.
- KOZMA, R. e RUSSELL, J. Students becoming chemists: developing representationl competence. In: GILBERT, J.K. (Ed). *Visualization in Science Education. Models and Modeling in Science Education*. Dordrecht: Springer, 2005.
- KUMAN, D. D. Computer applications in balancing chemical equations. *Journal of Science Education and Technology*, v. 10, n. 4, p. 347-350, 2001.
- MARKIC, S.; BROGGY, J. e CHILDS, P. How to deal with linguistic issues in chemistry classes. In: EILKS, I. e HOFSTEIN, A. (Org.). *Teaching chemistry - a studybook: a practical guide and textbook for student teachers, teacher trainees and teachers*, v. 1. Roterda: Sense Publishers, 2013. p. 127-152.
- MORTIMER, E. F. e MIRANDA, L. C. Transformações – concepções de estudantes sobre reações químicas. *Química Nova na Escola*, n. 2, p. 23-26, 1995.
- PIAGET, J. *A formação do símbolo na criança: Imitação, jogo e sonho, imagem e representação*. Tradução de Álvaro Cabral e Christiano Monteiro Oiticica. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1978.
- POZO, J. e CRESPO, M. *A Aprendizagem e o ensino de ciências*. 5ª ed. São Paulo: Artmed, 2009.
- SANTOS, W. L. P. e SCHENETZLER, R. P. *Educação em química: compromisso com a cidadania*. 3ª ed. Ijuí: Unijuí, 2003.
- SANTOS, L. C. e SILVA, M. G. L. O estado da arte sobre estequiometria: dificuldades de aprendizagem e estratégias de ensino. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias. Girona, 2013.
- SAVOY, L. G. Balancing chemical equations. *School Science Review*, v. 69, n. 249, p. 713-720, 1988.
- SOARES, M. H. F. B. *Jogos e Atividades Lúdicas no Ensino de Química*. Kelps: Goiânia, 2013.
- TALANQUER, V. Macro, submicro, and symbolic? The many faces of the chemistry triplet. *International Journal of Science Education*. v. 33, n. 2, p. 179-195, 2011.
- TEZANI, T. C. R. O jogo e os processos de aprendizagem e desenvolvimento: aspectos cognitivos e afetivos. *Educação em Revista*, v. 7, n. 1-2, p. 1-16, 2006.
- TREAGUST, D. F. e HARRISON, A. G. In search of explanatory frameworks: an analysis of Richard Feynman's lecture 'Atoms in motion'. *International Journal of Science Education*, v. 22, n. 11, p. 1157-1170, 2000.
- TREAGUST, D.; CHITTLEBOROUGH, G. e MAMIALA, T. The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, v. 25, n. 11, p. 1353-1368, 2003.
- VALANIDES, N.; NICOLAIDOU, A. e EILKS, I. Twelfth grade students' understanding of oxidation and combustion: Using action research to improve teachers' practical knowledge

and teaching practice. *Research in Science and Technological Education*, v. 21, n. 2, p. 159-175, 2003.

VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores*. Tradução de José Cipolla Neto, Luís Silveira Menna Barreto e Solange Castro Afeche. 6ª ed. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

VYGOTSKY, L. *A formação social da mente*. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

WARTHA, E. J.; SILVA, E. L. e BEJARANO, N. R. R. Cotidiano e contextualização no ensino de química. *Química Nova na Escola*, v. 35, n. 2, p. 84-91, 2013.

Abstract: *Playing with formulas and reactions: playfulness in teaching Chemistry to explore molecular representation in chemical balancing.* Chemistry has its own language that students must learn to interpret. The use of equations to represent chemical reactions can be challenging, as many students struggle to see the connection between the equations and the actual chemical transformations, making stoichiometry difficult to grasp. To address this challenge, a playful activity was introduced as part of the Pedagogical Residency Program. Recognizing the difficulties students faced with balancing equations, the residents developed an interactive approach that linked the symbolic level of Chemistry to the submicroscopic level. Using a whiteboard, name tags, and theatrical games, students took on the role of atoms, forming compounds and solving balancing challenges. Through this theatrical representation, students gained a deeper understanding of the complexity of chemical processes, which helped them appreciate the importance of chemical equations. After the activity, students showed greater confidence in solving related problems, underscoring the motivational value of play in science education.

Keywords: didactic games, chemistry teaching, levels of representation



Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS): uma abordagem da temática de números quânticos utilizando ferramentas TICs e animações

Fabrizio Rodrigues Pereira, Bruno Magela de Melo Siqueira, Wanderson Romão e Paulo Rogerio Garcez de Moura

Este estudo investigou a eficácia no ensino de números quânticos, inseridas na metodologia Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) utilizando animações. A mecânica quântica, com foco no nível eletrônico, foi abordada de maneira contextualizada no âmbito desta pesquisa. A abordagem foi baseada na produção, validação e aplicação de material de ensino utilizando ferramentas de tecnologia da informação e comunicação (TIC), associadas à teoria da aprendizagem significativa (TAS). O objetivo foi promover a aprendizagem significativa de conceitos específicos, na temática de números quânticos, levando em consideração seus conhecimentos prévios, denominados subsunçores. A pesquisa relacionou os conceitos de distribuição eletrônica e camadas eletrônicas com o número quântico principal, secundário (ou momento angular), magnético e o spin eletrônico. A análise dos resultados foi realizada sob uma abordagem mista, que evidenciou indícios de aprendizagem significativa nas etapas qualitativas a partir das relações estabelecidas pelos estudantes entre tema proposto e diversas situações reais do cotidiano, assim como os resultados de Ferreira *et al.* (2020), e na etapa quantitativa, 96% dos estudantes alcançaram resultados satisfatórios de aprendizagem nos questionários, assim como os resultados de Gomes e Souza (2023).

► ensino de Química, aprendizagem significativa, tecnologia da informação e comunicação ◀

Recebido em 11/02/2024; aceito em 23/03/2025

Introdução

A UEPS e o material potencialmente significativo

O objetivo da UEPS é desenvolver unidades de ensino potencialmente facilitadoras da aprendizagem significativa de tópicos específicos de conhecimento declarativo e/ou procedimental, pois só haverá ensino, se houver aprendizagem e isso deve ocorrer de maneira significativa. Nesse contexto, é necessário que sejam utilizados materiais potencialmente significativos que corroborem para o processo de construção do conhecimento, pois o ensino é o meio e a aprendizagem significativa é o fim (Moreira, 2011a).

A aprendizagem de conceitos “depende da existência de uma situação de aprendizagem significativa e da relação dos atributos específicos potencialmente significativos do conceito com as ideias relevantes existentes na estrutura cognitiva do aprendiz” (Ausubel, 2003, p. 02). A aprendizagem significativa é o mecanismo humano, por excelência, usado para adquirir e armazenar a vasta quantidade de ideias e informações representadas em qualquer campo de conhecimento (Ausubel, 2003).

Os conhecimentos prévios ou subsunçores são pontes de ancoragem de novas informações na estrutura cognitiva do estudante. Define-se subsunçor como conceito facilitador para um novo assunto, um conhecimento prévio que facilitará a inserção de uma nova informação (Moreira e Masini, 2006). Em um contexto de aprendizagem significativa, não é plausível pensar que o estudante chega à escola com a mente livre de conhecimentos para ser preenchida como se a aprendizagem só fosse viável na escola, todavia, ela ocorre em diferentes espaços de vida diária, de diferentes fontes de informações e de experiências vivenciadas (Ferreira, 2020).

É importante partir da premissa que aprendizagem significativa está atrelada a condições estritamente necessárias, sendo a primeira delas, o material potencialmente significativo e, por último, a disposição do estudante para aprender. Para isso, é necessário buscar alternativas que atraiam o interesse desses alunos pelo conteúdo (Ausubel, 1982).

Pautado nisso, os fundamentos da UEPS são enumerados (Moreira, 2011b), resultando em um conjunto de princípios essenciais para a elaboração dessas unidades. Embora nem

todas as UEPS sigam exatamente os mesmos passos, alguns nomes e itens podem ser aplicados de maneira diferenciada. No entanto, esses princípios podem auxiliar os professores na orientação e planejamento de seus conteúdos de maneira mais organizada, utilizando-os como base para um planejamento mais significativo.

O primeiro passo é a situação inicial, que deve identificar os conhecimentos prévios dos estudantes, ditos subsunçores, que servirão de pontos de ancoragem para o desenvolvimento do tema proposto. Já o segundo passo é a apresentação de uma situação-problema, que deve tomar como base os subsunçores, que são os conhecimentos prévios ou organizadores prévios. Podem ser utilizadas ferramentas como mapas mentais, mapas conceituais, exposição dialogada, questionários, debates, ou ferramentas similares que possibilitem elencar essas informações.

A exposição dialogada é o terceiro passo, na qual deve apresentar o conteúdo a ser ensinado, seguindo a diferenciação progressiva, ou seja, começando pelos aspectos mais gerais, incluindo exemplos de aplicação, e progredindo para o aprofundamento do conteúdo. Em seguida, o quarto passo é propor uma nova problematização, visando resgatar e ancorar o novo conhecimento, sem expô-lo integralmente. Essas situações-problema podem funcionar como organizadores prévios para dar sentido ao novo e permitir o estabelecimento de modelos mentais pelos alunos.

O quinto passo é a avaliação Somática Individual, que trata da avaliação contínua, somativa e individual, relacionada a todas as ações desenvolvidas pelos alunos durante a implementação da UEPS. A avaliação deve conter questões que evidenciem compreensão, captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência. O sexto passo é a aula expositiva dialogada integradora final, que deve proporcionar a continuidade no processo de diferenciação progressiva, retomando as características mais relevantes do conteúdo de forma integradora, buscando a reconciliação integrativa.

O sétimo passo se trata da avaliação da aprendizagem, que enfatiza a importância da realização de uma avaliação analisando o desempenho dos alunos e indícios de que ocorreu uma aprendizagem significativa. Essa avaliação pode ser feita de várias maneiras, levando em conta todo o caminho percorrido para o desenvolvimento do conhecimento pelos alunos. Por fim, o oitavo e último passo, é a avaliação da UEPS, com a finalidade de fechar a construção da unidade considerando todas as experiências que o professor obteve no processo de desenvolvimento e implementação da UEPS, a fim de saber se foi exitosa.

Além dos passos da UEPS, Moreira (2011b) destaca, também, que na exposição dialogada, a diferenciação progressiva é um princípio programático, no qual as ideias mais gerais e inclusivas do conteúdo devem ser apresentadas gradualmente, detalhando e especificando ao longo do processo. O autor ressalta que não se trata de um enfoque dedutivo, mas sim de uma abordagem em que o mais relevante é introduzido desde o início e trabalhado por meio de

exemplos, situações, exercícios utilizando ferramentas que auxiliem o processo de ensino.

As animações e as ferramentas TIC

O conceito de animação é baseado no resultado de vários quadros ou frames, que quando são agrupados em uma sequência lógica e harmônica, passam a sensação de movimento e fluidez ao espectador, ou seja, a junção de vários frames compõem uma cena que, quando são reunidas, compõem um grupo de cenas, que formam uma animação (Tosta, 2018, p. 23). As animações, ao serem utilizadas como recursos tecnológicos e suas diversas aplicações, podem ser fortes aliadas no processo de ensino e aprendizagem, pois segundo Tosta (2018, p. 22), “o uso de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) tornaram-se parte do nosso cotidiano, sendo praticamente inimaginável vivermos sem celulares, tablets e computadores”.

Considerando que os estudantes da educação básica vivem em um contexto tecnológico, com o uso intenso de *smartphones* a ponto de dificultar a atuação do professor em sala de aula, utilizar as ferramentas TIC para construção de animações atreladas ao ensino de Química desperta o interesse e a curiosidade, abrindo espaço para a construção do conhecimento. A tecnologia utilizada de forma planejada, pode resultar em materiais potencialmente significativos.

É necessário aprimorar e potencializar a utilização de recursos tecnológicos em sala de aula, para alcançar a geração de estudantes que utiliza a tecnologia como principal, talvez, única forma de entretenimento. “Há muito o que se explorar a partir de animações com explicações apropriadas, cores atrativas e efeitos sonoros” Kumar (2016, p. 392). Além do mais, as animações podem ser incluídas na internet, vídeos interativos, plataformas digitais, celulares, e serem utilizadas como material potencialmente significativo, que é o propósito da UEPS. (Moreira, 2011b; Kumar, 2016; Tosta, 2018).

A equação de Schrödinger e os números quânticos

A equação de Schrödinger é a equação fundamental da Mecânica Quântica e descreve como as funções de onda das partículas evoluem no tempo e fornecem informações sobre as propriedades dessas partículas que são entidades fundamentais descritas pelas leis da mecânica quântica em que, diferentemente das partículas clássicas que possuem trajetórias bem definidas e comportamentos previsíveis, exibem propriedades únicas e contraintuitivas. A versão mais conhecida dessa equação é a independente do tempo, que descreve uma função de onda em um sistema quântico estacionário, sendo assim uma equação diferencial parcial linear que governa a função de onda de um sistema mecânico-quântico. Já a equação dependente do tempo, é usada para descrever a evolução temporal deste sistema estacionário (McQuarrie, 2008).

A solução dessa equação (Equação 1) é bastante versátil, pois além de fornecer a descrição do átomo de hidrogênio na mecânica quântica, que é fundamental para o entendimento

do comportamento das partículas a nível subatômico e prever suas propriedades, sua solução também fornece as funções de onda (orbitais) e os níveis de energia dos elétrons, poços de potencial finito e infinito, osciladores harmônicos, partículas de potencial arbitrário, semicondutores e materiais sólidos, moléculas e ligações químicas. Apesar de possibilitar o cálculo de probabilidades, energias e outras grandezas físicas relacionadas às partículas quânticas, resolver a equação de Schrödinger, para sistemas complexos, pode ser extremamente difícil ou mesmo impossível analiticamente. Nesses casos, utilizam-se métodos aproximados, como a teoria do campo médio ou métodos numéricos avançados (Levine, 2014; Zettili, 2009; McQuarrie, 2008; Shankar, 1994).

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\Psi(\vec{r})+V(\vec{r})\Psi(\vec{r})=E\Psi(\vec{r}) \quad (1)$$

Nessa equação $\hbar$ é a constante de Planck dividida por 2π , ∇^2 é o operador laplaciano da função de onda (Ψ). O potencial $V(\vec{r})$ é dado pelo potencial coulombiano entre duas cargas elementares. As soluções dessa equação são autofunções, cada uma associada a um valor de energia (E), e essas autofunções são caracterizadas por três índices: um para a solução da parte radial (n), um para a parte polar (l) e um para a parte azimutal (m_l). Ainda, para respeitar o Princípio de Exclusão de Pauli, os elétrons precisam ser caracterizados por um quarto índice, já que, de contrário, teríamos dois elétrons no mesmo estado. Esse quarto índice vem da orientação do spin do elétron (s) (McQuarrie, 2008).

Esses quatro índices, que são números naturais (ou semi-inteiros, no caso do s), nessa mesma ordem, receberam os nomes de número quântico principal, secundário, magnético e de spin. Além disso, existem várias formulações diferentes das equações de Schrödinger, que são usadas em diferentes contextos como, por exemplo, a equação de Dirac que, no limite de massa igual a zero, se reduz à equação de Hermann Weyl, que se trata de uma equação de onda relativística que descreve partículas desprovidas de massa com spin $1/2$, denominadas férmions (McQuarrie, 2008).

O índice que representa o número quântico principal (n), possui relação direta com as camadas eletrônicas, pois quanto maior o valor de n , maior é a energia do elétron e mais distante ele está do núcleo (Brown *et al.*, 2016). Já o

número quântico secundário (l), conhecido também como número quântico azimutal, está relacionado ao momento angular do elétron, que descreve o subnível ou orbital do elétron, todavia, vale lembrar que o spin de uma partícula independe se ela está ou não em um orbital. Ele determina a forma tridimensional do orbital e pode ter valores de 0 a $n - 1$. Por exemplo, se $n = 2$, os possíveis valores para l são 0 e 1, correspondendo aos orbitais s e p , respectivamente, e assim por diante (Brown *et al.*, 2016).

Por conseguinte, o número quântico magnético (m_l) descreve a orientação espacial específica do orbital. Ele pode ter valores que variam de $-l$ a $+l$, incluindo zero (Belançon, 2018). Por exemplo, se $l = 1$, os possíveis valores para m são -1 , 0 e $+1$, representando as três orientações espaciais dos orbitais p , de acordo com a Tabela 1.

Além das representações espaciais para as possibilidades nos quatro orbitais, o número quântico de spin (m_s) descreve o sentido de rotação intrínseco do elétron em torno de seu próprio eixo. Ele pode ter dois valores: $+1/2$ ou $-1/2$. Esses valores representam os dois sentidos possíveis de rotação do elétron (Chang, 2010).

Processos metodológicos

Foi utilizada como metodologia as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) (Moreira, 2011b), fundamentadas teoricamente pela Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) (Ausubel, 1982; 2003). A proposta metodológica foi aplicada para uma turma de 27 estudantes do Módulo 1 do curso Técnico em Comércio e desenvolvida a partir de uma página da internet chamada “Quimiquanti”, que foi construída e utilizada como depósito para as animações e materiais de ensino, a qual contém um artigo científico (Belançon, 2018) para a Tertúlia Dialógica Científica (Calzolari *et al.*, 2020), a proposta de sequência didática UEPS (Moreira, 2011b; Merlim *et al.*, 2019) e os questionários para verificação da aprendizagem mista (Zabala, 1998), observando as evidências de aprendizagem significativa (Moreira, 2011a). As etapas de aplicação da metodologia estão dispostas na Figura 1.

A UEPS foi aplicada em seis aulas, divididas em oito etapas com a finalidade de promover uma aprendizagem significativa do conteúdo de números quânticos, a qual foi

Tabela 1: Relação entre os números quânticos e os orbitais. Fonte: Autores (2023), adaptado de Belançon (2018).

n	l	m_l	m_s	Orbital
1	0	(0)	($\uparrow\downarrow$)	1s ²
2	0	(0)	($\uparrow\downarrow$)	2s ²
2	1	(-1, 0, 1)	($\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$)	2p ⁶
3	0	(0)	($\uparrow\downarrow$)	3s ²
3	1	(-1, 0, 1)	($\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$)	3p ⁶
3	2	(-2, -1, 0, 1, 2)	($\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$)	3d ¹⁰
4	3	(-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3)	($\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$)	4f ¹⁴

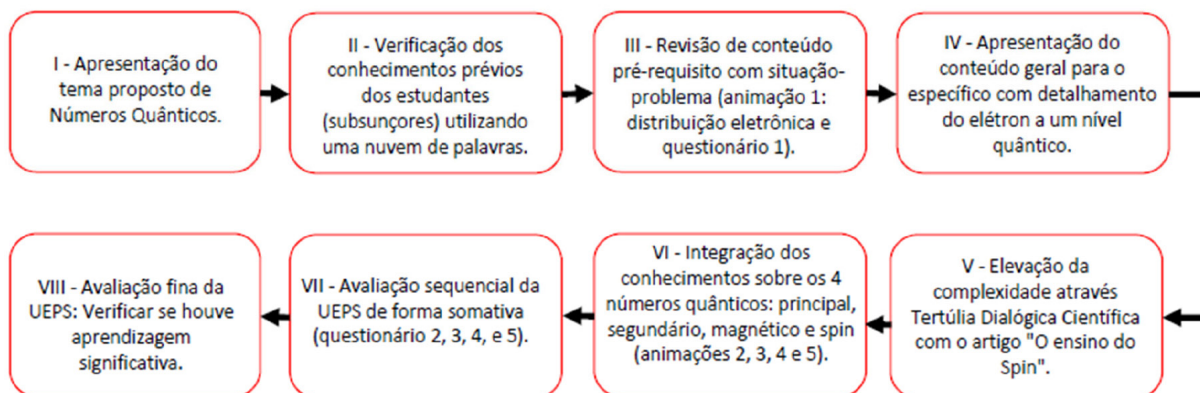


Figura 1: Etapas de a aplicação da UEPS. Fonte: Autores (2023), adaptado de Moreira (2011b) e Merlim *et al.* (2019).

medida por questionários utilizados como ferramenta de coleta de dados para tabulação dos resultados de aprendizagem num total de 25 questões de Química, abordando: estrutura atômica, níveis, subníveis de energia e os números quânticos, considerando os princípios de máxima multiplicidade e de exclusão de Pauli, além da percepção dos indícios de aprendizagem durante toda a aplicação da metodologia.

Toda a proposta metodológica passou por processo de validação com os pares (11 professores) da área de Ciências da Natureza. Além disso, o projeto de pesquisa relacionada à metodologia foi submetido ao Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) e aprovado sob o número 6.273.070 e Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE) número 71065123.9.0000.5072, com toda documentação e os termos necessários. A aplicação da metodologia foi realizada após a aprovação no CEP e assinatura dos termos pelos participantes.

Resultados e discussão

Para aplicação da proposta metodológica UEPS, foi necessário realizar o acesso a uma página da internet, criada especificamente como material potencialmente significativo com acesso livre, intitulada “Quimi quanti”, conforme disposto na Figura 2.



Figura 2: Vista da página inicial da página “Quimi quanti”. Fonte: Autores (2023). Disponível em: <https://sites.google.com/view/numerosquanticos/inicio>

No primeiro momento, após o estudantes terem realizado o acesso e feitas as orientações relacionadas aos comandos da página, foi iniciada a primeira e a segunda etapa da metodologia, apresentando o tema proposto de Números Quânticos (etapa 1) e verificação dos subsunoçores (etapa 2), por meio de uma nuvem de palavras (Figura 3), na qual, os estudantes expuseram os assuntos e temas que já tinham ouvido falar anteriormente ou que eles já possuíam algum conhecimento prévio advindo do cotidiano.



Figura 3: Verificação dos subsunoçores utilizando nuvem de palavras. Fonte: Autores (2023).

Os estudantes inseriram palavras de cunho relevante para o assunto principal da pesquisa, pois, segundo eles, enfatizaram os conhecimentos prévios de conteúdos escolares e do cotidiano. Foi possível observar diversas palavras relacionadas ao estudo do átomo e suas características, nas quais os estudantes expuseram para toda a turma de que forma aprenderam e/ou qual a proveniência de cada conhecimento prévio inserido na nuvem de palavras.

Todos os estudantes participaram trazendo seus conhecimentos prévios e assim foi possível perceber indícios da aprendizagem significativa baseados nos termos diretamente relacionados ao tema principal (Moreira e Masini, 2006), utilizados como organizadores prévios que serviram de pontos de ancoragem para o aprofundamento do tema e inserção dos conceitos subsequentes.

Na terceira etapa, foi realizada a revisão do conteúdo de distribuição eletrônica contemplado na primeira animação, de acordo com a Figura 4.



Figura 4: Estudantes acessando as animações. Fonte: Autores (2023).

Após os estudantes assistirem à animação, foi realizada a avaliação por meio de questionário com questões objetivas, contemplando o conteúdo de distribuição eletrônica e camadas eletrônicas. Como cada um dos estudantes acessaram à animação de forma individual, todos com um fone de ouvido, foi possível perceber que alguns estudantes assistiram-na mais de uma vez, a fim de compreender todos os conceitos abordados para posterior resolução do questionário de verificação da aprendizagem (Figura 5), que deve ser predominantemente formativa e recursiva, ou seja, é necessário buscar evidências de aprendizagem significativa, ao invés de querer determinar se ocorreu ou não (Moreira, 2011a). O autor ainda enfatiza que é importante a recursividade, permitindo que o aprendiz refaça, mais de uma vez se for o caso, as tarefas de aprendizagem. É importante que os estudantes externalizem os significados que estão captando, que expliquem e justifique suas respostas.

As respostas dos questionários respondidos pelos estudantes, após assistirem à animação, foram disponibilizadas no menu de resultados, que possibilitaram a análise e comparação dos níveis de aprendizado dos estudantes de acordo com a quantidade de acertos. Em seguida, na quarta etapa, foi realizada a abordagem e discussão do tema, elevando-o a um nível mais específico, tendo como base a teoria, disponível na página.

Uma das aplicações mais recente do xenônio, que possui número atômico 54, foi feita em faróis de veículos. A vantagem é que o dispositivo passa a iluminar três vezes mais, e ainda consome 40% menos de bateria do que os faróis comuns, além de conferir um ar esportivo nos veículos. Considerando os dados do texto, a distribuição eletrônica do xenônio termina em

- ☐ 4d¹⁰, 5p⁶
☐ 3d¹⁰, 4p⁶
☐ 3d¹⁰, 4d⁶
☐ 4s², 3d⁶
☐ 4d⁶, 5p⁶



A imagem abaixo possui informações sobre o gás nobre Og (oganessônio).

O conjunto dos quatro números quânticos do último elétron do oganessônio são, respectivamente

118 (294)

Og

[Rn]5f¹⁴6d¹⁰7s²7p⁶

- ☐ n=7, ℓ=1, m=+1, ms=+1/2
☐ n=6, ℓ=3, m=+2, ms=-1/2
☐ n=5, ℓ=0, m=+1, ms=-1/2
☐ n=5, ℓ=1, m=+3, ms=+1/2
☐ n=6, ℓ=2, m=+2, ms=+1/2

Camadas ou níveis Subníveis (s, p, d ou f)

K	1	1s ²
L	2	2s ² 2p ⁶
M	3	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰
N	4	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴
O	5	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ¹⁴
P	6	6s ² 6p ⁶ 6d ¹⁰
Q	7	7s ² 7p ⁶

O elemento titânio (Z=22) é empregado na produção de ϵ possui características de alta resistência ao calor gerado o ar, devido as altas velocidades alcançadas pelos caças geração, assim como também é um material considerado densidade), em relação aos outros metais. Com relação ao titânio, pode-se afirmar que a sua distrib

Os estudantes foram orientados a acessar à aba do embasamento teórico, a qual foi utilizada para uma explicação mais específica do tema de Números Quânticos, detalhando o que foi apresentado na primeira etapa, de maneira expositiva e dialogada, deixando também explícitas as competências específicas relacionadas ao conteúdo. Não se tratou apenas de um enfoque dedutivo, mas sim, de uma abordagem na qual os pontos mais relevantes foram introduzidos a partir do que foi proposto desde o início (Moreira, 2011a).

A quinta etapa, cujo tema foi elevado a um nível mais complexo, contemplou-se a realização da Tertúlia Dialógica Científica (Figura 6), na qual houve participação unânime dos estudantes. Essa etapa foi realizada com a leitura inicial do artigo “O ensino do spin: uma abordagem integrada a tecnologia e sociedade” (Belançon, 2018) e, subsequentemente, a discussão.

O artigo foi disponibilizado, previamente, para que os estudantes realizassem a leitura (a maioria dos estudantes optou pelo texto impresso, para realização de marcações dos trechos mais relevantes) e, no momento da Tertúlia, sob forma ordenada de cada fala durante a discussão do tema, todos levantaram questões que possibilitaram a participação coletiva da construção do conhecimento acerca do conteúdo proposto de forma contextualizada, levantando situações-problema voltadas para a aplicação e utilização da Química Quântica a nível de elétron e suas contribuições para a tecnologia e sociedade.

Alguns levantamentos relevantes feitos durante a realização da Tertúlia, dentro do tema proposto, estão transcritos a seguir:

“Quando a gente fala de elétron, o que me vem à cabeça é a eletricidade, tipo essa que chega nas casas para ligar a luz, televisão, geladeira e outras coisas que temos em casa” (sic) (E11).

“Esse tal de magnetismo me lembra muito aqueles metais que atraem o ferro” (sic) (E23).

“Acho que você quis dizer ímã, né? Uma vez eu vi um vídeo falando sobre um tipo de Trem que levita

Figura 5: Vista parcial dos questionários de verificação da aprendizagem. Fonte: Autores (2023). Disponível em: <https://sites.google.com/view/numerosquanticos/in%C3%ADcio>



Figura 6: Realização da Tertúlia Dialógica Científica. Fonte: Autores (2023).

sobre os trilhos, pois ele tem ímãs nos trilhos. Eles andam muito rápido, acho que a mais de 400 km/h, eu acho” (sic) (E10).

“As bússolas funcionam como um ímã, que apontam pra um lado da terra. Era assim que as pessoas conseguiam ir para os lugares antigamente. Hoje é tudo facinho, só olhar no gps” (sic) (E13).

“Sei lá, vêi! Será que os spins, que tem no artigo, tem a ver com os celulares quando a gente toca na tela?” (sic) (E21).

“Parece aquele filme do Homem Formiga, que eles vão para o mundo Quântico, mas lá tem um monte de pessoas muito pequenas e monstros que lutam com eles” (sic) (E8).

As falas dos estudantes sobre o tema, durante a realização da Tertúlia, possibilitaram a contextualização da temática, sendo possível observar evidências da aprendizagem significativa, pois foram capazes de relacionar a teoria com situações reais do cotidiano (Moreira, 2011a), visto que o ensino de números quânticos, que está atrelado à estrutura atômica, possui conceitos extremamente teóricos. Também foi possível perceber uma abordagem interdisciplinar, em que alguns estudantes relacionaram o tema com conceitos oriundos da disciplina de Física.

Pautado nas observações e comentários dos estudantes registrados no diário de bordo durante a realização dessa etapa, foi possível alcançar o objetivo proposto para a Tertúlia Dialógica Científica, que se trata de um tipo de Atuação Educativa de Êxito voltada para práticas educativas, com o objetivo de demonstrar resultados que busquem a máxima aprendizagem de um conteúdo ou tema proposto (Calzolari *et al.*, 2020).

Após a Tertúlia, foi realizada, na sexta etapa, a integração dos conteúdos sobre os quatro números quânticos, assistindo às animações sobre os números quânticos principal, secundário, magnético e spin. Para cada animação que foi assistida, foi respondido um questionário sobre cada número quântico, cujos resultados foram coletados via formulário e disponibilizados, instantaneamente (Figura 7), conforme proposto na sétima etapa.

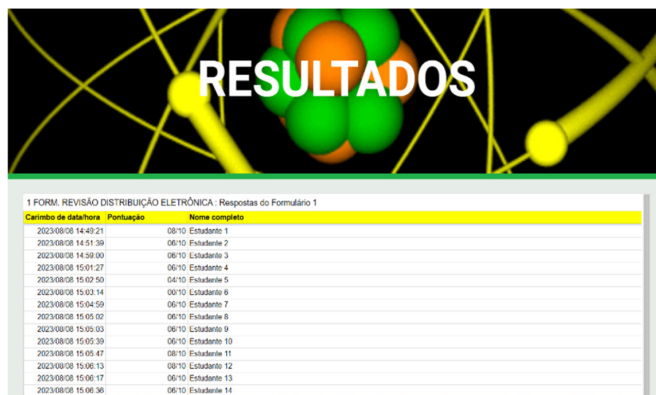


Figura 7: Resultados dos questionários avaliativos. Fonte: Autores (2023).

As respostas foram coletadas em tempo real após a finalização de cada questionário e utilizadas para verificação da aprendizagem, para saber se a UEPS foi exitosa, representada pela etapa 8, que foi a última etapa da UEPS.

Na tabulação dos resultados dessa etapa, na qual os nomes dos estudantes foram substituídos pelos termos “E1” ao “E27”, foi possível verificar o desempenho (Figura 8) referente aos resultados coletados nos questionários sobre distribuição eletrônica e dos quatro números quânticos.

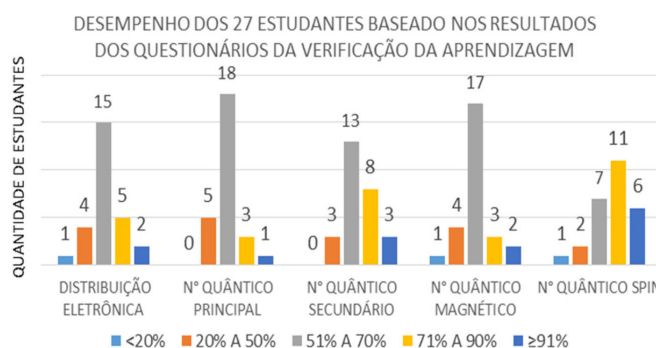


Figura 8: Gráfico de desempenho dos estudantes nos questionários referente às animações. Fonte: Autores (2023).

Foi possível detectar por meio dos formulários de verificação da aprendizagem, que 1 estudante obteve um desempenho <20%, 4 estudantes entre 20% e 50%, 15 estudantes com desempenho entre 51% e 70%, 5 estudantes com desempenho entre 71 e 90%, e com desempenho em níveis mais elevados, 2 estudantes alcançaram acertos ≥91%. É importante observar que baixos níveis de compreensão do conteúdo de distribuição eletrônica implicam diretamente no aprendizado dos números quânticos, pois para determiná-los é necessário distribuir corretamente os elétrons e entender os níveis e subníveis de energia.

Já na verificação da aprendizagem do número quântico principal, foi possível detectar que não houve estudante com desempenho <20%. Foram detectados 5 estudantes com desempenho entre 20% e 50%, 18 estudantes entre 51% e 70%, 3 estudantes entre 71 e 90% e, por fim, 1 estudante com desempenho ≥91%. Nesse caso, como na verificação do conteúdo pré-requisito de distribuição eletrônica,

percebeu-se que a maior parte dos estudantes alcançaram nível de aprendizagem entre 51% e 70%.

Na verificação da aprendizagem do número quântico secundário azimutal, foi possível perceber um aumento na quantidade de estudantes com desempenho entre 71% e 90%. Foram tabulados 0, 3, 13, 8 e 3 para os níveis de desempenho <20%, entre 20% a 50%, 51% a 70%, 71% a 90% e ≥91%, respectivamente. Novamente, não houve estudante com desempenho abaixo de 20%.

Os resultados referentes ao número quântico magnético, o qual exige maior quantidade de informações e conceitos para determinação do elétron em um dado orbital, foi possível detectar que, novamente 1 estudante alcançou desempenho <20% na verificação da aprendizagem, 4 estudantes entre 20% e 50%, entretanto, com 17 estudantes, ainda predominou perante aos demais níveis de aprendizagem, o desempenho entre 51% e 70%. Já os dois últimos níveis de aprendizagem, entre 71% e 90% e os que obtiveram desempenho ≥91%, foram alcançados por 3 e 2 estudantes, respectivamente.

Os resultados do último número quântico, denominado número quântico spin, foi possível observar 1 estudante com desempenho <20%, 2 estudantes entre 20% e 50%, 7 estudantes entre 51% e 70%, 11 estudantes entre 71% e 90% e, por fim, 6 estudantes com desempenho ≥90%. É necessário ressaltar que o número quântico spin, que representa o sentido de sua rotação, exige menos detalhes para ser determinado a nível de ensino médio, sendo assim, foi possível detectar mais estudantes com desempenho entre 71% e 90% do que entre 51% a 70%, como ocorreu nos demais resultados.

A avaliação geral da aprendizagem foi realizada a partir das duas etapas da avaliação mista, considerando 50% da nota atribuída para a participação dos estudantes na etapa de discussão do tema durante a UEPS, subsunçores, Tertúlia Dialógica Científica e frequência durante as etapas. Nessa etapa todos os alunos participaram e obtiveram desempenho máximo na primeira metade da pontuação. Os outros 50% foram atribuídos a nota média dos resultados dos 5 questionários de verificação da aprendizagem referente às 5 animações, sendo uma delas sobre distribuição eletrônica e as outras quatro sobre os números quânticos. Sendo assim, analisando rendimento total, por estudante, pôde-se observar ainda mais detalhadamente o desempenho individual em função do nível de aprendizagem, conforme a Figura 9.

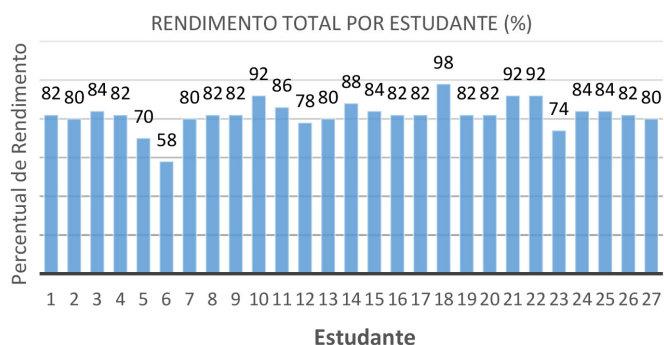


Figura 9: Gráfico do rendimento total por estudante. Fonte: Autores (2023).

Observando o desempenho geral de cada estudante e que o conteúdo de números quânticos, no campo da Química, traz consigo um nível detalhado de informações necessárias à sua compreensão, é possível observar que o estudante 6 alcançou um baixo desempenho (<60%), que teve relação com o desempenho menor que 20% em 3 dos 5 questionários, que foi o de distribuição eletrônica, número quântico magnético e o número quântico spin. Se não há compreensão e assimilação da configuração eletrônica dos elementos, não é possível compreender os números quânticos, a regra de Hund e o princípio de exclusão de Pauli com clareza. Os demais estudantes obtiveram rendimentos iguais ou acima de 70%, entretanto, dois estudantes se sobressaíram, alcançando o nível de desempenho mais alto (≥91%).

Fazendo um comparativo entre os resultados de verificação da aprendizagem mista (Zabala, 1998), que contemplou a avaliação dos resultados qualitativos e quantitativos durante todas as etapas de desenvolvimento da UEPS (Moreira, 2011b) e os resultados apenas das etapas quantitativas, que foram os questionários de distribuição eletrônica e dos quatro números quânticos, foi possível identificar uma diferença entre os métodos de avaliação (Figura 10).

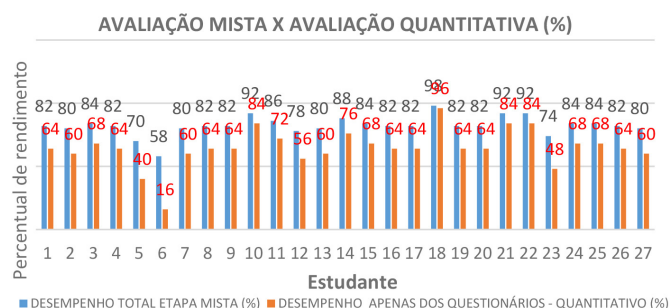


Figura 10: Gráfico comparativo entre a etapa de avaliação mista e a etapa quantitativa. Fonte: Autores (2023).

Foi possível verificar que os melhores resultados de aprendizagem foram os da avaliação com abordagem mista, qualitativa e quantitativa, que evidenciou que a UEPS foi exitosa. A avaliação é considerada como um instrumento sancionador e qualificador, em que o sujeito da avaliação é o aluno e o objeto da avaliação são as aprendizagens realizadas de acordo com os objetivos propostos em todas as etapas (Tabela 2) e de maneiras diversificadas (Zabala, 1998).

Os resultados de todas as etapas da metodologia, tanto das etapas qualitativas durante a aplicação, quanto na etapa quantitativa, referente aos questionários com questões sobre distribuição eletrônica e os quatro números quânticos foram coletados e tabulados, o que viabilizou a verificação da aprendizagem dos estudantes em todas as etapas da aplicação da UEPS de maneira detalhada.

Além das evidências de aprendizagem significativa (Moreira, 2011a) voltadas para a diferenciação progressiva como forma de traçar relações de significado com situações cotidianas e emergindo delas conceitos científicos que podem ir do mais geral aos mais específicos, foi possível encontrar aproximações com os resultados de Gomes e Souza (2023),

Tabela 2: Tabulação dos resultados de todas as etapas da metodologia. Fonte: Autores (2023).

Estudante	Participou da discussão do tema? (12,5 = SIM; 0 = NÃO)	Trouxe algum Subsuncor? (12,5 = SIM; 0 = NÃO)	Participou da Tertúlia (12,5 = SIM; 0 = NÃO)	Frequência durante as UEPS? (12,5 = 100%)	Quest. 1 - Dist. Eletrônica	Quest. 2 - N° Q. Principal	Quest. 3 - N° Q. Secundário	Quest. 4 - N° Q. Magnético	Quest. 5 - N° Q. Spin	Desempenho quantitativo apenas dos questionários	Desempenho total etapa mista - qualitativa e quantitativa
E1	12,5	12,5	12,5	12,5	80%	60%	60%	60%	60%	64%	82%
E2	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	60%	60%	60%	80%
E3	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	80%	60%	80%	68%	84%
E4	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	60%	80%	64%	82%
E5	12,5	12,5	12,5	12,5	40%	40%	40%	40%	40%	40%	70%
E6	12,5	12,5	12,5	12,5	0%	40%	40%	0%	0%	16%	58%
E7	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	60%	60%	60%	80%
E8	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	60%	80%	64%	82%
E9	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	80%	60%	60%	64%	82%
E10	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	100%	100%	100%	84%	92%
E11	12,5	12,5	12,5	12,5	80%	80%	80%	60%	60%	72%	86%
E12	12,5	12,5	12,5	12,5	80%	60%	60%	40%	40%	56%	78%
E13	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	40%	80%	60%	80%
E14	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	100%	60%	100%	76%	88%
E15	12,5	12,5	12,5	12,5	80%	60%	80%	60%	60%	68%	84%
E16	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	60%	80%	64%	82%
E17	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	60%	80%	64%	82%
E18	12,5	12,5	12,5	12,5	80%	100%	100%	100%	100%	96%	98%
E19	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	60%	80%	64%	82%
E20	12,5	12,5	12,5	12,5	40%	40%	80%	60%	100%	64%	82%
E21	12,5	12,5	12,5	12,5	100%	80%	80%	80%	80%	84%	92%
E22	12,5	12,5	12,5	12,5	100%	80%	80%	80%	80%	84%	92%
E23	12,5	12,5	12,5	12,5	40%	40%	40%	40%	80%	48%	74%
E24	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	60%	100%	68%	84%
E25	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	60%	100%	68%	84%
E26	12,5	12,5	12,5	12,5	40%	40%	80%	80%	80%	64%	82%
E27	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	60%	60%	60%	80%

que trouxe evidências de aprendizagem semelhantes em que os estudantes, que inicialmente não conseguiram compreender e relacionar conceitos científicos mais específicos, durante as abordagens no decorrer da UEPS, obtiveram aproximações dos termos específicos do conteúdo, relacionando o tema proposto com situações reais do cotidiano.

O uso do material potencialmente significativo incluindo as animações para o ensino dos números quânticos despertaram maior interesse dos estudantes, baseado nos resultados de aprendizagem de conceitos químicos de nível submicroscópico, coletados nos questionários referentes ao conteúdo das animações. Esses resultados convergiram com Gomes e Souza (2023), que com o uso das ferramentas TICs no ensino de Química dentro da temática de oxirredução na aplicação da UEPS, oportunizou aos participantes o interesse que viabilizou a assimilação dos conceitos nos diferentes níveis de representação do conhecimento químico, tanto

no submicroscópico, quanto no macroscópico e simbólico.

Também pôde ser observado que 96% (26 dos 27 estudantes) compreenderam satisfatoriamente a temática, baseado nos resultados de desempenho geral dos estudantes, semelhante aos resultados obtidos por Ferreira *et al.* (2020), que evidenciou indícios de aprendizagem significativa durante a aplicação de uma UEPS sobre Óptica geométrica, na qual 86% dos estudantes responderam aos questionários de forma satisfatória.

Conclusão

Os resultados indicaram, em diversos momentos, indícios de aprendizagem significativa durante a aplicação da metodologia, destacando a necessidade de sempre utilizar estratégias diferenciadas para apoiar aqueles que enfrentam dificuldades de assimilação de conteúdo específico e isso

inclui a importância do ensino progressivo, como foi realizada na abordagem sobre distribuição eletrônica, antes de abordar tópicos mais avançados como números quânticos.

Além disso, a pesquisa ressaltou a importância de uma avaliação mista, combinando avaliações qualitativas e quantitativas para obter uma imagem completa do progresso dos estudantes. Isso é importante para identificar lacunas e orientar os estudantes de forma mais eficaz, além da necessidade de adaptar abordagens de ensino para atender às necessidades individuais dos estudantes e despertar o interesse pelo tema, especialmente em disciplinas complexas como a Química, na qual a compreensão de conceitos prévios é fundamental.

Por fim, a pesquisa destacou que a complexidade de ensinar tópicos específicos, como números quânticos, pode ser facilitada utilizando materiais de ensino atrativos, como o uso de ferramentas TIC e animações, atrelados a métodos de

avaliações abrangentes dentro de metodologias consistentes como a UEPS.

Fabrizio Rodrigues Pereira (fabrizio.r.pereira@gmail.com) é licenciado e bacharel em Química pela Faculdade de Tecnologia FAESA, especializado em Engenharia de Produção pela Faculdade de Tecnologia FAESA, mestre em Química pelo IFES e doutorando em Química pela UFES. Atualmente é professor da Secretaria de Estado da Educação do Espírito Santo-SEDU, Vila Velha, ES – BR. **Bruno Magela de Melo Siqueira** (brunosiq15@gmail.com) é licenciado em Química pelo IFES, mestre em Bioquímica e Farmacologia pela UFES e doutor em Química na área de Ensino de Química pela UFES, Vitória, ES – BR. **Wanderson Romão** (wanderson.romao@ifes.edu.br) é licenciado e bacharel em Química pela UFES, mestre em Físico-Química e doutor em Ciências, ambos pela UNICAMP. Atualmente é docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Química da UFES e diretor de pesquisa do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vila Velha, ES – BR. **Paulo Rogério Garcez de Moura** (paulomoura.ufes@gmail.com) é bacharel em Química e especialista em Educação pela UNICRUZ, mestre em Filosofia pela UFSM e doutor em Educação em Ciências pela UFRGS. Atualmente é professor na UFES. Vitória, ES – BR.

Referências

AUSUBEL, D. P. *A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Moraes, 1982.

AUSUBEL, D. P. *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Plátano, 2003.

BELANÇON, M. P. O ensino do spin: uma abordagem integrada a tecnologia e a sociedade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 40, n. 4, e5402, 2018.

BROWN, T., LEMAY, H. E. e BURSTEN, E. *Química: a ciência central*. 13ª ed. Prentice-Hall, 2016.

CALZOLARI, A.; BATISTETI, E. N. e MELO, R. R. Tertúlia Dialógica Científica: atuação Educativa de êxito para educação Científica e Tecnológica. *Dialogia*, v. 36, p. 441-457, 2020.

CHANG, R. *Química Geral: Conceitos Essenciais*. São Paulo: McGraw-Hill, 2010.

KUMAR, B. S. 3D Animation as an Effective Learning Tool. *International Research Journal of Engineering and Technology*, v. 31, n. 11, 392-394, 2016.

FERREIRA, M. L. G. *Uma proposta de Ensino baseada nos saberes locais para a promoção da Aprendizagem Significativa em Química*. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020.

FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L.; MOREIRA, M.A.; FRANZ, G. B.; PORTUGAL, K. O. e NOGUEIRA, D. X. P. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre óptica geométrica apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para smartphones. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 42, e20200057, 2020.

GOMES, D. C. e SOUZA, K. S. Unidades de Ensino

Potencialmente Significativas (UEPS) e a Aprendizagem da Oxirredução. *Revista REAMEC*, v. 11, n. 1, e23004, 2023.

LEVINE, I. N. *Química Quântica: Fundamentos e Aplicações Modernas*. Porto Alegre: Bookman, 2014.

MCQUARRIE, D. A. *Quantum Chemistry*. 2ª ed. Mill Valley (California, EUA): University Science Books, 2008.

MERLIM, R. S.; SARAIVA, V. S. M.; MENEGUELLI, D. C. S.; MACHADO, C. H. e CALDAS, R. L. Unidade de ensino potencialmente significativa: análise da aplicação sobre efeito fotoelétrico. *Revista Thema*, v. 16, n. 2, p. 284-300, 2019.

MOREIRA, M. A. Afinal o que é Aprendizagem Significativa? *Revista Currículo*, v. 25, p. 29-56, 2012.

MOREIRA, M. A. e MASINI, E. F. S. *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. 2ª ed. São Paulo: Centauro, 2006.

MOREIRA, M. A. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: Gen, 2011a.

MOREIRA, M. A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas - UEPS. *Aprendizagem Significativa em Revista*, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011b.

SHANKAR, R. *Principles of Quantum Mechanics*. Berlim: Springer Science & Business Media, 1994.

TOSTA, L. F. *Desenvolvimento de animações 3D como ferramentas didáticas para o ensino de química*. Dissertação de Mestrado em Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

ZABALA, A. A avaliação. In: *A prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

ZETILLI, N. *Quantum Mechanics: Concepts and Applications*. Hoboken (Nova Jersey, EUA): John Wiley & Sons, 2009.

Abstract: *Potentially Meaningful Teaching Units - PMTU: an approach to the theme of quantum numbers using ICT tools and animations.* This study investigated the effectiveness of teaching quantum numbers, included in the Potentially Meaningful Teaching Units (PMTU) methodology using animations. Quantum mechanics, focusing on the electronic level, was approached in a contextualized way within the scope of this research, which is based on the production, validation and application of teaching material using information and communication technology (ICT) tools, linked to meaningful learning theory (MLT). The objective was to promote meaningful learning of specific concepts, on the subject of quantum numbers, taking into account their previous knowledge, called subsumers. The research related to the concepts of electronic distribution and electronic layers with the main, secondary (or angular momentum), magnetic quantum number and electronic spin. The analysis of the results was carried out using a mixed approach, which showed evidence of significant learning in the qualitative stages based on the relationships established by the students between the proposed theme and different real everyday situations, as well as the results of Ferreira *et al.* (2020), and in the quantitative stage, 96% of students achieved satisfactory learning results in the questionnaires, as well as the results of Gomes and Souza (2023).

Keywords: Chemistry teaching, meaningful learning, information and communication technology

A informática no ensino de Química: desenvolvimento de um dispositivo virtual para o estudo de pilhas

Natanael de S. Sousa, Tayla T. B. Costa e Maria Célia P. Costa

A dificuldade no estudo da Química é um problema que persiste em nossas escolas por anos. Assim, este trabalho apresenta o desenvolvimento e aplicação do dispositivo virtual *Flash Cell* para o estudo de pilhas no Ensino Médio. O aplicativo foi criado em linguagem *flash*, sendo executável em qualquer computador com sistema Windows. O *Flash Cell* usa animações e interações computacionais para melhor ilustrar os conceitos de pilhas, auxiliando os alunos na transição entre os três níveis do conhecimento químico: macroscópico (mostrando os fenômenos visíveis), simbólico (com as semirreações) e submicroscópico (com ilustração dos fenômenos moleculares). O *Flash Cell* foi aplicado em aulas de Química e a análise de aplicação deu-se por audição dos alunos e uso de questionário avaliativo, os quais sugeriram que o dispositivo contribuiu para a aprendizagem, promovendo melhor compreensão dos conceitos envolvidos e despertando o interesse dos alunos pelas tecnologias digitais e pela disciplina.

► ensino de Química, pilhas, software ◀

Recebido em 25/02/2024; aceito em 07/04/2025

33

Introdução

A escola é um espaço fundamental para a construção do conhecimento e o professor desempenha um papel central na articulação do processo de ensino, mediando a interação entre o aluno e o saber (Romanelli, 1996). No entanto, o ensino enfrenta desafios como baixos índices de rendimento e altas taxas de retenção e evasão. Muitos estudantes ainda percebem as aulas como monótonas e excessivamente baseadas na memorização de conceitos e fórmulas. Diante desse cenário, a escola e, em especial, o professor, devem buscar metodologias inovadoras para despertar o interesse dos alunos, facilitando a aprendizagem e evidenciando a relevância dos conteúdos para sua formação (Silva *et al.*, 2012). Para alcançar esse objetivo e evitar a obsolescência, a educação deve assimilar novas tecnologias e traduzi-las para um nível de compreensão acessível, promovendo um ensino mais atrativo e de qualidade (Marques, 1996).

As Tecnologias Digitais da Informação e da Comunicação (TDIC) são ferramentas essenciais para a construção do

A experiência em sala de aula demonstra que o estudo das pilhas exige dos alunos conhecimentos prévios em Física, Química e Matemática, que, por vezes, são deficientes. Para superar essa dificuldade, é fundamental despertar o interesse pelo conhecimento científico, tornando o ensino mais dinâmico e conectado ao cotidiano do estudante.

conhecimento científico (Schuartz e Sarmiento, 2020), pois permitem a utilização de diferentes formas de transmissão da informação - escrita, visual e sonora, tornando o aprendizado mais dinâmico e acessível (Neves e dos Santos, 2021). O avanço das tecnologias da informação e a popularização dos dispositivos digitais, aliados ao acesso à internet, resultaram na

crescente incorporação das TDIC no ambiente educacional (Moran *et al.*, 2000). No entanto, Soares (2008) enfatiza que *softwares* educativos eficazes devem ser personalizados e desenvolvidos considerando as especificidades dos conteúdos abordados. A integração do conteúdo científico aos *softwares* educacionais pode ocorrer por meio de atividades interativas, simulações e cenários que reproduzam desafios científicos reais, favorecendo uma compreensão mais ampla das implicações sociais e ambientais das descobertas científicas e tecnológicas (NRC, 2012).

A experiência em sala de aula demonstra que o estudo das pilhas exige dos alunos conhecimentos prévios em Física, Química e Matemática, que, por vezes, são deficientes. Para superar essa dificuldade, é fundamental despertar o

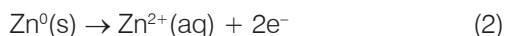
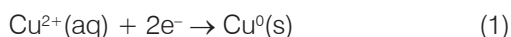
interesse pelo conhecimento científico, tornando o ensino mais dinâmico e conectado ao cotidiano do estudante. Isso possibilita a construção de uma ponte entre a abstração e a realidade, facilitando a compreensão da relação entre o mundo microscópico e os sistemas macroscópicos e aprimorando o desenvolvimento cognitivo (Turner, 1990).

Segundo Chassot (1996), muitos alunos não compreendem as aulas de Química porque nunca aprenderam a visualizar sistemas químicos ou a utilizar representações gráficas para solucionar problemas. Para abordar conceitos que estão além do campo de visão humano, as TDIC se mostram ferramentas valiosas na construção do conhecimento (Treruya *et al.*, 2013). Seu uso na educação tem se mostrado uma estratégia didática eficaz, proporcionando contribuições significativas para o ensino de Química (Pauletti e Catelli, 2013). Além disso, o computador desempenha um papel importante na simulação de fenômenos químicos, na interpretação de dados e na modelagem de conceitos, auxiliando na construção do aprendizado significativo (Souza *et al.*, 2005).

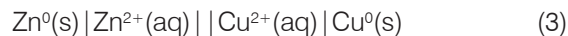
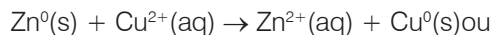
As pilhas

Entre os conteúdos abordados no ensino de Química, a eletroquímica estuda a relação entre reações químicas e a geração de eletricidade. As pilhas, por sua vez, são sistemas nos quais processos espontâneos produzem corrente elétrica. No Ensino Médio, o estudo das pilhas está previsto no *Documento Curricular do Território Maranhense* (Maranhão, 2022) e alinhado à *Base Nacional Comum Curricular* (BNCC), que estabelece o domínio sobre geradores e pilhas como uma das habilidades a serem desenvolvidas pelos alunos (Brasil, 2018).

O primeiro registro histórico da criação de uma pilha remonta a 1799, quando Alessandro Volta desenvolveu um experimento utilizando discos de zinco e prata intercalados por um tecido embebido em uma solução ácida. Nesse sistema, os elétrons migravam do zinco para a prata, gerando uma corrente elétrica (Chagas, 2000). Em 1836, John Frederick Daniell aprimorou esse conceito ao construir uma pilha composta por eletrodos de cobre e zinco, imersos em soluções separadas (Costa e Porto, 2021). A inovação de Daniell consistiu na introdução de uma parede porosa, um componente que permitia a migração de íons entre as soluções, estabelecendo um circuito interno que mantinha o equilíbrio eletroquímico da pilha (Gentil, 1996). A pilha proposta por Daniell é formada por duas semirreações:



Neste processo, os elétrons que se desprendem na oxidação do zinco, e migram através do condutor até o eletrodo de cobre são os responsáveis pela geração da corrente elétrica no sistema (Corrente Contínua). A pilha de Daniell pode ser globalmente representada por:



De modo geral, a capacidade da pilha gerar eletricidade depende de sua diferença de potencial (ddp), que pode ser expressa como variação de potencial eletroquímico (ΔE), o qual é determinado a partir dos potenciais de redução dos eletrodos (E) que a compõem. O ΔE da pilha permite determinar a tensão em volts (V) produzida por esta. A variação de potencial da pilha pode ser calculada pelos potenciais de redução dos eletrodos (Paula, 2017), por:

$$\Delta E = E_{\text{maior}} - E_{\text{menor}} \quad (4)$$

onde ΔE é a variação do potencial da pilha e $E_{\text{maior}} - E_{\text{menor}}$ são o maior e o menor potencial de redução dos eletrodos, respectivamente. Os potenciais dos eletrodos são medidos em relação ao eletrodo padrão de hidrogênio (EPH) (Caramel e Pacca, 2011), o qual por convenção, possui valor ($\text{EPH} = 0 \text{ V}$). Assim, o valor de ΔE relaciona-se com a espontaneidade da pilha. Quando o ΔE é maior que zero a reação é espontânea, porém, quando negativo ou nulo, a reação não ocorre espontaneamente. E quanto maior o potencial, maior será a eficiência da pilha (Guizzo *et al.*, 2019).

Para entender as pilhas é essencial dominar os conceitos de oxidação e redução, representados nas equações 1 e 2, e ter compreensão da movimentação de elétrons no sistema. Habilidades fundamentais para que os alunos consigam transitar eficientemente entre os aspectos fenomenológicos, teóricos e representacionais do tema. No entanto, segundo Moreno e Heidelmann (2017), os alunos têm dificuldade em visualizar esses fenômenos. O desenvolvimento de recursos didáticos virtuais vem para ajudá-los a fazer essa transição entre os diferentes níveis de abstração, ilustrando correlações entre fórmulas, equações e eventos moleculares.

Softwares educacionais para o ensino de pilhas

O uso de *softwares* e simulações no ensino de Química tem crescido, com diversas ferramentas disponibilizadas por instituições acadêmicas, como a *Iowa State University* e *McGraw-Hill* (Giordan, 2015). No entanto, muitos desses recursos são voltados para aplicações específicas em sala de aula e podem apresentar limitações, como a falta de aprofundamento conceitual ou interatividade (Machado, 2016).

Moreno e Heidelmann (2017) exploraram o uso de *softwares* como *BKChem*, *ChemSketch*, *Avogadro*, *Prezi*, *Edmodo* e *Audacity* no ensino de Química, mesmo não sendo desenvolvidos exclusivamente para esse fim. Os resultados indicaram que essas ferramentas tornaram as aulas mais dinâmicas, aumentaram o engajamento dos estudantes e reduziram a necessidade de exposições longas, favorecendo discussões mais interativas. Batista *et al.* (2018) também investigaram o uso do *software* de visualização molecular *Avogadro* com o mesmo propósito.

Silva *et al.* (2019) analisaram o impacto do uso de mídias digitais no ensino de Química em ambientes virtuais, com foco no tema radioatividade. Os docentes relataram que essas ferramentas incentivaram a autonomia dos alunos, promovendo discussões, reflexões e produções audiovisuais. Guizzo *et al.* (2019) aplicaram o *software Rasmol* no ensino de geometria molecular em um curso a distância, desenvolvido com base na metodologia de Construção de Materiais Educacionais Digitais (*ConstruMED*). Os estudantes avaliaram a experiência como positiva e sugeriram a ampliação do conteúdo abordado.

Rodrigues e Gibin (2022) utilizaram a técnica de *Stop Motion* para que alunos do ensino médio produzissem animações sobre experimentos de eletrólise aquosa. O método mostrou-se eficaz no ensino de Química e Ciências, estimulando a criatividade, o pensamento lógico e a reflexão crítica sobre a dinâmica das espécies químicas.

Uma revisão de Barbosa Júnior e Viana (2021) analisou simulações computacionais sobre eletroquímica disponíveis na internet, com critérios como usabilidade, recursos motivacionais e adequação pedagógica. Apesar das contribuições para o ensino do tema, algumas limitações foram apontadas, como a falta de suporte para cálculos de ddp e a necessidade de acesso à internet para utilização.

Diante desse contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um aplicativo didático para auxiliar professores e alunos no ensino de pilhas no Ensino Médio. O recurso utiliza ilustrações e animações interativas para facilitar a compreensão dos conceitos eletroquímicos e será testado em sala de aula para avaliar sua eficácia no processo de ensino e o envolvimento dos estudantes nas aulas de Química.

Procedimento metodológico

Desenvolvimento e funcionalidades do aplicativo

O aplicativo criado chama-se *Flash Cell* e foi construído na íntegra no *software Macromedia Flash Professional 8*, que é uma plataforma destinada à criação de imagens, materiais

para web e animações. O *Flash Cell* foi compilado no formato executável para Windows (.exe). Deste modo, pode ser executado em qualquer computador, não dependendo da instalação prévia ou plug-ins. No *Flash Cell* o aluno tem acesso às simulações interativas e à fundamentação teórica básica do tema eletroquímica (1a), ao histórico de desenvolvimento das pilhas (1b), ao conceito de ponte salina (1c) e estrutura das pilhas comerciais (1d). Além de uma página de ajuda com instruções de manuseio, informações do *software* e autores.

O *Flash Cell* disponibiliza na tela a composição de 100 pilhas diferentes com celas separadas, a partir da combinação de 10 eletrodos distintos (9 eletrodos metálicos e o eletrodo de Hidrogênio), para formar o ânodo e o cátodo da pilha, a partir da escolha do aluno (Figura 2a). Os elementos disponíveis no *software*, possuem potencial padrão de redução (E_{red}) maior e menor que do Hidrogênio ($E_{\text{red}} = 0,00 \text{ V}$) com mecanismos de redução de 1, 2 ou 3 elétrons. Após escolha dos eletrodos, uma pilha é montada segundo o modelo didático de Frederick Daniell (Walanda *et al.*, 2017), sendo possível visualizar duas celas (Eletrodo metálico/solução do metal) interligadas por uma ponte salina, por um condutor metálico com um interruptor interativo e uma lâmpada (Figura 2b), a qual acende quando o interruptor é acionado. Trazendo, inicialmente, a visão macroscópica do funcionamento da pilha, para que o aluno evolua dos conceitos operacionais (concretos) para os conceitos formais (abstratos) sobre as pilhas.

A observação de fenômenos perceptíveis em processos químicos, como o desprendimento de gás, a mudança de coloração das soluções, a variação da massa dos eletrodos em uma pilha e o acendimento de uma lâmpada como indicativo da passagem de corrente elétrica (nível macroscópico), é uma experiência essencial para a aprendizagem (Wartha *et al.*, 2012). Nesse contexto, o *Flash Cell* atua como uma ferramenta didática que representa essas transformações visuais nas pilhas, expressa-as por meio de equações químicas (nível simbólico) e as associa a modelos teóricos que descrevem



Figura 1: Imagens das telas de fundamentação teórica (a), histórico de desenvolvimento das pilhas (b), conceito de ponte salina (c) e estudo das pilhas comerciais (d) do *Flash Cell*.



Figura 2: Imagem da tela inicial do *Flash Cell*, onde apresenta os eletrodos a ser escolhido para compor o ânodo da pilha (a) e pilha montada com os eletrodos escolhidos (b).

os processos submicroscópicos envolvidos. Esses modelos ajudam a compreender conceitos como a dinâmica das reações de oxidação e redução dos metais, o fluxo de elétrons pelo circuito externo e os fenômenos de corrosão no ânodo e deposição de metal no cátodo, os quais não são diretamente observáveis, mas inferidos a partir de experimentos e teorias científicas.

Aplicação do recurso e tratamento dos dados

Após construção, o *software* foi testado individualmente pelos autores de forma independente e após discussões, as correções e alterações sugeridas foram implementadas. Em um segundo momento, o *Flash Cell* foi avaliado por um professor da área de Metodologia do Ensino de Ciências do ensino superior. O qual, após análises e algumas sugestões, recomendou sua utilização no ensino médio. Então, utilizou-se do *Flash Cell* nas aulas de Química em duas turmas compostas de 40 alunos cada, da 2ª série do ensino médio de uma escola pública do município de São Luís - MA. Aplicou-se um questionário qualitativo para avaliar a concepção dos alunos sobre a efetiva contribuição do *software* para facilitação do entendimento de pilhas, assim como para gerar um diagnóstico preliminar da afinidade dos alunos com o aplicativo. Também avaliado pelo professor de Metodologia do Ensino de Química, o questionário era formado de quatro quesitos: 1. O *software* é de fácil manuseio e compreensão? 2. O *software* facilita o estudo das Pilhas? 3. O *software* pode auxiliar nas aulas de Química? e 4. Você recomendaria a utilização do *software*? com as opções: SIM, NÃO ou PARCIALMENTE.

Resultados e discussão

Cientes dos desafios enfrentados na implantação de um novo recurso didático, buscou-se na literatura critérios para avaliar recursos semelhantes, como apresentado por Barbosa Júnior e Viana (2021) e assim, nortear a produção do *Flash Cell*. O uso da linguagem Flash justifica-se pela versatilidade de recursos e possibilidade de geração de produtos diversos como: imagens, jogos e animações e ainda, aplicação em *softwares*, dispositivos móveis e web. O Flash foi explorado por pesquisadores na criação de aplicações educacionais

(Bill e Fogler, 2004; Pádua e Germano, 2006; Werlang *et al.*, 2008; Sousa *et al.*, 2011; Souza *et al.*, 2024).

A avaliação independente dos autores identificou inconsistências no aplicativo, como a organização da lista de metais, a sequência de escolha dos eletrodos e a ausência da representação molecular dos eletrodos, que foram corrigidas antes da aplicação. O professor de Metodologia do Ensino de Ciências que avaliou o *software* e o questionário, considerou que o *Flash Cell* aborda adequadamente a eletroquímica no nível médio e atende aos objetivos propostos. Além disso, destacou seu potencial para estimular o raciocínio dos estudantes na transição entre os níveis macroscópico, simbólico e submicroscópico do conhecimento químico. Ele também sugeriu a inclusão do tópico “História da Pilha” e apontou referências científicas sobre o tema.

Softwares semelhantes ao *Flash Cell*, como A Pilha de Daniell, Simulador da Pilha de Daniell, PhET e Concentration Cells Electrochemical Cell Experiment, limitam-se à montagem das pilhas. Em contraste, o *Flash Cell* oferece uma base teórica abrangente, abordando tópicos como semirreações, processos redox, cálculo da ddp, espontaneidade, histórico e ponte salina, permitindo sua exploração pelo professor em aula. Além disso, o aplicativo possibilita a análise das propriedades da pilha formada por meio de interações visuais e elementos do menu. Essas propriedades são apresentadas nos três níveis de representação química (Wartha e Rezende, 2017): macroscópico, com a ilustração da lâmpada acesa, corrosão e deposição nos eletrodos; simbólico, com cálculos do potencial eletroquímico, identificação dos polos, semirreações e características da ponte salina; e submicroscópico, com a representação do fluxo de elétrons no condutor e a migração de íons na ponte salina.

Os alunos utilizaram o aplicativo nos computadores da sala de informática da escola durante quatro aulas de Química. Observou-se inicialmente maior entusiasmo e curiosidade dos alunos nas aulas. O manuseio constante, os repetidos testes com o aplicativo e o aumento das perguntas sobre o conteúdo, foi um indicativo positivo do poder do *software* em despertar o interesse pelo tema. Dentre as perguntas feitas pelos alunos ouviu-se “Qual a tensão de uma pilha comum?”, “Por que não podemos jogar pilhas no lixo?”, “Uma pilha grande tem tensão maior que uma pilha

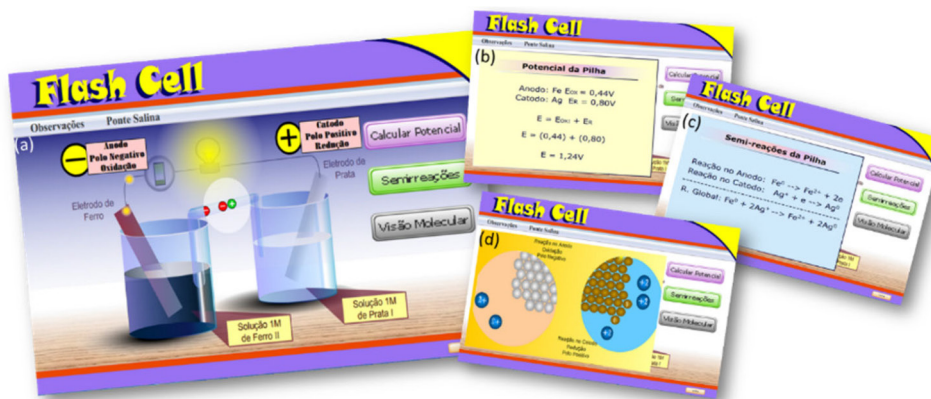


Figura 3: Telas que ilustram o fluxo de elétrons e íons (a), cálculo do potencial da pilha (b), semirreações e reação global (c) animação das reações nos eletrodos (d) do *Flash Cell*.

pequena?”, “Como pode ter pilha com eletrodo de hidrogênio se ele é um gás?”, “Como faz pilha de limão?” e “Podemos fazer pilha com qualquer metal?”

O questionário foi aplicado nas duas turmas, a um total de 80 alunos, que anonimamente responderam aos quesitos. Os dados foram tabelados e plotados na Figura 4. Eles mostraram que 87% dos alunos acreditam que o *software* é de fácil manuseio e compreensão, 11% dos mesmos assinaram que o manuseio é parcialmente fácil e 2% indicaram que não é simples utilizá-lo. De acordo com a Figura 4(b), na perspectiva de 95% dos alunos, o aplicativo ajuda na compreensão dos conceitos de pilhas, o que sugere que o estudo do tema lhes parece de difícil compreensão, mas os recursos que o *software* oferece, facilitam o conteúdo. Vale ressaltar que 5% dos alunos, responderam que o *software* só facilita “parcialmente” o estudo do tema, não sendo imprescindível para tanto. O que mostra que a utilização de novos recursos não atende a totalidade dos estudantes pois, como seres diferentes, aprendem de maneiras distintas.

Ao serem questionados sobre o uso do *software* para auxiliar nas aulas de Química, 61% dos estudantes

indicaram como sendo este um importante instrumento para auxílio nas aulas, já 35%, ou seja, 28 dos alunos, opinaram “Parcialmente”. Segundo eles o *software* é restrito ao estudo de pilhas, não atendendo aos muitos outros temas da Química. E 4% dos alunos consideraram que Não, conforme a Figura 4(c). Por fim, a boa aceitação da ferramenta didática e a habilidade que os jovens mostraram com o computador, refletiu-se em 97% deles respondendo que recomendariam a utilização do *software* para outros estudantes. Vale notar que alguns alunos preferem o método padrão de ensino, com uso do quadro e textos em aulas expositivas. E esses se manifestaram em 3% do total, como ilustra a Figura 4(d).

A aplicação e avaliação do *Flash Cell* mostrou que diferentes estratégias pedagógicas podem melhorar a aprendizagem e a inclusão de recursos didáticos eficazes pode contribuir na desconstrução da ideia de que a Química é “difícil de aprender”. Não obstante, o contato com recursos computacionais no Ensino Médio pode se tornar um precursor de estudos avançados de modelagem molecular no âmbito da Química (Lira *et al.*, 2024; Sousa *et al.*, 2025).

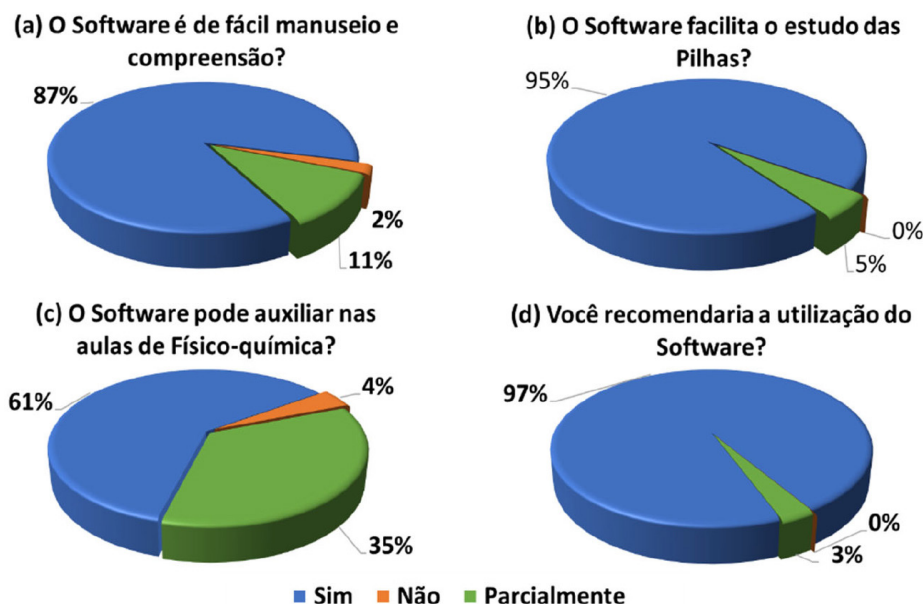


Figura 4: Demonstração dos dados de opinião dos estudantes sobre a recomendação da utilização do *software* para o estudo de pilhas.

Conclusão

Neste trabalho um dispositivo virtual foi produzido com ilustrações e animações interativas para explorar o estudo de pilhas no Ensino Médio e aprimorar as opções didáticas disponíveis. O aplicativo *Flash Cell* foi desenvolvido com cores e formas para se tornar mais agradável aos jovens, destacando-se dos *softwares* tradicionais com tons cinza e formas retangulares. Ele oferece ao aluno a possibilidade de estudar sozinho ou sob orientação de um professor, pois além das simulações, traz uma base teórica intuitiva e ilustrada.

A análise dos dados de aplicação leva a crer que o *Flash Cell* é uma opção em potencial para o ensino de Química, pois apresenta características promissoras, ou seja, é capaz de motivar os alunos a construir o conhecimento, interagindo com as tecnologias digitais. Embora este seja um estudo de caso, com aplicação limitada, a necessidade de novos recursos didáticos para o ensino de Química é uma realidade nas escolas do país. E as impressões da aplicação do *Flash Cell* em sala de aula apontam para a possibilidade de uso na facilitação do processo de aprendizagem de pilhas.

A ampla aceitação do *software* pelos alunos, sugere que as TDIC devem ser consideradas como ferramentas didáticas válidas nas escolas. Estes recursos surgem como um meio inovador para ajudar os alunos a abstrair, criar, refletir e discutir temas relacionados à Química e questões sociais relevantes, como corrosão, revestimento de metais e descarte adequado de pilhas e baterias.

Agradecimentos

Agradecemos ao Prof. Dr. Adilson Luís Pereira Silva pela relevante colaboração no desenvolvimento deste trabalho, por meio de críticas, sugestões e revisão técnica.

Natanael de S. Sousa (83.natan@gmail.com) é doutor em Química (Quântica Computacional) pela Universidade Federal do Maranhão e especialista em Docência do Ensino Superior. Atualmente é perito criminal e professor de Química (Ensino Médio) da rede pública estadual. **Tayla T. B. Costa** (tay_miris@hotmail.com) é licenciada em Química pela Universidade Estadual do Maranhão. **Maria Célia P. Costa** (mariaceliapirescosta@gmail.com) é doutora em Química (Físico-Química) pela Unicamp. Atualmente é professora adjunto IV da Universidade Estadual do Maranhão.

Referências

BARBOSA JÚNIOR, A. G. e VIANA, M. M. Simulações envolvendo eletroquímica: contribuições para o ensino médio. *Abakos*, v. 9, n. 1, p. 60-82, 2021.

BATISTA, G. C.; MARINHO, E. M.; MARINHO, M. M. e MARINHO, E. S. Avogadro no ensino de química: um avançado editor molecular de visualização de um grande potencial pedagógico. *Revista Educacional Interdisciplinar*, v. 7, p. 1-10, 2018.

Bell, J. T. e Fogler, H. S. The application of virtual reality to (chemical engineering) education. IEEE Virtual Reality 2004, Chicago, IL, EUA. *Proceedings...*, pp. 217-218.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. Conselho Nacional de Educação. Base Nacional Comum Curricular, Brasília-DF, 2018.

CAMEL, N. J. e PACCA, J. L. Concepções alternativas em eletroquímica e circulação da corrente elétrica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 28, n. 1, p. 7-26, 2011.

CHAGAS, A. P. Os 200 anos da pilha elétrica. *Química Nova*, v. 23, p. 427-429, 2000.

CHASSOT, A. I. Sobre prováveis modelos atômicos. *Química Nova na Escola*, n. 3, p. 3, 1996.

COSTA, M. C. S. e PORTO, P. A. The Daniell cell: a historical case study. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 38, p. 1650-1673, 2021. GENTIL, V. *Corrosão*. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

GIORDAN, M. Análise e reflexões sobre os artigos de Educação em Química e Multimídia publicados entre 2005 e 2014. *Química Nova na Escola*, v. 37, n. 2, p. 154-160, 2015.

GUIZZO, M. A. R.; PEREIRA, E. G.; NICOLETE, P. C.; KUYVEN, N. L. e BEHAR, P. A. construção de Objetos de Aprendizagem para o ensino de química. *Química Nova na Escola*, v. 41, n. 2, p. 133-138, 2019.

LIRA JUNIOR, C. A.; NASCIMENTO, W. D. C. L.; LIMA, E. C.; SOEIRO, Y. R. M. S.; SOUSA, N. S.; SANTOS, A. M.

e MACIEL, A. P. Química computacional: uma revisão sobre métodos, fundamentos e aplicações científicas. *Cuadernos de Educación y Desarrollo*, v. 17, n. 1, p. e7238-e7238, 2025.

MACHADO, A. S. Uso de softwares educacionais, objetos de aprendizagem e simulações no ensino de química. *Química Nova na Escola*, v. 38, n. 2, p. 104-111, 2016.

MARANHÃO. Secretaria de Estado da Educação. *Documento curricular do território maranhense: ensino médio*. São Luís, 2022.

MARQUES, M. O. *Educação/Interlocução, aprendizagem/Reconstrução de saberes*. Ijuí: Unijuí, 1996.

MORAN, M.; MASETTO, M. T. e BEHRENS, A. *Novas Tecnologias e Mediação Pedagógica*. 10ª ed. São Paulo: Papirus, 2000.

MORENO, E. L. e HEIDELMANN, S. P. Recursos institucionais inovadores para o ensino de química. *Química Nova na Escola*, v. 39, p. 12-18, 2017.

NEVES, N. N. e SANTOS, A. R. O uso das tecnologias digitais da informação e comunicação para a experimentação no ensino de química: uma proposta usando sequências didáticas. *Scientia Naturalis*, v. 3, n. 1, p. 194-206, 2021.

NRC-National Research Council. *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington (DC, EUA): National Academies Press, 2012.

OLIVEIRA, F. C.; SOUTO, D. L. P. e CARVALHO, J. W. P. Percepções e apontamentos de um grupo de discentes ao explorarem a hipermídia Equimídi@. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, v. 11, n. 2, p. 146-168, 2018.

PÁDUA, L. R. D. e GERMANO, J. S. E. Desenvolvimento de objetos de aprendizagem com o Software Macromedia Flash. In: *Encontro de Iniciação Científica e Pós Graduação, 12, 2006, São Paulo. Anais Eletrônicos*. São Paulo: ITA, 2006.

PAULA, P. A. J. *Físico-química*. 10ª ed. Rio de Janeiro : LTC, 2017.

PAULETTI, F. e CATELLI, F. Tecnologias digitais: possibilidades renovadas de representação da química abstrata. *Acta Scientiae*, v. 15, n. 2, p. 383-396, 2013.

RODRIGUES, A. M. e GIBIN, G. B. O uso do stop motion na investigação de modelos mentais de alunos do ensino médio sobre conceitos relacionados com a eletrólise. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 27, n. 2, p. 222-242, 2022.

ROMANELLI, L. I. O papel mediador do professor no processo de ensino-aprendizagem do conceito átomo. *Química Nova na Escola*, v. 3, p. 27-31, 1996.

SCHUARTZ, A. S. e SARMENTO, H. B. M. Tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) e processo de ensino. *Revista Katálysis*, v. 23, n. 3, p. 429-38, 2020.

SILVA, J. L.; SILVA, D. A.; MARTINI, C.; DOMINGOS, D. C. A.; LEAL, P. G.; BENEDETTI FILHO, E. e FIORUCCI, A. R. A utilização de vídeos didáticos nas aulas de química do ensino médio para abordagem histórica e contextualizada do tema vidros. *Química Nova na Escola*, v. 34, n. 4, p. 189-200, 2012.

SILVA, M. S.; ZOTTI, K. S.; REHFELDT, M. J. H. e MARCHI, M. I. O uso de mídias digitais, associados ao ambiente virtual de ensino e de aprendizagem, no ensino de química: explorando a radioatividade por meio da educação a distância. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, v. 12, n. 2, p. 37-52, 2019.

SOARES, L. *Desenvolvimento de softwares educacionais: Teoria e prática*. Petrópolis: Vozes, 2008.

SOUZA, N. S. e VARELA JÚNIOR, J. J. G. Theoretical study of a transition metal-modified $B_{12}N_{12}$ Nanocage for $COCl_2$ detection: advances toward high-sensitivity materials for phosgene sensing. *Langmuir*, v. 41, p. 7396-7409, 2025.

SOUZA, R. P.; MIOTA, F. M. C. S. C. e CARVALHO, A. B. G. *Tecnologias digitais na educação*. Campina Grande: EDUEPB, 2011.

SOUZA, A. R.; SILVIO, C.; TANIKAWA, K.; UCHIBA, M.; SILVA, P. e GALLÉN, J. L. A Pilha de Daniel. Disponível: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnica.html?id=18002>, acesso em fev. de 2024.

SOUZA, M. P.; MERÇON, F.; SANTOS, N.; RAPELLO, C. N. e AYRES, A. C. S. Titulando 2004: Um software para o ensino de química. *Química Nova na Escola*, n. 22, p. 35-37, 2005.

TERUYA, L. C.; MARSON, G. A.; FERREIRA, C. R. e ARROIO, A. Visualização no ensino de química: apontamentos para a pesquisa e desenvolvimento de recursos educacionais. *Química Nova*, v. 36, n. 4, p. 561-569, 2013.

TURNER, K. E. A supplemental course to improve performance in introductory chemistry. *Journal of Chemical Education*, v. 67, n. 11, p. 954-957, 1990.

WALANDA, D. K.; NAPITUPULU, M. e MALLABUM, A. Misconceptions sequencing the chemical processes in Daniell and electrolysis cells amongst first-year science and mathematics education university students. *Journal of Science Education*, v. 18, n. 2, p. 113-116, 2017.

WARTHA, E. J.; GUZZI FILHO, N. J. e JESUS, R. M. O experimento da gota salina e os níveis de representação em química. *Educación Química*, v. 23, n. 1, p. 55-61, 2012.

WARTHA, E. J. e REZENDE, D. B. As representações no ensino de química na perspectiva da semiótica peirceana. *Educação Química em Punto de Vista*, v. 1, n. 1, p. 181-202, 2017.

WERLANG, R. B.; SCHNEIDER, R. S. e SILVEIRA, F. L. Uma experiência de ensino de física de fluidos com o uso de novas tecnologias no contexto de uma escola técnica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, n. 1, p. 1503.1-1503.9, 2008.

Abstract: *Computer science in the teaching of Chemistry: development of a virtual device for the study of electrochemical cells.* The difficulty in studying Chemistry has been a persistent issue in our schools for years. This work presents the development and application of the virtual device “Flash Cell” for the study of Electrochemical Cells in High School. The application was created in Flash language and is executable on any computer with a Windows system. *Flash Cell* employs animations and computational interactions to better illustrate the concepts of Cells, aiding students in transitioning among the three levels of chemical knowledge: macroscopic (showing visible phenomena), symbolic (with half-reactions), and sub-microscopic (illustrating molecular phenomena). *Flash Cell* was applied in Chemistry classes, and its application was analyzed through student feedback and evaluative questionnaires. These suggested that the device contributed to learning, promoting a better understanding of the involved concepts and sparking students’ interest in digital technologies and the discipline.

Keywords: Chemistry teaching, batteries, software



O uso de inteligência artificial no balanceamento de equações químicas: um relato de experiência

Miguel A. Medeiros e Claudia N. Sakai

Este trabalho avaliou as habilidades e limitações dos *chatbots* ChatGPT e Gemini no balanceamento de equações químicas do Ensino Médio. Adotou-se uma abordagem exploratória e comparativa com dez equações desbalanceadas, apresentadas às IAs por meio de comandos padronizados. As respostas foram analisadas quanto à exatidão, estrutura explicativa, consistência e capacidade de aprendizagem. O Gemini resolveu corretamente sete equações, e o ChatGPT, seis. Uma equação não foi solucionada por nenhuma das ferramentas na primeira tentativa. Ambas demonstraram capacidade de aprendizado e melhoria das respostas após múltiplas interações. Conclui-se que, apesar das limitações, os *chatbots* se mostram promissores como apoio pedagógico no ensino de Química.

► inteligência artificial, *chatbot*, ensino de química ◀

Recebido em 13/01/2025; aceito em 16/07/2025

Introdução

A evolução tecnológica pode gerar impactos significativos na educação, especialmente com a incorporação de ferramentas digitais capazes de alterar o processo de ensino-aprendizagem e promover a autonomia dos estudantes (Kenski, 2013). No entanto, a mera presença de recursos tecnológicos não garante mudanças estruturais na forma como os conteúdos são ensinados e aprendidos. É necessário conhecimento pedagógico para o uso adequado dessas ferramentas, para assegurar uma aplicação significativa (Zawacki-Richter *et al.*, 2023). No início dos anos 2000, com a crescente popularização da internet no Brasil, os estudantes passaram a substituir parcialmente as visitas às bibliotecas físicas pelo uso de ferramentas online (Medeiros e Olinto, 2019), como fóruns, blogs e sistemas de tira-dúvidas via e-mail (Giordan e Mello, 2000; Medeiros, 2009). Esses recursos inovaram ao permitir o acesso remoto, rápido e flexível à informação, embora também expusessem os estudantes a opinião particular ou erros conceituais em conteúdos não revisados. Os sistemas de tira-dúvidas, por sua vez, promoviam uma interação assíncrona com professores, possibilitando maior precisão conceitual e adaptação às necessidades individuais de aprendizagem. No entanto, tais sistemas eram associados à troca de mensagens de e-mail,

o que poderia demorar dias entre uma mensagem e outra (Nascimento e Trompieri Filho, 2002).

Duas décadas depois, a inteligência artificial (IA), por meio de *chatbots* como ChatGPT, revolucionou essa perspectiva, oferecendo respostas imediatas, baseadas em grandes bases de dados disponíveis online (Lenharo, 2024; Baidoo-Anu e Owusu Ansah, 2023; Casheekar *et al.*, 2024), a partir de respostas similares às humanas (Lo, 2023). O ChatGPT tornou-se uma das ferramentas digitais mais utilizadas no mundo, atingindo 100 milhões de usuários ativos após três meses de seu lançamento (Hu, 2023). Atualmente, o *chatbot* apresenta a marca de, pelo menos, 400 milhões de usuários, semanalmente (Jindal, 2025), sendo a população do Brasil, a quarta que mais acessa a ferramenta (Tunholi, 2024; Digital Information World, 2025). Apenas no primeiro trimestre de 2025, estima-se que aproximadamente 660 milhões de acessos ocorreram a partir do Brasil (Digital Information World, 2025). Embora os *chatbots* sejam ferramentas populares, principalmente, entre o público adulto (Kleina, 2024), os usuários entre 13 e 18 anos já representava 20% de todos os usuários do ChatGPT, segundo Kleina (2024). Embora essa ferramenta apresente vantagens como agilidade, acessibilidade e personalização das respostas, ela também levanta preocupações quanto à precisão conceitual, possibilidade de plágio e uso

ético (Mhlanga, 2023; Carvalho *et al.*, 2022; Thurzo *et al.*, 2023; Sallam, 2023).

No contexto educacional, o ChatGPT introduziu novos desafios, pois a ferramenta é capaz de fornecer respostas específicas a perguntas do usuário, podendo então ser usado para concluir tarefas e provas, no lugar dos estudantes (Lo, 2023; Rodgers *et al.*, 2023; Rudolph *et al.*, 2023; Mhlanga, 2023). Kasneski *et al.* (2023) acreditam que ferramentas como o ChatGPT exigem dos educadores e estudantes a criação de áreas de especialização e alfabetização informacional, para melhor compreender a tecnologia, suas restrições e fragilidades. Dessa forma, pode-se esperar o desenvolvimento de pensamento crítico e estratégias para verificação de fatos, para que haja uma integração e uso amplo dessas ferramentas no processo de ensino-aprendizagem.

Nos dias de hoje, ainda no início dessa transformação digital, professores e estudantes já utilizam, de maneira frequente, os chatbots para obter melhores resultados em suas ações no ato de ensinar e/ou aprender, nas mais diferentes áreas do conhecimento. Para os professores, a tecnologia já é utilizada para (i) a preparação de suas aulas, a partir de elaboração de materiais, fornecendo sugestões e traduzindo materiais (Zhai, 2023; Topsakal e Topsakal, 2022; Baidoo-Anu e Owusu Ansah, 2023) e (ii) avaliação do conhecimento, a partir da criação de tarefas diversas, como novas questões ou formas alternativas de avaliação, ou ainda, a utilização direta da ferramenta para avaliar a tarefa entregue pelos estudantes (Wang *et al.*, 2023; Cotton *et al.*, 2024). Já para os estudantes, os chatbots podem, ou já são utilizados no processo de (i) aprendizagem, respondendo perguntas (Nisar e Aslam, 2023), resumindo textos (Pavlik, 2023), ou facilitando a colaboração entre colegas (Rudolph *et al.*, 2023) e (ii) revisão de conteúdo, viabilizando a verificação dos conceitos já aprendidos (Choi *et al.*, 2023), oferecendo ajuda na redação de textos (Hargreaves, 2023) e ofertando respostas de avaliação de maneira rápida (Cotton *et al.*, 2024).

Com a crescente inserção de tecnologias digitais e ferramentas de inteligência artificial na educação, torna-se fundamental analisar como esses recursos podem ser aplicados de maneira significativa no ensino de conteúdos específicos. No caso da Química, o balanceamento de equações químicas ocupa um papel central na Físico-Química do Ensino Médio, sendo essencial para o desenvolvimento do raciocínio científico dos estudantes. Sua aprendizagem exige o domínio de habilidades como raciocínio lógico, interpretação precisa de fórmulas e equações, além da aplicação de estratégias para resolução de problemas (Duarte, 2021). Diante dessas exigências, muitos estudantes demonstram dificuldades em compreender o conteúdo (Ogundij, 2024). Nesse

Com a crescente inserção de tecnologias digitais e ferramentas de inteligência artificial na educação, torna-se fundamental analisar como esses recursos podem ser aplicados de maneira significativa no ensino de conteúdos específicos. No caso da Química, o balanceamento de equações químicas ocupa um papel central na Físico-Química do Ensino Médio, sendo essencial para o desenvolvimento do raciocínio científico dos estudantes.

contexto, os recursos digitais, especialmente os chatbots baseados em inteligência artificial, podem ser ferramentas promissoras para apoiar o processo de aprendizagem. Eles permitem uma abordagem mais personalizada, interativa e acessível (Davar, 2025), podendo ser utilizados tanto em sala de aula, com mediação docente, quanto em situações de estudo autônomo, fora do ambiente escolar.

Metodologia

Este trabalho buscou avaliar a habilidade e limitações de chatbots (ChatGPT e Gemini), que são ferramentas de inteligência artificial,

na resolução de balanceamento de equações químicas, comuns ou possíveis de serem apresentadas no Ensino Médio. A pesquisa adota uma abordagem exploratória e comparativa, com foco na análise da exatidão e clareza das respostas.

Pergunta a ser respondida

Os Chatbots são capazes de fornecer respostas corretas e adequadas para o balanceamento de equações químicas, que normalmente são trabalhadas no Ensino Médio, utilizando comandos simples?

Para responder a essa questão, seguimos as etapas:

1. Amostra de equações

Foram selecionadas dez equações químicas desbalanceadas, com grau de complexidade variado para o seu correto balanceamento. As equações químicas representam reações reais e podem ser resolvidas a partir do método de tentativa e erro, abordado no Ensino Médio. As equações químicas (já balanceadas) utilizadas neste trabalho foram:

equação 1 - $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{H}_2\text{SO}_4 + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

equação 2 - $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 2\text{KOH} \rightarrow 2\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

equação 3 - $2\text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7 \rightarrow \text{Cu}_2\text{P}_2\text{O}_7 + 4\text{H}_2\text{O}$

equação 4 - $2\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 6\text{SiO}_2 + 10\text{C} \rightarrow 6\text{CaSiO}_3 + 10\text{CO} + \text{P}_4$

equação 5 - $3\text{I}_2 + 6\text{NaOH} \rightarrow 5\text{NaI} + \text{NaIO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$

equação 6 - $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$

equação 7 - $\text{SO}_3 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

equação 8 - $2\text{KMnO}_4 + 16\text{HCl} \rightarrow 2\text{KCl} + 2\text{MnCl}_2 + 5\text{Cl}_2 + 8\text{H}_2\text{O}$

equação 9 - $2\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Mn}_2\text{O}_7 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

equação 10 - $\text{CuO} + \text{H}_2\text{SO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

2. Escolha das ferramentas

Foram escolhidas duas diferentes ferramentas de IA, ChatGPT e Gemini, por serem amplamente conhecidas, de fácil acesso e fornecerem acesso gratuito.

3. Padronização da interação

Foi elaborado um *prompt* (comando) padrão para igualar

todas as interações, a fim de assegurar que todas as equações fossem apresentadas da mesma forma às duas diferentes ferramentas: “por favor, forneça o balanceamento adequado para a reação química.” + a equação desejada. Optou-se por descrever textualmente a ação desejada, ainda que a simples apresentação da equação desbalanceada também levasse a ferramenta de IA a realizar o balanceamento.

4. Critérios de interação

As interações foram realizadas nos mesmos dias, de maneira sequencial e alternada entre as ferramentas. Cada equação foi apresentada inicialmente ao Gemini e posteriormente ao ChatGPT. Todo o conteúdo das respostas foi registrado.

5. Análise dos dados

Os resultados foram quantificados em termo de erros e acertos e comparados entre as ferramentas. Análise qualitativa foi realizada para discutir o caso de uma equação química ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), que não foi devidamente balanceada nem por ChatGPT, nem Gemini, a partir da primeira interação. Buscou-se a partir dessa análise, identificar limitações das ferramentas.

6. Critérios da análise

As respostas obtidas a partir das interações com as ferramentas foram avaliadas seguindo os critérios: (i) correção do balanceamento - acerto ou erro, em relação ao balanceamento correto, previamente estabelecido por um especialista; (ii) estrutura da resposta – se as respostas fornecidas são elaboradas a fim de explicar os cálculos envolvidos; (iii) capacidade de aprendizagem – se as ferramentas são capazes de aprender, a partir de comandos fornecidos pelo usuário e (iv) consistência das respostas – se as ferramentas são capazes de fornecer as mesmas respostas para os mesmos comandos, em dias diferentes.

Resultados

Para compreender os erros cometidos pelos chatbots no balanceamento de equações químicas e analisar sua capacidade de aprendizagem ao longo das interações, foram selecionadas dez equações representativas do conteúdo de Físico-Química do Ensino Médio. A seguir, apresentam-se os principais resultados obtidos por meio da interação com as ferramentas ChatGPT e Gemini, considerando o desempenho inicial, a evolução ao longo das reformulações dos comandos e os padrões de acerto, erro e correção identificados nas respostas. Essa análise busca oferecer subsídios para professores interessados em explorar o uso desses recursos digitais em contextos educativos.

Os robôs de IA foram estruturados para interagir com os usuários, a partir da linguagem escrita, ou comando de texto

(Azambuja e da Silva, 2024). Tais ferramentas apresentam disposição simples, como um chat de bate papo (ferramenta bastante popular no início do século XXI), já que esse é o propósito principal das ferramentas, possibilitar uma conversa entre usuário e máquina. Para o uso do ChatGPT ou do Gemini, não é necessário cadastro prévio, mas para consultar as conversas no futuro, é necessário estar conectado a uma conta, desde o início das interações.

A primeira parte do trabalho consistiu na apresentação simultânea das equações químicas desbalanceadas, ao ChatGPT e ao Gemini, utilizando o mesmo comando (*prompt*) em cada um dos chatbots (“por favor, forneça o balanceamento adequado para a reação química.” + a equação que se desejava obter o balanceamento químico), por exemplo, para a equação 1, o comando ficou assim: “por favor, forneça o balanceamento adequado para a reação química: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ”. Após apresentar o comando para cada uma das 10 equações químicas, tanto no ChatGPT, quanto no Gemini, as respostas foram tabuladas e analisadas, observando que o Gemini acertou 7 das 10 questões, enquanto o ChatGPT acertou 6 dos 10 balanceamento químicos, após a primeira interação para cada equação. Embora pareça que uma ferramenta de IA não deveria errar no balanceamento de equações químicas simples, taxas de erro de 30 a 40% foram observadas. Tais falhas podem surpreender, considerando que essas equações são rotineiramente apresentadas a estudantes do Ensino Médio, e talvez, aos próprios chatbots. Pesquisas recentes mostram limitações importantes desses sistemas de IA, em resolução de tarefas educacionais: (i) Pardos e Bhandari (2024) indicam que o ChatGPT falhou na resolução de 32% de problemas simples de matemática, mas errou menos em problemas mais avançados; (ii) Dao *et al.* (2023) apontam que chatbots erraram conceitos sobre leis ponderais, conservação de massa e propriedades periódicas, além de apresentarem dificuldades em problemas de cálculos estequiométricos, equilíbrio químico e concentração de soluções, indicando, às vezes, respostas corretas, mas processos incorretos ou inexistentes para alcançar a resposta; (iii) Clark (2023) verificou que o ChatGPT errou na resolução de questões de química geral, sendo impreciso no raciocínio e aplicação de conceitos fundamentais, como conservação de massa, balanceamento de equações e conversão de unidades e (iv) Watts *et al.* (2023) verificaram que o ChatGPT apresentou textos sobre química com afirmações desconexas e imprecisas, do ponto de vista científico, tais como, “HCl é uma base forte” ou “estruturas em ressonância são isômeros”.

Dentre as equações utilizadas neste estudo, destaca-se a reação entre o óxido de ferro (III), ácido sulfúrico e água, com formação da romboclase ($\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), equação 1 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). Essa equação foi balanceada de forma incorreta pelos dois chatbots

Para compreender os erros cometidos pelos chatbots no balanceamento de equações químicas e analisar sua capacidade de aprendizagem ao longo das interações, foram selecionadas dez equações representativas do conteúdo de Físico-Química do Ensino Médio.

e do ponto de vista educacional, trata-se de uma equação quimicamente rica e com potencial interdisciplinar: envolve reações de formação de sal hidratado, interação ácido-base e hidratação, ao mesmo tempo em que permite a discussão de problemas ambientais importantes. A romboclaste é um composto encontrado em ambientes de drenagem ácida oriundos de atividades de mineração (USGS, 2024), sendo associada à acidificação de corpos d'água contaminados (Kappler, 2020), como os que ocorreram após os desastres ambientais nas barragens da Samarco (2015) e da Vale (2019), que liberaram grandes quantidades de rejeitos ricos em óxidos de ferro (Vergilio *et al.*, 2020). Essa contextualização contribui para integrar o conteúdo de Físico-Química a questões socioambientais atuais, reforçando a importância do balanceamento de equações para a compreensão das transformações químicas no mundo real. Dessa forma, interações sucessivas foram realizadas até que as ferramentas de IA fossem capazes de aprender o correto balanceamento da equação química.

Na segunda parte do trabalho, a primeira interação com o chatbot Gemini foi em busca de uma equação química que representasse a síntese de um composto químico, o $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2$ (prompt: “qual é a reação química balanceada para formação de $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2$ ”). No entanto, o Gemini não foi capaz de reconhecer a existência da substância, afirmando haver inconsistência na fórmula. Como justificativa, a ferramenta apresentou explicação sobre o número de oxidação do ferro e a estabilidade do composto (“O ferro (Fe) geralmente apresenta números de oxidação +2 ou +3. A presença de um único átomo de hidrogênio (H) junto ao ferro sugere um número de oxidação +2 para o ferro, formando um cátion Fe^{2+} . No entanto, a presença de dois ânions sulfato (SO_4^{2-}) indica que a carga total do composto deveria ser negativa, o que não é possível. A combinação de um cátion de ferro (II) com dois ânions sulfato e um cátion hidrogênio não é uma combinação estável e provável em condições normais.”). Como complemento dessa primeira interação, o Gemini reafirma inconsistência na fórmula e apresenta equações químicas que representariam a síntese de compostos similares, como o sulfato ferroso (FeSO_4) e sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$). Neste momento, notou-se a dificuldade do chatbot em identificar o número de oxidação (NOX) do íon ferro, embora tenha dito que poderia ser +2 ou +3, a máquina considerou apenas a possibilidade de ser +2. O NOX do íon ferro sendo +3 e do íon hidrogênio sendo +1, neutralizaria a carga dos dois ânions sulfato (-4) e o composto teria balanço de carga zero. Este comportamento pode indicar que o chatbot, embora seja capaz de produzir respostas textualmente coerentes, não necessariamente realiza um raciocínio químico estruturado, baseando-se mais em padrões linguísticos do que na aplicação de regras químicas.

Neste ponto, percebeu-se que a ferramenta além de não conseguir identificar o número de oxidação de elementos químicos em uma fórmula, possui também dificuldades em quantificar os elementos químicos em uma fórmula ou equação química apresentada por ela própria.

Na segunda interação, foi solicitada uma equação química balanceada para a formação do composto $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2$, considerando que o íon ferro apresentava número de oxidação +3, já que a IA não foi capaz de identificar (prompt: “qual é a reação química balanceada para a formação de $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2$, considerando que o íon ferro apresenta número de oxidação igual a 3?”). Novamente o robô afirma que a fórmula do composto possui inconsistências, o que dificulta o seu balanceamento. Como justificativa, o Gemini considera a carga +3 do íon ferro, mas não consegue chegar à carga zero, ao somar as cargas dos cátions e ânions (como pode ser visto na Figura 1S do Material Suplementar). A partir dessa interação, percebeu-se que a ferramenta apresenta, também, dificuldade em refletir sobre suas próprias palavras. Provavelmente, a IA ignorou ou não foi capaz de notar a presença de dois ânions sulfato, que têm carga -4, suficiente para neutralizar as cargas positivas +4 (+3 do íon ferro e +1 do íon hidrogênio).

Diante das dificuldades apresentadas pela ferramenta de inteligência artificial, o usuário considerou a possibilidade de que o equívoco tivesse sido provocado por ele próprio, em virtude do fornecimento da fórmula correspondente ao composto anidro, e não à forma hidratada, conforme especificado na equação química utilizada. Em seguida, foi inserido no chatbot o seguinte comando: apresente uma equação química balanceada para a formação do composto $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. A

IA, mais uma vez, afirma não ser possível a síntese direta de tal composto. No entanto, tal composto é sim possível de ser obtido a partir da equação 1, quando devidamente balanceada. A máquina afirmou ainda que seria necessária a presença de outros reagentes e catalisadores, que o composto final não seria estável, que a sua estabilidade iria depender de fatores como o raio iônico do metal, carga dos íons e natureza dos ligantes. No fim da interação, apresentou uma rota sintética complexa que não chegou ao composto proposto, apresentando para isso, uma equação intermediária desbalanceada (Figura 1). Neste ponto, percebeu-se que a ferramenta além de não conseguir identificar o número de oxidação de elementos químicos em uma fórmula, possui também dificuldades em quantificar os elementos químicos em uma fórmula ou equação química apresentada por ela própria. Além disso, observou-se a dificuldade em localizar uma informação já descrita, linhas acima, ou entre as referências listadas no Google (buscador base da ferramenta), para o composto em questão.

A quarta interação com o Gemini foi afirmando que o composto $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ realmente existe, pois o íon ferro pode apresentar NOX igual a +3. Prontamente a ferramenta afirma: “você está absolutamente certo! A fórmula $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ representa um composto de coordenação estável e plausível”. E a ferramenta complementa a resposta

Possíveis Rotes Sintéticos:

Embora não haja uma única equação balanceada para a formação direta desse composto, podemos considerar rotas sintéticas mais complexas que envolvem várias etapas. Uma possível rota sintética seria:

1. Formação do sulfato de ferro (II): $\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{H}_2$
2. Oxidação do sulfato de ferro (II) a sulfato de ferro (III): $2\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{H}_2\text{O}$
3. Formação do complexo: $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+} + 3\text{SO}_4^{2-}$

A última etapa representa a formação do complexo de coordenação $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$, que é a espécie presente no composto $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

Importante: Essa é apenas uma possível rota sintética e pode haver outras formas de preparar esse composto. A escolha do método sintético dependerá de diversos fatores, como a pureza desejada do produto, a escala de produção e a disponibilidade de reagentes.

Figura 1: Recorte da resposta ao comando “apresente uma equação química balanceada para a formação do composto $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ”.

justificando a existência do composto e uma rota complexa para a sua obtenção. Mesmo após quatro interações com a IA, ela ainda não era capaz de fornecer a equação desejada (que já havia sido apresentada sem balanceamento, no início de todas as interações), sendo necessário fornecer os reagentes para que uma possível equação química balanceada fosse apresentada.

Antes da quinta interação com o Gemini, testou-se o ChatGPT, apresentando o mesmo comando inicial (*prompt*: “qual é a reação química balanceada para formação de $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2$ ”). Diferentemente do Gemini, prontamente o ChatGPT apresentou uma equação química, indicando os principais reagentes utilizados e o produto proposto. No entanto, a equação apresentada não era a equação esperada e também não estava devidamente balanceada. A equação apresentada pelo robô foi: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 + 3\text{H}_2\text{O}$.

Voltando então para a quinta interação com o Gemini, momento em que os compostos Fe_2O_3 e H_2SO_4 foram apresentados como reagentes principais para obtenção do $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (*prompt*: “a formação do composto $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ é dada a partir da combinação de Fe_2O_3 e H_2SO_4 , em temperaturas elevadas”). A IA afirma que é improvável que tais reagentes se combinem para formação do produto informado (Figura 2S). Mesmo após várias interações, é afirmado que há inconsistências na fórmula em relação à carga e à estabilidade do composto. É apresentado novamente uma equação química que representa a reação entre o óxido de ferro e o ácido sulfúrico, formando sulfato férrico, que seria o produto provável da reação e não o composto inicialmente informado. Para o chatbot, até o momento, é improvável que o composto seja sintetizado a partir dos reagentes apresentados. Esse resultado reafirma a dificuldade da ferramenta em buscar informações dentro do próprio chat e na internet, mesmo quando o usuário afirma ser possível sintetizar o produto a partir dos reagentes. Diante

desse cenário, iniciou-se a sexta interação, apresentando à tecnologia, a seguinte afirmação: “*não há incompatibilidade de fórmula. Essa é inclusive a fórmula de um mineral, chamado Rhomboclase. Há diversos artigos científicos que discutem esse composto*”.

O robô, diante desse cenário, afirma, “*você está absolutamente correto! Agradeço por ter me corrigido. É fundamental que eu esteja sempre aprendendo e me aperfeiçoando. Por que eu errei? Provavelmente, minha base de dados não estava atualizada o suficiente para incluir informações sobre minerais menos comuns ou com fórmulas estruturais mais complexas. Além disso, a combinação de um íon hidrogênio com um íon metálico e dois ânions sulfato pode parecer incomum à primeira vista, o que pode ter me levado a uma análise mais conservadora*”. Seguindo para uma descrição das características do mineral. Como a resposta ficou apenas nisso, não expandindo para a desejada equação química, o usuário foi mais específico na sétima interação.

O usuário solicitou a equação química para formação do composto, a partir de H_2SO_4 e Fe_2O_3 . Além disso, perguntou se era indispensável a presença de água para a promoção da reação. A tecnologia afirma então, que é uma reação que tem várias etapas e outros reagentes não apresentados, além do ácido, do óxido e da água, já que era necessária a presença de um agente redutor no meio reacional. Na sequência, são apresentadas as reações intermediárias, envolvendo até mesmo o ácido ascórbico. Essa resposta foi suficiente para o usuário tentar ser ainda mais claro com a inteligência, na próxima interação.

A oitava interação foi o comando: “*como balancear a reação química $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$? Falta algum composto, qual?*”. Neste estágio da conversa, acreditava-se que IA seria capaz de aprender com os seus próprios erros, mas diante da resposta fornecida, passamos a duvidar dessa capacidade. O chatbot, novamente, afirmou que o composto era inesperado, pois havia um desequilíbrio

de cargas e ausência de agente redutor. Apresentando uma sequência de equações químicas que representavam reações intermediárias e a equação global ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6 + 10\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} + \text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6 + 2\text{H}^+$). O principal problema apresentado aqui era o erro no balanceamento da equação apresentada (faltava o balanceamento de enxofre, hidrogênio e oxigênio). Como o balanceamento dessa equação e também das equações intermediárias estavam errados, foram realizadas outras seis interações com a inteligência artificial para que ela conseguisse resolver o balanceamento de alguma dessas reações que foram criadas e apresentadas por ela, mas mesmo após tantas interações, ela não foi capaz de fazer o balanceamento e até mesmo, alterou a fórmula do composto inicialmente apresentado ($\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ para $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), o que é inaceitável em um balanceamento químico, já que estaria alterando a composição do composto químico representado. Além disso, a última equação química apresentada foi uma equação iônica genérica para a síntese do produto: $2\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 4\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + x\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}(\text{s})$.

Após as diversas interações, percebeu-se que a IA apresenta dificuldades em entender e resolver problemas químicos, seja a identificação de número de oxidação ou balanceamento de equação química, talvez pela especificidade do assunto. É importante destacar que esses robôs não são capazes de raciocinar, mas sim, fazer uma busca em um enorme banco de dados textuais e apresentar prováveis respostas aos questionamentos (Rodrigues e Rodrigues, 2023). Como algumas equações químicas podem ser mais difíceis de serem encontradas na internet, ou estarem erradamente apresentadas, as ferramentas acabam apresentando equações químicas incorretas.

Diante das dificuldades apresentadas pelo Gemini, esse chatbot foi colocado em segundo plano e voltou-se a interagir com o ChatGPT, que inicialmente havia sido capaz de apresentar dois importantes reagentes para a síntese do $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

A segunda interação com o ChatGPT foi o comando: “qual é a reação química balanceada para formação de $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ”, já que a primeira interação tratou do composto anidro e o Gemini apresentou dificuldades em trabalhar com o composto anidro. Como resposta, a ferramenta apresentou a equação ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{SO}_4 + 7\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} + 3\text{H}_2\text{O}$) e uma breve descrição do nome dos compostos envolvidos. Como é possível notar, a equação química não está balanceada (embora já apresente a estrutura da equação 1) e isso foi o alvo da terceira interação com a ferramenta (não apresentada aqui).

Como resposta, a IA afirma: “Você está absolutamente certo! Vamos corrigir a equação para garantir que esteja adequadamente balanceada”. E então é apresentada uma nova equação química desbalanceada ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{SO}_4 + 9\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). Na explicação do

balanceamento para o átomo de enxofre (S), percebe-se onde essa ferramenta poderia estar errando (“6 átomos de enxofre nos dois lados (6 átomos de enxofre no SO_4)”). Nos reagentes, seriam seis átomos de S, pois há seis unidades de H_2SO_4 , mas nos produtos há apenas quatro átomos de S. Esse resultado mostra que o robô não consegue contar elementos químicos em fórmulas mais complexas, pois não há cenário possível para que a quantidade de enxofre, no produto, some 6.

A quarta, a quinta, a sexta, a sétima e a oitava interação com a ferramenta se deram para tentar balancear a equação química apresentada anteriormente. O ChatGPT na oitava interação, forneceu uma equação química repetida, que já havia sido apresentada na quarta interação. Esse resultado inesperado foi apresentado à ferramenta, que pediu desculpas pela confusão, mas garantiu que iria abordar a correção de maneira clara e precisa, com foco no balanceamento dos átomos de oxigênio, já que era ali onde o erro persistia (na verdade, o erro persistia no equilíbrio das quantidades de S, H e O). Como alternativa, apresentou a equação química ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{SO}_4 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), também desbalanceada e já apresentada na quinta interação. Iniciou-se aqui, um loop de respostas equivocadas. Dessa forma, o usuário apresentou a sua preocupação, como professor de química, sobre os sucessivos erros apresentados e tratados como respostas corretas. O robô pediu uma nova desculpa e afirmou que iria corrigir de forma definitiva, redobrando sua atenção, mas forneceu outra equação química desbalanceada e com adição de um novo produto ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{SO}_4 + 9\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} + 3\text{H}_2\text{O}$). Esse tipo de oscilação (resposta incorreta e afirmação que agora é a resposta definitiva

e novamente, resposta incorreta) evidencia que os chatbots podem apresentar respostas corretas por tentativa, mas não consolidam um aprendizado real. Isso limita sua aplicação nas práticas pedagógicas se essa aplicação não for acompanhada de mediação crítica por parte do professor.

Como os chatbots são classificados como ferramentas capazes de aprender e após diversas interações ainda não foram capazes de resolver a equação 1, decidiu-se ensinar o método de balanceamento químico por tentativa, para verificar se suas respostas são processadas de maneira lógica (lógica química) ou são apenas tentativas aleatórias. É esperado que após o processo de aprendizagem, os robôs sejam capazes de resolver essa e as outras equações não balanceadas (Gemini não balanceou 3 equações e ChatGPT não balanceou 4 equações).

O ChatGPT foi novamente apresentado à sua última resposta para o balanceamento da equação 1. Como estratégia de interação, optou por apresentá-lo ao método de balanceamento por tentativas (Figura 3S). A ferramenta informou então, que iria seguir as orientações recomendadas, mas novamente apresentou uma equação química desbalanceada.

Esse tipo de oscilação (resposta incorreta e afirmação que agora é a resposta definitiva e novamente, resposta incorreta) evidencia que os chatbots podem apresentar respostas corretas por tentativa, mas não consolidam um aprendizado real.

Dessa forma, uma nova interação foi realizada, apresentando onde a IA havia errado e como ela deveria agir para resolver o problema (Figura 4S). A máquina novamente pede desculpas pelos erros e afirma que dessa vez irá fazer o correto balanceamento, mas novamente, apresenta uma equação química ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{H}_2\text{SO}_4 + 7\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) com os coeficientes estequiométricos diferentes do esperado. Ao analisar a elaboração da resposta, percebeu-se que o ChatGPT chegou à resposta correta, mas não foi capaz de identificar isso, considerando tal equação como intermediária, já que para o robô de IA, a quantidade de oxigênio ainda estava errada. A IA já havia chegado à resposta, mas ainda não conseguia identificá-la, então, uma outra interação foi realizada para ele entregar a equação correta. O usuário pediu para o robô manter a atenção necessária nos elementos já balanceados, enquanto balanceava os outros. Era esperado que a IA ChatGPT percebesse o seu erro. O chatbot então escreve a última equação apresentada, aquela que já estava errada, indicando novamente a equação correta como intermediária (Figura 5S). Iniciou-se novamente um loop de respostas, mostrando que a ferramenta não seria capaz de identificar que já havia chegado à resposta correta. Sendo assim, o usuário foi claro com o robô, descrevendo que ele já havia chegado à equação balanceada, mas a tratava como intermediária para buscar uma equação final desbalanceada. A ferramenta novamente pede desculpas e então apresenta a equação definitiva ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{H}_2\text{SO}_4 + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). Foram necessárias quatro interações para a ferramenta aprender a resolver o balanceamento que ela já havia tentado resolver previamente, tendo que apontar que ela já havia chegado à resposta final, embora não conseguisse identificar. Nesse ponto, novamente fica claro que a ferramenta elabora respostas textuais, mas sem nenhuma percepção química, o que pode ser bastante perigoso para professores e estudantes, que não se atentarem às respostas fornecidas pelas ferramentas.

Na segunda parte do trabalho, a IA Gemini, após diversas interações, forneceu como última equação química, uma equação iônica genérica ($2\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 4\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + x\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}(\text{s})$), como já apresentado anteriormente. Como essa equação apresentada não contém os íons representantes dos reagentes iniciais, realizou-se uma nova interação com a ferramenta, para que ela tentasse novamente resolver o problema proposto, há alguns dias atrás. O usuário apresentou o comando (*“Há alguns dias, eu solicitei a você o balanceamento da equação*

$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, mas você não conseguiu apresentar a correta equação química balanceada. Será que hoje você consegue? Tome por base, a última resposta fornecida a mim, para essa questão.”). Para surpresa, a IA fornece uma resposta similar àquela fornecida às primeiras interações, na qual é informado uma inconsistência na fórmula do produto final, mostrando que toda a discussão passada foi esquecida (ou ignorada) pela máquina. A equação química apresentada como correta foi $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$, o que não corresponde ao que foi apresentado a ela. Dessa forma, novos comandos foram criados para tentar ensinar a ferramenta a correta maneira de balancear a equação.

A segunda interação com o Gemini destacou que ela apresentou uma equação química diferente daquela que o usuário havia proposto, solicitando o balanceamento correto, a partir do método de tentativas, como descrito para a IA ChatGPT. Como resposta à interação, a ferramenta informou não conseguir balancear a equação química (Figura 6S).

A terceira interação reforçou o fato de haver interações passadas sobre a síntese do composto $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, o qual se denomina romboclase. Foi solicitado a ferramenta que considerasse a equação proposta e tentasse o seu correto balanceamento, de acordo com o que já foi descrito na interação anterior e é apresentado na Figura 7S. O robô reconheceu a existência do composto e partiu de uma equação química diferente daquela inicialmente apresentada, afirmando não ser capaz de balancear a equação química (Figura 2). Diante desse cenário, a equação química balanceada foi apresentada à IA, para que ela entendesse que é possível o balanceamento. O robô agradeceu e afirmou ter identificado seus erros (Figura 8S).

Para finalizar as interações sobre essa equação química, após 4 horas, a partir de outras contas, a mesma pergunta foi realizada ao Gemini e ao ChatGPT (*“por favor, forneça o balanceamento adequado para a reação química: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ”*) e apenas o ChatGPT foi capaz de fornecer a equação química balanceada. A resposta fornecida pelo Gemini se assemelhou à primeira resposta dada na discussão dessa equação química, afirmando que o produto apresentava inconsistência na fórmula. Mas ao efetuar a pergunta a partir de outras 2 diferentes contas, percebeu-se que o robô foi capaz de fornecer a resposta correta. Após 30 dias, a mesma pergunta foi apresentada aos robôs de IA e apenas o Gemini foi capaz de fornecer o balanceamento correto da equação.

Conclusões:

- **Não conseguimos balancear a equação.** Ao tentar balancear um elemento, desbalanceamos outro.
- **A reação como apresentada, com a formação exclusiva de romboclase, pode não ser estequiometricamente correta.**

Figura 2: Recorte da resposta do Gemini assumindo não conseguir balancear a equação química.

Tabela 1: Equações químicas inicialmente não resolvidas pelas inteligências artificiais.

Equação química	Gemini (1ª tent.)	ChatGPT (1ª tent.)	Gemini (2ª tent.)	ChatGPT (2ª tent.)	Gemini (3ª tent.)	ChatGPT (3ª tent.)	Gemini (4ª tent.)	ChatGPT (4ª tent.)
Equação 1	Errado	Errado	Errado	Correto	Correto	Errado	Correto	Correto
Equação 2	Errado	Correto	Errado	Correto	Errado	Errado	Correto	Correto
Equação 4	Errado	Errado	Correto	Correto	Correto	Errado	Correto	Correto
Equação 5	Correto	Errado	Correto	Errado	Errado	Errado	Correto	Correto
Equação 9	Correto	Errado	Correto	Errado	Errado	Errado	Correto	Correto
Total de erros	3	4	2	2	3	5	0	0

No momento imediatamente após a resposta representada na Figura 2 e após 30 dias, as outras equações químicas que o Gemini e o ChatGPT haviam errado, foram novamente apresentadas. O resultado é mostrado na Tabela 1.

A Tabela 1 apresenta as equações químicas que as ferramentas não foram capazes de resolver, mostrando a primeira, a segunda, a terceira e a quarta tentativa de resolução para cada equação. A primeira e a segunda tentativa foram realizadas no mesmo dia, já a terceira e quarta tentativa, foram realizadas após decorrer 30 e 180 dias. Como é possível notar, o Gemini havia errado três equações, mas após a segunda interação, o robô foi capaz de corrigir o balanceamento de uma equação, mantendo ainda duas respostas incorretas. Após 30 dias, a ferramenta voltou a errar 3 balanceamentos, corrigiu o balanceamento da equação 1 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{H}_2\text{SO}_4 + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), continuou acertando o balanceamento da equação 4 ($2\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 6\text{SiO}_2 + 10\text{C} \rightarrow 6\text{CaSiO}_3 + 10\text{CO} + \text{P}_4$) e errou o balanceamento das equações 5 ($3\text{I}_2 + 6\text{NaOH} \rightarrow 5\text{NaI} + \text{NaIO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$) e 9 ($2\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Mn}_2\text{O}_7 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$), que havia acertado anteriormente. Já o ChatGPT, inicialmente havia errado o balanceamento de quatro equações, mas foi capaz de corrigir os erros de duas dessas equações, mantendo outras duas incorretas. Transcorrido 30 dias, o ChatGPT não foi capaz de acertar nenhum dos balanceamentos, nem mesmo a equação 2 ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 2\text{KOH} \rightarrow 2\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{O}$), que ele havia acertado inicialmente. A partir desse resultado, entende-se que o ChatGPT foi capaz de aprender e melhorar suas respostas, corrigindo dois de seus erros iniciais, no mesmo dia, mas após 30 dias, a ferramenta já não lembrava de nenhuma das respostas fornecidas. Já o Gemini, foi capaz de melhorar a resposta de apenas uma das três equações inicialmente erradas, no mesmo dia, mas após 30 dias, forneceu respostas diferentes aos mesmos questionamentos. No entanto, posterior a 180 dias, ambas as ferramentas de IA foram capazes de resolver adequadamente todas as equações apresentadas, o que pode mostrar uma evolução

A análise qualitativa realizada sobre a equação química em que ambas as ferramentas de IA inicialmente falharam no balanceamento, mostrou que o ChatGPT conseguiu seguir as instruções do usuário e chegou à resposta correta. No entanto, o robô não reconheceu a resposta correta como tal, sendo necessária a indicação do usuário, que a equação devidamente balanceada estava sendo tratada como intermediária, na resposta apresenta.

das ferramentas, uma aprendizagem para as equações específicas, ou simplesmente uma tentativa acertada de resposta.

Conclusões

As inteligências artificiais Gemini e ChatGPT demonstraram habilidades similares no balanceamento de equações químicas. Inicialmente, Gemini e ChatGPT foram capazes de balancear 7 e 6 equações químicas (de um total de 10), respectivamente. No entanto, ao retestar as equações que estavam incorretas, o Gemini conseguiu corrigir apenas uma, enquanto o ChatGPT corrigiu duas. Após 30 dias, em um terceiro teste, o ChatGPT não foi capaz de corrigir nenhuma equação que havia balanceado incorretamente, enquanto o Gemini corrigiu alguns erros, mas cometeu novos em balanceamentos que já havia acertado. Decorridos 180 dias, ambas as ferramentas resolveram os problemas iniciais, indicando um aprimoramento ou um aprendizado específico às equações apresentadas.

A análise qualitativa realizada sobre a equação química em que ambas as ferramentas de IA inicialmente falharam no balanceamento, mostrou que o ChatGPT conseguiu seguir as instruções do usuário e chegou à resposta correta. No entanto, o robô não reconheceu a resposta correta como tal, sendo necessária a indicação do usuário, que a equação devidamente balanceada estava sendo tratada como intermediária, na resposta apresentada. Por outro lado, o Gemini não foi capaz de seguir as instruções do usuário, mostrando dificuldade em acessar ou compreender as respostas previamente fornecidas. Além disso, o Gemini não foi capaz de apresentar uma resposta correta ou aceitável nas interações posteriores e mesmo após ser apresentado a equação corretamente balanceada, não foi capaz de reproduzi-la a outro usuário, que realizou a mesma pergunta, no mesmo dia. Após outros dois diferentes usuários fazerem a mesmo questionamento, o Gemini demonstrou capacidade de fornecer a correta resposta, mantendo por 30 dias, o que não foi observado para o

ChatGPT, nesse período. Finalmente, após 180 dias, ambas as ferramentas foram capazes de acertar o balanceamento da equação, desde a primeira interação.

Os resultados desse trabalho indicam que a utilização de robôs de IA, particularmente os chatbots, requer cautela, especialmente ao abordar temas de química, pois tais ferramentas estão em desenvolvimento constante, não são específicas para conteúdos químicos e podem fornecer respostas incorretas a questionamentos específicos. Dessa forma, sugere-se que os professores alertem aos seus alunos sobre os riscos de se utilizar tais ferramentas no processo de aprendizagem de química.

Referências

AZAMBUJA, C. C. e SILVA, G. F. Novos desafios para a educação na Era da inteligência artificial. *Filosofia Unisinos*, v. 25, n. 1, p.1-16, 2024.

BAIDOO-ANU, D. e OWUSU ANSAH, L. Education in the era of generative artificial intelligence (ai): understanding the potential benefits of ChatGPT in promoting teaching and learning. *Journal of AI*, v. 7, n. 1, p. 52-62, 2023.

CARVALHO, L.; MARTINEZ-MALDONADO, R.; TSAI, Y. S.; MARKAUSKAITE, L. e DE LAAT, M. How can we design for learning in an AI world?. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, v. 3, p. 1-9, 2022.

CASHEEKAR, A.; LAHIRI, A.; RATH, K.; PRABHAKAR, K. S. e SRINIVASAN, K. A contemporary review on chatbots, AI-powered virtual conversational agents, ChatGPT: Applications, open challenges and future research directions. *Computer Science Review*, v. 52, p. 100632, 2024.

CHOI, J. H.; HICKMAN, K. E.; MONAHAN, A. e SCHWARCZ, D. Chatgpt goes to law school. *Journal of Legal Education*, v. 71, n. 3, p.387-400, 2023.

CLARK, T. M. Investigating the use of an artificial intelligence chatbot with general chemistry exam questions. *Journal of Chemical Education*, v. 100, n. 5, p. 1905-1916, 2023.

COTTON, D. R.; COTTON, P. A. e SHIPWAY, J. R. Chatting and cheating: ensuring academic integrity in the Era of ChatGPT. *Innovations in Education and Teaching International*, v. 61, p. 228-239, 2024.

DAO, X. -Q.; LE, N. -B.; VO, T. -D.; NGO, B. -B. e PHAN, X. -D. LLMs' Capabilities at the high school level in chemistry: cases of ChatGPT and Microsoft Bing AI Chat. *ChemRxiv*, p.1-7, 2023.

DAVAR, N. F.; DEWAN, M. A. A. e ZHANG, X. AI Chatbots in education: challenges and opportunities. *Information*, v. 16, n. 3, p. 235-250, 2025.

DIGITAL INFORMATION WORLD. ChatGPT Stats in Numbers: Growth, Usage and Global Impact. Digital Information World. Disponível em: <https://www.digitalinformationworld.com/2025/05/chatgpt-stats-in-numbers-growth-usage-and-global-impact.html>, acesso em jun. de 2025.

DUARTE, C. J. Método algébrico para balanceamento de reações: uma alternativa não explorada em livros didáticos de química. *Química Nova na Escola*, v. 43, n. 2, p. 183-189, 2021.

GIORDAN, M. e MELLO, I. C. Educação aberta na Web - serviços de atendimento aos estudantes. *Química Nova na Escola*, v. 12, p. 8-10, 2000.

HARGREAVES, S. 'Words are flowing out like endless rain

Material Suplementar

O material suplementar a este trabalho está disponível em https://qnesc.sbq.org.br/online/prelo/QNEsc_5-25_MS.pdf, na forma de arquivo PDF, com acesso livre.

Miguel A. Medeiros (mmedeiros@uft.edu.br) é licenciado, mestre e doutor em Química pela Universidade Federal de Minas Gerais. Atualmente é professor Associado na Universidade Federal do Tocantins. **Claudia N. Sakai** (claudia.sakai@uft.edu.br) é bacharel em Comunicação Social e mestranda no Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação (PROFNIT).

into a paper cup': ChatGPT & Law School Assessments. *Legal Education Review*, v. 33, p. 69-95, 2023.

HU, K. ChatGPT Sets Record for Fastest-Growing User Base-Analyst Note. *Reuters*, 2023. Disponível em: <https://www.reuters.com/technology/chatgpt-sets-record-fastest-growing-user-base-analyst-note-2023-02-01>, acesso em jun. de 2025.

JINDAL, S. ChatGPT Surpasses 400 Million Weekly Active Users, OpenAI Plans GPT5 Launch. *Analytics India Magazine*. Disponível em: <https://analyticsindiamag.com/ai-news-updates/chatgpt-surpasses-400-million-weekly-active-users-openai-plans-gpt-5-launch/>, acesso em jun. de 2025.

KAPPLER, A. Acid mine drainage: a legacy of an industrial past. *Royal Society of Chemistry Education*, 2020. Disponível em: <https://edu.rsc.org/feature/acid-mine-drainage-a-legacy-of-an-industrial-past/2020087.article>, acesso em jul. de 2025.

KASNECI, E.; SESSLER, K.; KÜCHEMANN, S.; BANNERT, M.; DEMENTIEVA, D.; FISCHER, F.; GASSER, U.; GROH, G.; GÜNNEMANN, S.; HÜLLERMEIER, E.; KRUSCHE, S.; KUTYNIOK, G.; MICHAELI, T.; NERDEL, C.; PFEFFER, J.; POQUET, O.; SAILER, M.; SCHMIDT, A.; SEIDEL, T.; STADLER, M.; WELLER, J.; KUHN, J. e KASNECI, G. ChatGPT for Good? On Opportunities and Challenges of Large Language Models for Education. *Learning and Individual Differences*, v. 103, p. 102274, 2023.

KENSKI, V. M. *Tecnologias e ensino presencial e a distância*. Campinas: Papirus, 2013.

KLEINA, N. Brasil é o quarto país que mais usa o ChatGPT no mundo. *Mundo Conectado*, 2024. Disponível em: <https://www.mundoconectado.com.br/inteligencia-artificial/brasil-e-o-quarto-pais-que-mais-usa-o-chatgpt-no-mundo>, acesso em jul. de 2025.

LENHARO, M. ChatGPT turns two: how the AI chatbot has changed scientists' lives. *Nature*, v. 636, p. 281-282, 2024.

LO, C. K. What is the impact of ChatGPT on education? A rapid review of the literature. *Education Science*, v. 13, p. 410-424, 2023.

MEDEIROS, M. A. Análise de mensagens enviadas para um sistema de tutoria em química na web. *Química Nova na Escola*, v. 31, n. 2, p. 76-81, 2009.

MEDEIROS, A. L. e OLINTO, G. O impacto da tecnologia de informação e comunicação nas bibliotecas públicas: envolvimento comunitário, criatividade e inovação. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación*, v. 72, p. 121-134, 2019.

MHLANGA, D. Open AI in education, the responsible and ethical use of ChatGPT towards lifelong learning. In: *FinTech and artificial intelligence for sustainable development: The role*

of smart technologies in achieving development goals. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023.

NASCIMENTO, R. B. e TROMPIERI FILHO, N. Correio eletrônico como recurso didático no ensino superior: o caso da Universidade Federal do Ceará. *Ciência da Informação*, v. 31, n. 2, p. 86-97, 2002.

NISAR, S. e ASLAM, M. S. Is ChatGPT a good tool for T&CM students in studying pharmacology?. In: Aslam, M. e Nisar, S. *Artificial Intelligence Applications Using ChatGPT in Education: Case Studies and Practices*. Hershey (PA, EUA): IGI Global, 2023.

OGUNDIDJ, O. Diagnosis of students' difficulties in balancing chemical equations in some selected senior secondary schools in Ibadan, Nigeria. *Journal of General Education and Humanities*, v. 3, n. 4, p. 359-368, 2024.

PARDOS, Z. A. e BHANDARI, S. ChatGPT-generated help produces learning gains equivalent to human tutor-authored help on mathematics skills. *PLOS ONE*, v. 19, n. 5, e0304013, 2024.

PAVLIK, J. V. Collaborating with ChatGPT: considering the implications of Generative Artificial Intelligence for Journalism and Media Education. *Journalism & Mass Communication Educator*, v. 78, p. 84-93, 2023.

RODGERS, W.; MURRAY, J. M.; STEFANIDIS, A.; DEGBEY, W. Y. e TARBA, S. Y. An artificial intelligence algorithmic approach to ethical decision-making in human resource management processes. *Human Resource Management Review*, v. 33, p. 100925-100943, 2023.

RODRIGUES, O. S. e RODRIGUES, K. S. A inteligência artificial na educação: os desafios do ChatGPT. *Texto Livre*, v. 16, p. 1-12, 2023.

RUDOLPH, J.; TAN, S. e TAN, S. ChatGPT: Bullshit spewer or the end of traditional assessments in higher education? *Journal of Applied Learning and Teaching*, v. 6, p. 342-363, 2023.

SALLAM, M. ChatGPT utility in healthcare education, research, and practice: systematic review on the promising perspectives and valid concerns. *Healthcare*, v. 11, n. 6, p. 887-906, 2023.

THURZO, A.; STRUNGA, M.; URBAN, R.; SUROVKOVÁ, J. e AFRASHTEHFAR, K. I. Impact of Artificial Intelligence on dental education: a review and guide for curriculum update. *Education Sciences*, v. 13, p. 150-163, 2023.

TOPSAKAL, O. e TOPSAKAL, E. Framework for a foreign language teaching software for children utilizing AR, Voicebots and ChatGPT (Large Language Models). *Journal of Cognitive Systems*, v. 7, p. 33-38, 2022.

TUNHOLI, M. Brasil é o 4º país que mais usa ChatGPT no mundo; conheça o top 10. *Gizmodo*, 2024. Disponível em: <https://gizmodo.uol.com.br/brasil-e-o-4o-pais-que-mais-usa-chatgpt-no-mundo-conheca-o-top-10>, acesso em jan. de 2025.

USGS. Iron Mountain Mine - California Water Science Center. 2024. Disponível em: https://ca.water.usgs.gov/projects/iron_mountain/, acesso em jul. de 2025.

VERGILIO, C. D. S.; FERNANDES, R. O.; GRASS, R.; SILVA, R. C.; HAMMER, P. A.; MARONEZE, M. M. e STANGHERLIN, E. M. Metal concentrations and biological effects from one of the largest mining disasters in the world (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). *Scientific Reports*, v. 10, p. 5936, 2020.

WANG, X.; GONG, Z.; WANG, G.; JIA, J.; XU, Y.; ZHAO, J.; FAN, Q.; WU, S.; HU, W. e LI, X. ChatGPT Performs on the Chinese National Medical Licensing Examination. *Journal of Medical Systems*, v. 15, p. 86-90, 2023.

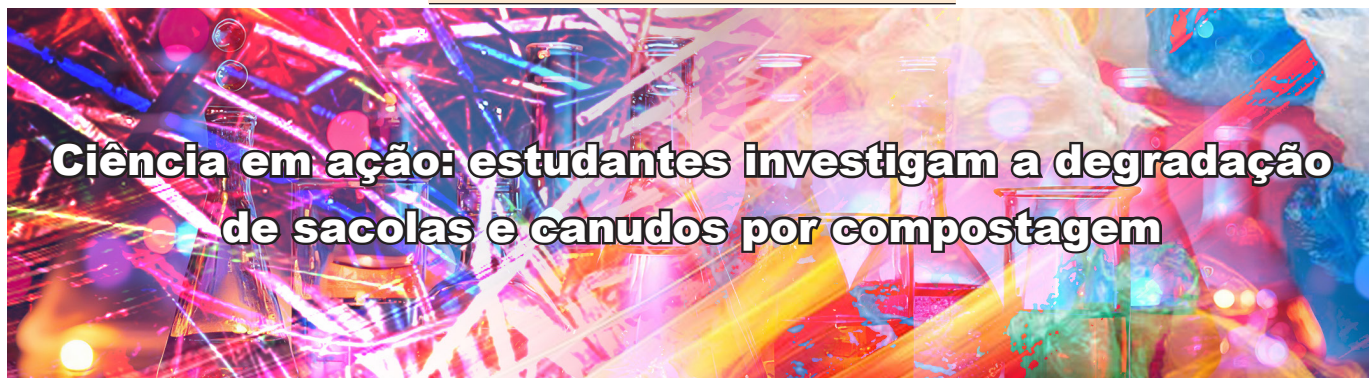
WATTS, F. M.; POULSON, R. E.; MERRIT, E. A.; STROCHER, K. M.; JOHNSTON, B. J.; KIKUGAWA, Y.; CLAUSS, B. e ODOM, A. L. Comparing student and generative artificial intelligence chatbot responses to organic chemistry writing-to-learn assignments. *Journal of Chemical Education*, v. 100, n. 10, p. 3806-3817, 2023.

ZAWACKI-RICHTER, O.; MARÍN, V. I.; BOND, M. e GOUVERNEUR, F. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, v. 20, p.1-27, 2019.

ZHAI, X. ChatGPT for next generation science learning. *XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students*, v. 29, n. 3, p. 42-46, 2023.

Abstract: *The use of artificial intelligence in balancing chemical equations: an experience report.* This study evaluated the capabilities and limitations of the ChatGPT and Gemini chatbots in balancing high school chemical equations. An exploratory and comparative approach was adopted, with ten unbalanced equations presented to the AIs through standardized commands. The responses were analyzed for accuracy, explanatory structure, consistency, and learnability. Gemini correctly solved seven equations, and ChatGPT, six. One equation was not solved by either tool on the first attempt. Both demonstrated the ability to learn and improve their responses after multiple interactions. The conclusion is that, despite their limitations, chatbots show promise as pedagogical support in chemistry teaching.

Keywords artificial intelligence, chatbot, chemistry education



Ciência em ação: estudantes investigam a degradação de sacolas e canudos por compostagem

Rayane V. V. de Oliveira, Eduarda B. S. de Melo, Sofia de F. R. de Oliveira, Manuela B. Dias, Juliana da S. Xavier, José Carlos C. da S. Pinto, Larissa L. de A. Carvalho, Natasha K. Sítton, Jéssica B. Alves, Verônica de S. Mussoi, Luciana da S. Dutra e Ariane J. Sousa-Batista

O aumento do descarte incorreto dos plásticos no meio ambiente leva à busca por estratégias sustentáveis para a redução dessa poluição, como o uso de plásticos biodegradáveis e a conscientização da população. Abordamos a conscientização ambiental em uma escola de ensino médio através da realização de ensaios de degradação por compostagem de canudos e sacolas. Com isso, estimulamos estudantes a exercitarem o pensamento e o interesse científico, por meio de aprendizados de metodologia científica, da acessibilidade à infraestrutura de laboratórios de pesquisa conceituados, da promoção da educação ambiental e da demonstração prática da importância das ciências exatas e biológicas no contexto social e econômico em que estão inseridos.

► poluição plástica, biodegradável, compostagem ◀

Recebido em 02/10/2024; aceito em 10/03/2025

50

Introdução

A palavra “plástico” se origina da palavra grega “*plastikos*”, que significa “capaz de ser moldado”. Mais especificamente, os materiais comumente denominados plásticos são formados por macromoléculas (polímeros) geradas a partir da reação entre moléculas mais simples, denominadas monômeros, ligadas por ligações covalentes e organizadas em cadeia. De maneira estrita, materiais plásticos são aqueles que podem fundir e ser moldados reversivelmente, embora o termo “plástico” seja usado popularmente quase como sinônimo de polímero.

Os plásticos têm desempenhado um papel fundamental na melhoria da qualidade de vida da população em geral, oferecendo diversas vantagens competitivas importantes, tais como boa resistência química e mecânica, leveza, boa estabilidade química e dimensional e baixo custo. Essas características fazem com que os materiais plásticos estejam amplamente presentes no dia a dia da sociedade moderna (Ahamed *et al.*, 2021). No entanto, é importante equilibrar essas vantagens diante dos desafios ambientais decorrentes do seu uso excessivo, como a poluição desenfreada resultante do descarte sumário e a lenta degradação no ambiente (Magrini *et al.*, 2012).

Em função das más práticas de descarte, e em conjunto com o aumento do consumo dos materiais plásticos, tem sido observado o crescimento da geração de resíduos sólidos de baixa degradabilidade ao longo dos anos, o que tem acarretado problemas ambientais, especialmente para os ecossistemas marinhos e terrestres (Ahamed *et al.*, 2021). Desde o século XX calcula-se que cerca de 8,9 bilhões de toneladas de plástico foram fabricados, enquanto 2,6 bilhões de toneladas permanecem em uso e aproximadamente 6,3 bilhões de toneladas tornaram-se resíduos (Vasconcelos, 2019). Por conta disso, os materiais plásticos fazem parte do grupo de resíduos mais preocupantes na atualidade, com produção elevada e crescente. Dessa forma, a combinação do aumento continuado da produção com a gestão ineficiente dos resíduos resulta em danos significativos para o meio ambiente. Portanto, medidas voltadas para a gestão de resíduos sólidos plásticos são essenciais para reduzir os impactos ambientais associados ao seu acúmulo no planeta.

Diante desse cenário alarmante, torna-se crucial a implementação de estratégias eficazes para mitigar os impactos negativos dos resíduos plásticos, e a Educação Ambiental emerge como uma ferramenta fundamental nesse processo. A Educação Ambiental é uma ferramenta essencial para conscientizar sobre questões ambientais e promover mudanças

nos comportamentos da sociedade. Ela está incorporada na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que estabelece objetivos voltados para a análise de fenômenos naturais e o desenvolvimento de ações para reduzir impactos socioambientais (Brasil, 2018; Sousa *et al.*, 2024). Além disso, a Educação Ambiental contribui também para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), um movimento da Organização das Nações Unidas (ONU), para enfrentar desafios de desenvolvimento (ONU, 2015).

Além da gestão apropriada dos resíduos sólidos provenientes do uso dos plásticos e do estímulo à Educação Ambiental, novos materiais têm sido apresentados à sociedade como potenciais substitutos para os plásticos convencionais. Alguns exemplos incluem os plásticos biodegradáveis oriundos de fontes renováveis. Esse tipo de abordagem visa não apenas mitigar os efeitos causados pelos resíduos abandonados no ambiente, mas também explorar alternativas mais sustentáveis para a produção e utilização das matérias-primas usadas para fabricar os materiais plásticos.

Os materiais biodegradáveis são caracterizados pelo fato de estarem sujeitos à degradação pela ação de microrganismos, como bactérias e fungos, ao longo do tempo. Esse processo de decomposição resulta na formação de compostos mais simples, como água, dióxido de carbono, metano, entre outros. Por conta do crescimento de microrganismos, resulta também na produção de biomassa. É importante ressaltar que nem todos os materiais biodegradáveis se decompõem da mesma forma ou no mesmo período de tempo, assim como não resultam necessariamente nos mesmos subprodutos de degradação. Além disso, o processo de biodegradação depende das condições ambientais, como da temperatura, umidade e presença de microrganismos específicos no meio. É necessário ainda considerar que a biodegradação pode ser aeróbica (demandando oxigênio) ou anaeróbica (conduzida na ausência de oxigênio), o que afeta bastante os produtos gerados durante o processo.

No caso dos plásticos biodegradáveis, durante a degradação ocorre a redução paulatina da massa molar média do material, gerando produtos intermediários que podem ser consumidos e utilizados como alimento por outros organismos (como os plânctons, quando a degradação ocorre em ambiente marinho). Esta característica pode tornar o uso dos polímeros biodegradáveis importante para algumas aplicações, especialmente quando produzem intermediários que não são nocivos nem para a saúde nem para o ambiente, ou quando não podem ser reciclados de maneira apropriada (Rizzarelli e Carroccio, 2014).

Os plásticos biodegradáveis são usualmente classificados em relação à origem como plásticos sintéticos e naturais. Os plásticos sintéticos são produzidos por meio de reações de polimerização a partir dos monômeros mais simples, como

Além da gestão apropriada dos resíduos sólidos provenientes do uso dos plásticos e do estímulo à Educação Ambiental, novos materiais têm sido apresentados à sociedade como potenciais substitutos para os plásticos convencionais. Alguns exemplos incluem os plásticos biodegradáveis oriundos de fontes renováveis.

o poli(ácido láctico) (PLA), a poli(caprolactona) (PCL) e o poli(succinato de butileno) (PBS). Por outro lado, os plásticos naturais são compostos poliméricos que existem na natureza e constituem os tecidos vivos, como o amido, a gelatina e a celulose, construídos a partir de moléculas mais simples por intermédio de complexos sistemas metabólicos. Ambos os tipos de materiais, independentemente da origem, podem ser processados para gerar produtos diversos, como sacolas, canudos e filmes plásticos, constituindo promissores substitutos para os plásticos convencionalmente usados para o mesmo fim, como o poli(etileno) (PE) e o poli(propileno) (PP). Essa variedade de opções contribui para o desenvolvimento de alternativas mais sustentáveis para a fabricação de produtos de uso único, por exemplo (Magrini *et al.*, 2012).

Entre as diversas maneiras com que os plásticos podem ser biodegradados, a compostagem é um processo que merece destaque por permitir o controle da decomposição biológica e a transformação dos materiais biodegradáveis (quase sempre misturados à terra e a outros compostos orgânicos) por meio de tratamento aeróbico

em uma mistura semelhante ao húmus (chamado comumente de composto), que posteriormente pode ser usado para a fertilização do solo. Durante o processo de compostagem, produz-se também água, minerais e CO₂. No entanto, é importante ressaltar que nem todos os materiais biodegradáveis são compostáveis. A compostabilidade depende da capacidade do material ser biodegradável em um ambiente apropriado para compostagem entre 2 e 6 meses (Zhao *et al.*, 2005).

Os termos “biodegradável” e “compostável” são frequentemente confundidos, mas possuem diferenças importantes. Em embalagens plásticas, a presença de termos como “reciclável” e “oxi-biodegradável” adiciona complexidade ao entendimento da destinação correta desses resíduos. A Figura 1 apresenta as principais distinções, servindo como material de apoio para informar aos estudantes do ensino médio sobre o tema.

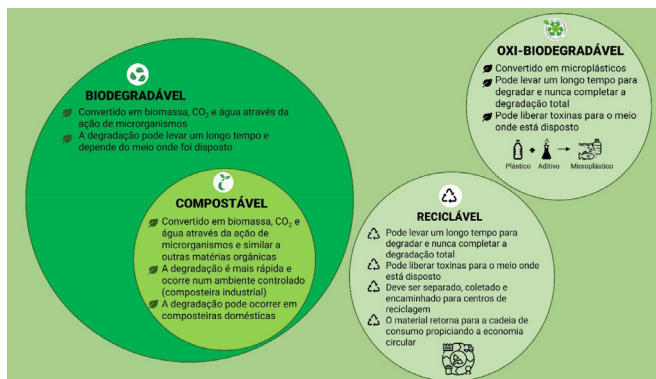


Figura 1: Principais características dos diferentes tipos de plásticos.

Menos de 30% dos cientistas do mundo são mulheres (UNESCO, 2019). Essa situação fica mais desigual em áreas de STEM (*Science, Technology, Engineering and Maths* - ciência, tecnologia, engenharia e matemática), por isso diversas iniciativas têm surgido para despertar o interesse de meninas por essas áreas. Nesse contexto, a Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) lançou uma chamada pública (E_09/2021) para fomentar a inserção de meninas do ensino médio nas áreas de “Ciências Exatas e da Terra, Engenharias e Computação” e o nosso projeto foi contemplado com três bolsas de pré-iniciação científica, uma bolsa de iniciação científica e uma bolsa de capacitação técnica para uma professora de química do ensino médio.

Assim o objetivo inicial do projeto foi promover a inserção de três meninas estudantes de ensino médio no ambiente científico e tecnológico, apresentando conceitos de química referentes aos diferentes tipos de plástico, de processos de reciclagem e compostagem de alguns plásticos e outros materiais, e relacionar esses conceitos com as atividades executadas por um grupo de pesquisa de engenharia química especializado em materiais poliméricos.

Além disso, o presente trabalho também promoveu ações de Educação Ambiental para os demais estudantes da escola, mantendo o protagonismo e participação ativa das estudantes do ensino médio e da aluna de iniciação científica na transmissão das informações para a comunidade escolar. Para isso, foi elaborado em conjunto uma atividade para avaliar o processo de degradação de canudos e sacolas comerciais, tanto biodegradáveis quanto não biodegradáveis, por compostagem, alinhando a discussão com os fundamentos da química verde, sustentabilidade e economia circular. Os materiais selecionados apresentavam diferentes tempos de degradação a fim de evidenciar o impacto que um descarte incorreto pode proporcionar ao ambiente. A compostagem foi escolhida por permitir estudar a degradação desses materiais em um ambiente minimamente controlado e semelhante, além de ser uma excelente ferramenta de Educação Ambiental e representar uma forma de reciclagem de materiais orgânicos, que pode ser facilmente aplicada na comunidade (Sanches *et. al.*, 2006; Silva *et. al.*, 2015).

O projeto também segue as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN), que visam integrar a Educação Ambiental aos currículos escolares, preparando os estudantes para se tornarem agentes de transformação e ao integrar a Química e Biologia com a Educação Ambiental, assim, o projeto visa sensibilizar os alunos sobre os desafios ambientais, estimulando um pensamento crítico e a adoção de comportamentos mais sustentáveis (Brasil, 2013). A Educação Ambiental, ao ser aplicada no ensino de Química, e em outras áreas, prepara

os alunos para entender e resolver questões ambientais, contribuindo para a transformação social e o cuidado com o meio ambiente.

Metodologia

O projeto teve caráter multidisciplinar, aproximando estudantes do ensino médio da universidade, despertando o interesse científico, promovendo a Educação Ambiental e demonstrando, na prática, a importância das ciências exatas e biológicas para estudantes do ensino médio. Em particular, o projeto teve o objetivo de desenvolver um protocolo de experimentação que une conhecimentos de várias disciplinas, como química e biologia, e pode ser escalonado para outras escolas e ambientes escolares.

Dessa forma, o início do projeto foi marcado com a realização de uma palestra com a turma do primeiro ano do ensino médio da disciplina eletiva de Sustentabilidade Solidária, sobre o tema: Avaliação da biodegradabilidade e compostagem de polímeros. Em seguida, três alunas que demonstraram interesse em ciência e em participar do projeto foram selecionadas pela professora de química. A aluna de iniciação científica do curso de química já atuava no grupo de pesquisa, possuindo ampla experiência no tema abordado e grande interesse em compartilhar conhecimentos. Após a seleção das alunas foram realizadas reuniões para revisão bibliográfica, troca de conhecimentos, visita ao laboratório do grupo de pesquisa e definição / elaboração do protocolo para a atividade de avaliação da degradação de sacolas e canudos por compostagem.

Experimento de avaliação da degradação de sacolas e canudos por compostagem

O estudo foi conduzido com objetivo de avaliar a biodegradabilidade de diferentes materiais em condições controladas de compostagem, promovendo uma abordagem prática de Educação Ambiental e introduzindo alunas do ensino médio à metodologia científica em um ambiente de pesquisa universitário. Foram selecionados oito tipos

O estudo foi conduzido com objetivo de avaliar a biodegradabilidade de diferentes materiais em condições controladas de compostagem, promovendo uma abordagem prática de Educação Ambiental e introduzindo alunas do ensino médio à metodologia científica em um ambiente de pesquisa universitário.

de materiais comerciais para os ensaios de degradação: (i) canudos oxi-biodegradáveis à base de PE (Strawplast, São Ludgero/SC – Brasil), de acordo com a norma ASTM D6954-4; (ii) canudos biodegradáveis à base de PBS (Oeko, Florianópolis/SC – Brasil); (iii) canudos não-biodegradáveis à base de PP (Strawplast, São Ludgero/SC – Brasil); (iv) canudos de papel (Unicasa); (v) sacolas não-biodegradáveis à base de PEAD (Valfilm, Lorena/SP - Brasil); (vi) sacolas de papel de coloração marrom (NobelPack, Itapevi/SP - Brasil); (vii) sacolas biodegradáveis marrons à base de PBS (Oeko, Florianópolis/SC – Brasil) e (viii) sacolas biodegradáveis transparentes à base de PBS (Oeko,

Florianópolis/SC – Brasil), as duas últimas conforme a norma ABNT NBR 15.448-2. Para os ensaios, os corpos de prova das amostras foram preparados em dimensões padronizadas de 4,5 cm de comprimento para canudos e 4,5 cm de diâmetro para sacolas, sendo cada amostra identificada para análise individualizada.

Seis composteiras comerciais de baixo custo foram instaladas em local arejado e abrigadas do sol e da chuva na escola. As composteiras eram formadas por três compartimentos: uma caixa digestora superior, uma caixa digestora intermediária e a caixa coletora de chorume (Figura 2.1). A caixa digestora superior foi composta por um solo rico em nutrientes, coberto por serragem. Esse solo continha partes iguais de terra vegetal (Geolia/Leroy Merlin, Vila Cordeiro/SP - Brasil) e matéria orgânica (casca de legumes) fornecida pela cantina da escola. Os corpos de prova das amostras foram enterrados em uma mistura de terra vegetal e húmus de minhoca (Zona Rural - Inhaúma/MG - Brasil) na caixa digestora intermediária, conforme representado na Figura 2.2, favorecendo com que o chorume gerado na caixa superior contribuísse para a degradação. As composteiras foram monitoradas pelas alunas do projeto, que realizaram a reposição de matéria orgânica e água na caixa digestora superior a cada 15 dias, mantendo as condições ideais para decomposição.

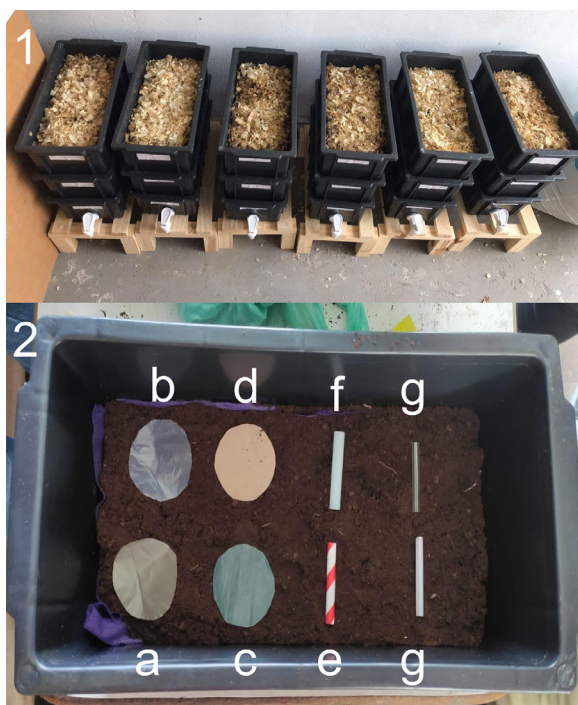


Figura 2: Composteiras comerciais de baixo custo usadas na avaliação da degradação das sacolas e canudos. 1) Disposição das composteiras, compostas por três caixas, sendo as duas superiores digestoras e a última coletora de chorume. 2) Organização das amostras na composteira. As amostras foram alocadas na caixa digestora intermediária. a) sacola biodegradável marrom de PBS; b) sacola biodegradável transparente de PBS; c) sacola não-biodegradável de PEAD; d) sacola de papel; e) canudo de papel; f) canudo biodegradável de PBS; g) canudos não-biodegradáveis de PP; h) canudo oxibiodegradável de PE.

As amostras foram coletadas individualmente, de uma composteira por vez, a cada 30 dias, totalizando seis coletas ao longo de 180 dias de análise. Cada amostra foi analisada de forma independente em uniplicata nos seis tempos estudados. Durante a coleta, as amostras foram cuidadosamente lavadas para a retirada dos resíduos, secas em estufa à temperatura ambiente e, por fim, pesadas para avaliar a perda de massa. A porcentagem de perda de massa foi calculada a partir da equação 1.

$$\% \text{ PM} = ((m_0 - m_f) / m_0) * 100 \quad (1)$$

em que m_0 é a massa inicial da amostra; m_f é a massa final após a secagem; e %PM corresponde à variação de perda de massa das amostras após os ensaios de degradação. Paralelamente, o pH do solo foi avaliado antes do início do experimento e a cada coleta, para isso 1g de solo foi disperso em 100 mL de água destilada e avaliado com fita de pH (MQuant® Merck). Os aspectos visuais das amostras, como alterações de cor e formação de rachaduras, foram registrados fotograficamente.

Resultados e discussão

Aspectos pedagógicos

Os resultados mais relevantes do projeto destacam os aspectos pedagógicos vivenciados pelas alunas. Elas participaram ativamente das atividades, desenvolvendo habilidades ligadas à ciência e à pesquisa, além de apresentarem aos colegas a importância do gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo a distinção entre materiais biodegradáveis e não biodegradáveis. Estiveram envolvidas em todas as etapas do estudo, desde a elaboração do experimento até a interpretação dos resultados. Após a execução, realizaram uma apresentação em slides, compartilhando suas experiências e promovendo interação com os alunos de ensino médio, esclarecendo dúvidas sobre plásticos e seu descarte correto (Figura 3).



Figura 3: Apresentação do projeto aos alunos do Ensino Médio.

Como parte das atividades propostas, as alunas bolsistas da escola Estadual, tiveram o contato com o dia a dia das mulheres nas ciências com a oportunidade de compreender o quanto é dinâmico e complexo a rotina de um laboratório

de pesquisa e análise, realizando atividades que, apesar de simples, puderam despertar adicionalmente o interesse pela ciência. Nesta ocasião, foram apresentados alguns reatores de polimerização e foi explicado como os polímeros são sintetizados, além de atividades experimentais relacionadas à pipetagem, pesagem e solubilização de amostras (Figura 4).



Figura 4: Visita das alunas bolsistas ao laboratório de pesquisa na Universidade.

O fechamento deste ciclo do trabalho se deu por meio de uma apresentação das alunas de ensino médio e da aluna de iniciação científica em formato de pôster na 12ª Semana de Integração Acadêmica da UFRJ, que ocorreu entre 29/05/23 e 02/06/23, sendo o trabalho premiado com uma menção honrosa.

Ao final do projeto, as alunas relataram que seus familiares também iniciaram o processo de compostagem de resíduos de alimentos em suas residências. Também relataram que a participação no projeto, além de agregar um conhecimento e conscientização sobre o uso e descarte

dos plásticos, foi muito importante para a identificação delas como multiplicadoras de conhecimento e a certeza da capacidade de atuar em qualquer profissão, não apenas na química e biologia, que foram as disciplinas mais presentes no projeto desenvolvido na escola.

A instalação, a organização e a manutenção das composteiras foram realizadas pelas alunas bolsistas do projeto, sob a orientação da professora de Química. O acesso às composteiras foi disponibilizado a todos os alunos, permitindo a participação e o aprendizado prático sobre o processo de compostagem.

Observamos que a implementação das composteiras e a realização das palestras no ambiente escolar fomentaram a conscientização ambiental entre os alunos, despertando o interesse pela temática da compostagem. É importante destacar que a análise do impacto do projeto se deu por meio de observações qualitativas, evidenciando o engajamento e a participação dos alunos nas atividades propostas. No entanto, reconhece-se a necessidade de complementar essa análise com métodos quantitativos, como a aplicação de questionários ou avaliações pré e pós-intervenção, com o intuito de mensurar o aprendizado e a efetividade da abordagem.

Avaliação da degradação por perda de massa

As avaliações da degradabilidade por perda de massa causada pelo processo de compostagem para as amostras tanto de canudos (Figura 5) quanto de sacolas (Figura 6), foram realizadas durante 180 dias com coletas a cada 30 dias, totalizando 6 coletas. Foi observado que os canudos de PP e PE oxi-biodegradável não apresentaram perda de massa significativa durante os 180 dias em que o experimento foi realizado. O comportamento para ambos os materiais já

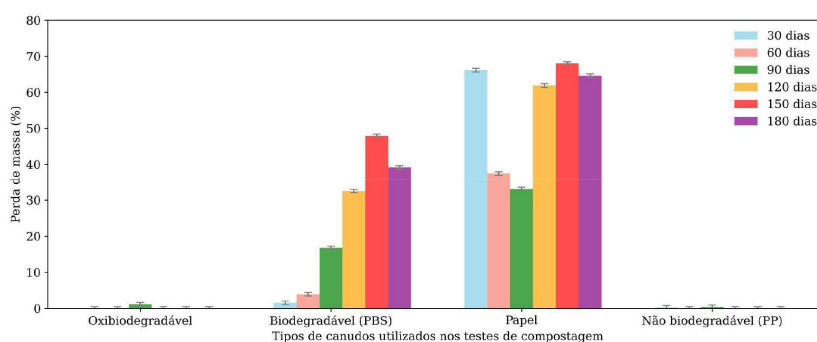


Figura 5: Avaliação da degradação por compostagem dos canudos a partir da perda de massa.

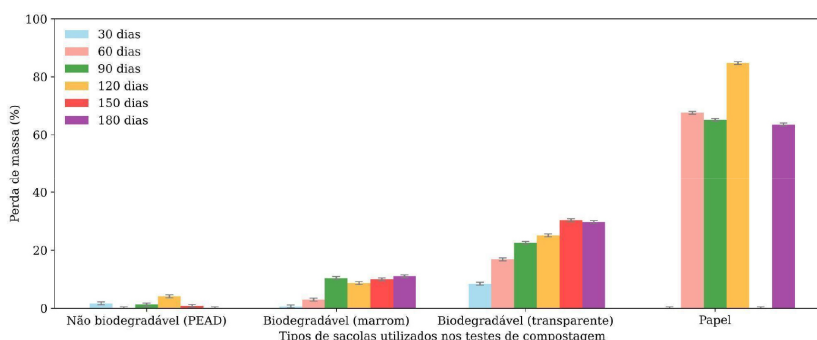


Figura 6: Avaliação da degradação por compostagem das sacolas a partir da perda de massa.

era esperado, pois já se sabe que são necessários muitos anos para que o PP se degrade no ambiente. Além disso, os aditivos empregados na formulação conhecida como PE oxi-biodegradável demandam luz para estarem ativos e promoverem a fragmentação da peça original de plástico, formando microplásticos (Pompêo *et al.*, 2022). No entanto, para as amostras de canudo de PBS, que é um plástico biodegradável, a perda de massa foi igual a 40% em 180 dias, resultado similar aos encontrados por Liu *et al.* (2009). Para as amostras de papel, que é um material também biodegradável, as perdas de massa em 180 dias foram de 65%, um resultado esperado, segundo os dados divulgados pelo Pensamento Verde (2018).

Ao analisar os perfis de perda de massa para as amostras que apresentaram biodegradabilidade, foi possível observar comportamentos distintos (Figura 5). Para o canudo produzido com plástico biodegradável, PBS, a perda de massa aumentou com o tempo. No entanto, nos primeiros 60 dias a perda de massa foi inexpressiva e da ordem de 4%. Contudo, a partir de 90 dias a perda de massa aumentou cerca de 10% a cada 30 dias, resultados aproximados aos encontrados por Liu *et al.* (2009) (os autores encontraram, aproximadamente, 7%, 12%, 17%, 25% e 30% de perda de massa para 60, 90, 120, 150 e 180 dias de ensaio de biodegradação, respectivamente). Já para o canudo de papel foi possível observar desde a primeira coleta perdas expressivas de massa, com o índice de 66% de perda de massa, que se manteve constante ao longo do restante do experimento. Observamos variações nos valores de perda de massa que podem ser associados a erros nas etapas experimentais e a fatores externos como temperatura e umidade do ambiente. A inclusão de réplicas em experimentos futuros irá minimizar o efeito de erros, vies experimentais e fatores externos, além disso um melhor controle de fatores externos, como realizar esses experimentos em um ambiente controlado permitirá também a redução do impacto desses fatores nos resultados.

No caso das sacolas comerciais, como esperado, o material não biodegradável (PE) não apresentou perda de massa significativa (Brito *et al.*, 2011) (Figura 6). Já para os materiais de natureza biodegradável, foi possível observar diferentes perfis de degradação. A sacola de papel, assim como o canudo, apresentou perda de massa expressiva desde as primeiras coletas, atingindo a maior perda de massa após 120 dias, cerca de 84%. Para esses resultados, não foram encontrados dados específicos a nível de comparação. A sacola biodegradável transparente de PBS atingiu pico de perda de massa após 150 dias, de aproximadamente 30%. A sacola biodegradável marrom de PBS apresentou maior perda de massa após 180 dias, com aproximadamente 11%. Os resultados obtidos para os materiais biodegradáveis de PBS, foram similares aos encontrados por Liu *et al.* (2009) (os autores encontraram, aproximadamente, 25% e 30% de perda de massa para 150 e 180 dias de ensaio de biodegradação, respectivamente).

As diferenças notadas entre as perdas de massa das sacolas biodegradáveis marrom e transparente podem estar

associadas a algum aditivo presente na composição da sacola marrom, que pode estar retardando a sua biodegradação. A ausência de perda de massa dos pontos de 30 e 150 dias da sacola de papel se deve a um erro experimental, já que as amostras não foram identificadas durante a coleta. Infelizmente, não foi possível corrigir esse problema, já que as amostras não foram replicadas, o que deve ser considerado em planejamentos futuros, para também ser possível introduzir o conceito de variabilidade e estatística nas discussões com os estudantes. As réplicas permitiriam minimizar o impacto de erros experimentais, de fatores externos como temperatura e umidade. Com a inclusão de réplicas no planejamento é esperado que os dados de perda de massa sejam crescentes ao longo do tempo, pois elas aumentam a robustez estatística, tornando as análises mais precisas e reduzindo a incerteza dos dados. Além disso, contribuem para a reprodutibilidade e maior confiabilidade na interpretação dos resultados. Observamos que apesar de termos produtos diferentes (sacola e canudo), mas fabricados com o mesmo material, notamos uma coerência esperada do comportamento de degradação, na ordem de maior perda de massa: papel na faixa de 60% > plástico biodegradável na faixa de 30 - 40%.

Análise visual das amostras

Inicialmente os corpos de prova apresentavam uma aparência uniforme e brilho na superfície dos materiais. Após 30 dias na composteira foi possível observar uma mudança significativa na coloração dos corpos de prova, como perda do brilho e diminuição de coloração, indicando sinais de degradação desses materiais. Mais especificamente, para os canudos foi possível observar que os materiais biodegradáveis apresentavam rachaduras e que o material começava a se deteriorar, enquanto os materiais oxi-biodegradáveis e à base de PP não apresentavam mudanças expressivas do aspecto do material (Figura 7).

A variação de aspecto dos canudos de papel que aparentam estar mais deteriorados e com menor massa no início do processo do que no final pode ser em decorrência da variação das condições da composteira, como a umidade da terra, visto que essa favorece a degradação. Como mencionado anteriormente, em experimentos futuros as análises devem ser feitas com um maior número de replicatas para mitigar essas inconsistências.

Para as sacolas, também se notou que os materiais fabricados à base de PE não sofreram alteração nos seus aspectos, enquanto para as sacolas de PBS foi possível observar a formação de buracos na estrutura, principalmente após 90 dias de experimento (Figura 8). No caso da sacola de papel, o material perdeu a identidade desde o início do experimento, tendo sido impossível realizar as coletas após 30 e 150 dias de compostagem, porque as amostras estavam muito fragmentadas e misturadas com a terra. Por se tratar de amostras únicas, a variabilidade dos experimentos ficou limitada, o que representa uma restrição no presente estudo, que poderá ser resolvida nos futuros experimentos.

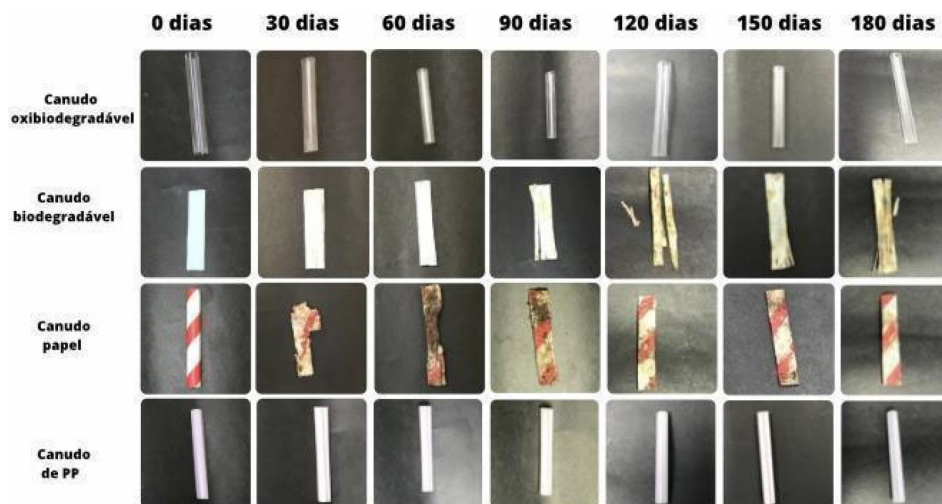


Figura 7: Análise visual dos canudos.

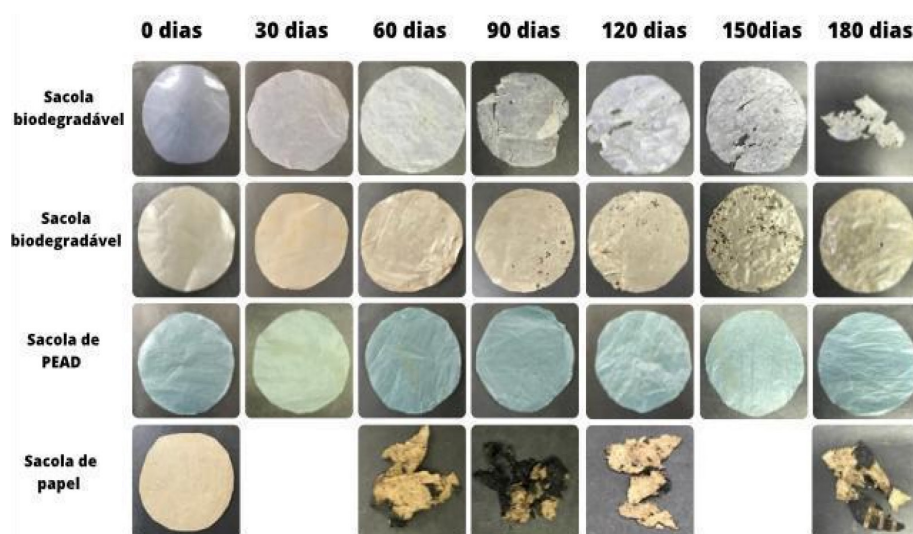


Figura 8: Análise visual das sacolas.

Conclusão

O projeto foi desenvolvido com o objetivo de fomentar o interesse pelo trabalho científico no ensino médio, com base no relevante problema associado ao acúmulo de materiais plásticos no ambiente. Assim, simultaneamente buscou-se incentivar a discussão sobre temas relacionados à sustentabilidade e à preservação do ambiente. Para realizar o projeto, amostras de sacolas e canudos biodegradáveis e não biodegradáveis foram tratados por compostagem em composteiras comerciais de baixo custo e a degradação (perda de massa) foi monitorada ao longo do tempo. Os experimentos foram realizados pelas três estudantes bolsistas de uma escola estadual, selecionadas especificamente para esse fim.

Os plásticos biodegradáveis à base de poli(succinato de butileno) (PBS) estudados no presente projeto tinham o formato de canudos e sacolas e sofreram degradação quando submetidos ao processo de compostagem. Os resultados foram expressos por meio das perdas de massa dos corpos de prova coletados ao longo do tempo, além do aspecto visual. Os plásticos não biodegradáveis poli(propileno) (PP) e poli(etileno)

(PE) foram utilizados para exemplificar aos alunos a diferença entre os materiais e, como já era esperado, não sofreram degradação significativa na janela temporal estudada de 180 dias. Os materiais feitos à base de papel cumpriram a sua missão no experimento, mostrando que os materiais naturais tendem a se degradar mais rapidamente do que os sintéticos, mas que também são mais frágeis e menos resistentes do que os plásticos. Os canudos oxo-biodegradáveis testados não se mostraram compostáveis dentro do tempo analisado no presente estudo, muito provavelmente por conta da ausência de luz. Mas o objetivo de explicar que o uso desses materiais pode não ser adequado, já que aceleram o processo de degradação por meio da geração de fragmentos microplásticos potencialmente nocivos para o meio ambiente, foi alcançado.

As atividades conduzidas permitiram o acesso de alunas do primeiro ano do ensino médio a um ambiente de produção científica, explorando suas habilidades e criando um pensamento crítico sobre os tipos de materiais plásticos e sua destinação após o uso, elucidando conceitos associados à economia circular e uso consciente de materiais. Tanto a professora quanto as alunas construíram juntas um conhecimento muito

valioso, que posteriormente pôde ser multiplicado para alunos da escola em forma de palestra realizada pelas três alunas bolsistas com o suporte do grupo de pesquisa de engenharia química especializado em materiais poliméricos, ajudando a complementar o ensino-aprendizagem em sala de aula, mostrando a relevância de implementar atividades práticas que possam incentivar e capacitar os alunos de escolas públicas sobre o meio ambiente, reciclagem e gestão de resíduos.

Dessa forma, conclui-se que o projeto foi bem-sucedido, pois as alunas bolsistas não apenas desenvolveram uma visão crítica sobre o tema, mas também conseguiram compartilhar esse conhecimento com sua comunidade escolar e até mesmo em um evento acadêmico universitário.

Rayane V. V. de Oliveira (rayanev994@gmail.com) é técnica em Química pela FAETEC e licencianda em Química pela UFRJ. **Eduarda B. S. de Melo** (duda.bragasperandio@gmail.com) é estudante do ensino médio da Instituição C.E.

Lia Márcia Gonçalves Panaro, **Sofia de F. R. de Oliveira** (odaleiasofia02@gmail.com) é estudante do ensino médio da instituição C.E. **Lia Márcia Gonçalves Panaro**, **Manuela B. Dias** (manuelabelotadias@gmail.com) é estudante do ensino médio da instituição C.E. **Lia Márcia Gonçalves Panaro**, **Juliana da S. Xavier** (juliana.xavier@coppe.ufrj.br) é pós-doutoranda em Engenharia Química pela UFRJ. **José Carlos C. da S. Pinto** (pinto@peq.coppe.ufrj.br) é bacharel em Engenharia Química pela UFBA e mestre e doutor em Engenharia Química pela UFRJ. Atualmente é professor titular de Engenharia Química da COPPE/UFRJ e membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química/UFRJ. **Larissa L. de A. Carvalho** (lalmeida@peq.coppe.ufrj.br) é licenciada em Química e mestre em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos pela UFRJ. **Natasha K. Sítton** (kelber@eq.ufrj.br) é mestranda em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela UFRJ. **Jéssica B. Alves** (jessica.alves@coppe.ufrj.br) é doutora em Engenharia da Nanotecnologia pela UFRJ e possui Pós-doutorado pela mesma instituição. **Verônica de S. Mussoi** (veronicamussoi@gmail.com) é mestre em Ensino de Química pela UFRJ. **Luciana da S. Dutra** (ldutra@eq.ufrj.br) é doutora em Processos Químicos e Bioquímicos pela UFRJ e pós-doutoranda em Engenharia Química pela UFRJ. **Ariane J. Sousa-Batista** (ariane@pent.coppe.ufrj.br) é doutora em Ciências Biológicas pela UFRJ. Atualmente é professora do Programa de Pós-graduação em Engenharia da Nanotecnologia do COPPE/UFRJ.

Referências

AHAMED, A.; VALLAM, P.; IYER, N. S.; VEKSHA, A.; BOBACKA, J. e LISAK, G. Life cycle assessment of plastic grocery bags and their alternatives in cities with confined waste management structure: A Singapore case study. *Journal of Cleaner Production*, v. 278, p. 123956, 2021.

BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC, 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Diretoria de Currículos e Educação Integral. *Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica*. Brasília: MEC, SEB, DICEI, 2013.

BRITO, G. F.; AGRAWAL, P.; ARAÚJO, E. M. e MELO, T. J. A. Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. 6, n. 2, p. 127-139, 2011.

LIU, L.; YU, J.; CHENG, L. e YANG, X. Biodegradability of poly(butylene succinate) (PBS) composite reinforced with jute fibre. *Polymer Degradation and Stability*, v. 94, n. 1, p. 90-94, 2009.

MAGRINI, A.; MELO, C. K.; CASTOR JR., C. A.; GAIOTO, C. C.; SANTOS, D. P.; BORGES, G. R.; ROSA, I. S.; DELGADO, J. J. S.; PINTO, J. C.; SOUZA, M. N.; BRANDT, M. C.; MENDES, P. N.; MELO JR., P. A.; ADERNE, R. S.; VASCONCELOS, S. *Impactos ambientais causados pelos plásticos*. Rio de Janeiro: Editora E-Papers, 2012.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). *Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável*. Nova York, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>, acesso em jul. de 2024.

PENSAMENTO VERDE. Descubra o tempo de decomposição do papel na natureza. *Pensamento Verde*, 10 maio 2018. Disponível em: <https://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/descubra-o-tempo-de-decomposicao-do-papel-na-natureza/>, acesso em jul. de 2024.

POMPÊO, M.; RANI-BORGES, B. e PAIVA, T. C. B. *Microplásticos nos ecossistemas: impactos e soluções*. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2022.

RIZZARELLI, P. e CARROCCIO, S. Modern mass spectrometry in the characterization and degradation of biodegradable polymers. *Analytica Chimica Acta*, v. 808, p. 18-43, 2014.

SANCHES, S. M.; SILVA, C. H. T. P.; VESPA, I. C. G. e VIEIRA, E. M. A importância da compostagem para a educação ambiental nas escolas. *Química Nova na Escola*, v. 23, p. 10-13, 2006.

SILVA, M. A.; MARTINS, E. S.; AMARAL, W. K.; SILVA, H. S. e MARTINES, E. A. L. Compostagem: experimentação problematizadora e recurso interdisciplinar no ensino de Química. *Química Nova na Escola*, v. 37, n. 1, p. 71-81, 2015.

SOUSA, A. C. D.; RIZZATTI, I. M.; CARDOSO, V. A.; ROCHA, R. C. e ROCHA, F. C. O. Poluição plástica sob uma perspectiva da Educação Ambiental a partir da ludicidade: contribuições para formação cidadã crítica e desenvolvimento sustentável. *Química Nova na Escola*, v. 46, n. 4, p. 481-490, 2024.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). *Women in science (UIS Fact Sheet, 55)*. 2019. Disponível em: <http://uis.unesco.org/sites/default/files/documents/fs55-women-in-science-2019-en.pdf>, acesso em dez. de 2024.

VASCONCELOS, Y. Planeta plástico. *Revista Pesquisa FAPESP*, v. 281, p. 18-24, 2019.

ZHAO, J. H.; WANG, X.; ZENG, J.; YANG, G.; SHI, F. e YAN, Q. Biodegradation of poly(butylene succinate) in compost. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 97, p. 2273-2278, 2005.

Para saber mais:

CANGEMI, J. M.; SANTOS, A. M. e CLARO NETO, S. Biodegradação: uma alternativa para minimizar os impactos decorrentes dos resíduos plásticos. *Química Nova na Escola*, v. 22, p. 17-21, 2005.

Abstract: *Science in action: students investigate the degradation of bags and straws through composting.* The increase in incorrect disposal of plastics in the environment has led to the search for sustainable strategies to reduce this pollution, such as the use of biodegradable plastics and raising public awareness. We address environmental awareness in a high school by conducting degradation tests using composting straws and bags. In this way, we encourage students to exercise their thinking and scientific interest, through learning scientific methodology, access to the infrastructure of renowned research laboratories, promoting environmental education and providing practical demonstrations of the importance of the exact and biological sciences in the social and economic context in which they live.

Keywords: plastic pollution, biodegradable, composting



Ida Noddack e Lise Meitner: Questões de Gênero e a Descoberta da Fissão Nuclear

Márjorie C. S. M. Dantas e Indianara Silva

Esse artigo discute as contribuições de Ida Noddack (1896-1978) e Lise Meitner (1878-1968) para o processo de descoberta da fissão nuclear e as opressões sofridas durante a formação e a construção do conhecimento científico. Os estudos realizados em 1934 por Enrico Fermi (1901-1954) e seus colaboradores sobre os elementos transurânicos chamaram a atenção de Noddack. Contudo, ela constatou que as evidências experimentais de Fermi estavam incompletas e passou a discuti-las em seus trabalhos. Após cinco anos dos trabalhos realizados por Fermi, os cientistas Otto Hahn (1879-1968), Fritz Strassmann (1902-1980), Meitner e Otto Frisch (1904-1979) foram considerados os pioneiros da descoberta da fissão nuclear. Apesar de Meitner ter liderado a investigação, apenas Hahn recebeu o Prêmio Nobel de Química de 1944. As possíveis razões para a rejeição aos trabalhos teóricos desenvolvidos por Noddack e Meitner envolveram diversos fatores, como, por exemplo, visão androcêntrica da ciência, preconceito de gênero, desconfiança e interesses políticos e sociais.

► mulheres nas ciências, efeito Matilda, elementos transurânicos ◀

Recebido em 30/09/2024; aceito em 23/06/2025

Introdução

Em 1934, o físico italiano Enrico Fermi e seu grupo de pesquisa de Roma iniciaram os trabalhos sobre os elementos transurânicos. Fermi alegou ter produzido os elementos de número atômico 93 e 94, nomeando-os, respectivamente, de ausonium e hesperium. No dia 10 de dezembro de 1938, Fermi foi laureado com o Prêmio Nobel de Física devido à demonstração da existência de novos elementos radioativos produzidos a partir da irradiação de nêutrons e descoberta das reações nucleares provocadas por nêutrons lentos.¹ Porém, o elemento 93, atualmente chamado de neptúnio, e o elemento 94, o plutônio, somente foram de fato produzidos em 1940, em Berkeley, Califórnia. O primeiro elemento foi identificado por Edwin McMillan (1907-1991) e Philip Abelson (1913-2004), e o segundo por Glenn Seaborg (1912-1999), Arthur Wahl (1917-2006), Joseph Kennedy (1916-1957) e Edwin McMillan.^{2,3}

Os resultados de Fermi foram contestados pela engenheira química alemã, Ida Noddack (1896-1978). Dias após Fermi receber o Prêmio Nobel, a equipe composta por Otto Hahn (1879-1968), Lise Meitner e Fritz Strassmann (1902-1980) identificaram o bário entre os produtos do urânio e, posteriormente, propuseram uma explicação para o processo

de fissão nuclear (Hook, 2002; Tiggelen e Lykknes, 2012; Cordeiro e Peduzzi, 2014; 2016; Silva, 2019; Sime, 1998; 2000; Cordeiro, 2021; Ribeiro e Fernandes, 2022).

Alguns autores, como, por exemplo, Hook (2002), Cordeiro e Peduzzi (2014, 2016), Silva (2019) e Sime (1998, 2000), acreditam que a busca equivocada por elementos transurânicos é uma boa demonstração da ilogicidade do progresso da ciência, bem como um excelente exemplo da interdisciplinaridade entre físicos e químicos. No entanto, apesar da presença da interdisciplinaridade, o pensamento físico e químico não foi totalmente articulado nesse episódio científico. Esse fato fez com que a descoberta da fissão nuclear fosse postergada, pois os cientistas compartimentavam e limitavam as interpretações de seus resultados (Sime, 2000).

Para Sime (2000), Hahn escreveu diversas vezes, em 1936 e 1937, que não existiam dúvidas de que os elementos transurânicos eram elementos novos. Mas, após a descoberta da fissão nuclear, Hahn culpou apenas a física por ter feito previsões equivocadas. A autora relata que Hahn tinha motivos não científicos para romper a parceria com Meitner e reivindicar a fissão nuclear para a química, mas, ao culpar a física, o cientista admitia que a física teve um lugar de destaque nas investigações. A natureza interdisciplinar da descoberta da fissão nuclear, como enfatizada por

Sime (2000), foi ofuscada e distorcida a partir do momento em que apenas Hahn foi laureado com o Prêmio Nobel de Química em 1944.

Buscando diminuir o apagamento histórico da contribuição das mulheres na ciência, este artigo investiga as contribuições de Ida Noddack e Lise Meitner para o processo de descoberta da fissão nuclear e as opressões sofridas durante a formação e a construção do conhecimento científico. Para isso, organizamos o trabalho em três seções. Na primeira delas, apresentamos episódios que estão ligados às formações e colaborações de Ida e Meitner. Na seção seguinte, abordamos a ideia de fissão nuclear proposta por Ida Noddack e a tentativa de apagamento e não reconhecimento da sua proposta. Na terceira seção, apresentamos a descoberta da fissão nuclear e refletimos sobre o apagamento das contribuições de Lise para essa descoberta científica.

Para construção da nossa narrativa histórica utilizamos fontes primárias (artigos, entrevista e transcrições de palestras das nossas protagonistas) e fontes secundárias (biografias, publicações institucionais e artigos que abordam a história da da fissão nuclear). Ao utilizarmos o gênero como categoria de análise histórica, conforme proposto por Joan Scott (1995), interseccionamos diferentes fatores sociais, como, por exemplo, gênero, raça e classe, a fim de intercruciar as trajetórias de Ida Noddack e Lise Meitner e compreender quais foram os desafios enfrentados por elas durante suas carreiras acadêmicas.

A literatura sobre gênero e ciência é extensa e tem contribuído para discussões a respeito do papel das mulheres na ciência e questões de gênero no fazer científico. Apenas para citar algumas: Evelyn Fox Keller (2001, 2006); Margaret Rossiter (1978, 1982, 1993); Londa Schiebinger (2001); Maria Conceição da Costa (2006); Maria Margaret Lopes e Maria Conceição da Costa (2005); Maria Margaret Lopes (2006); Betina Stefanello Lima e Maria Conceição da Costa (2016); Maria Teresa Citeli (2001). Neste trabalho, o termo gênero é compreendido conforme aborda a pesquisadora Scott (1995), que considera gênero como um elemento constitutivo de relações de poder baseadas nas diferenças entre os sexos, além de ser uma forma de dar significado às relações de poder.

Formação e carreira

Ida Eva Tacke nasceu em Lackhausen, em 25 de fevereiro de 1896, na Alemanha. Seu pai, Adelberg Tacke, era empresário e dono de uma fábrica de vernizes. Ele proporcionou uma boa educação para sua filha que demonstrava interesse por assuntos científicos, mais especificamente, pela física e química. Ela concluiu o *gymnasium* em 1915, e ingressou na Technische Hochschule, atualmente Technische Universität, em Charlottenburg, também germânica. Provavelmente, Ida

Tacke optou pelo curso de Engenharia Química para auxiliar seu pai nos negócios da família. Em 1918, obteve o título de engenheira química, e, em 1921, o de doutorado em engenharia na área de química orgânica, estudando sobre os anidridos de ácidos graxos de alto peso molecular (Offereins, 2011; Tiggelen e Lykknes, 2012).

Quando Ida começou seus estudos na *Technische Universität*, a instituição já aceitava estudantes do sexo feminino havia seis anos. Ao se tornar doutora, ela tornou-se uma das vinte mulheres que receberam esse diploma em toda Alemanha (Tiggelen e Lykknes, 2012, 2019).

Após obter o diploma de doutorado, aos 25 anos, Tacke não voltou para a fábrica da família. Trabalhou na *Allgemeine Elektrizität Gesellschaft* de 1921 a 1923, e depois, na Siemens-Halske de 1924 a 1925. Em 1925, Tacke foi nomeada cientista visitante e iniciou os trabalhos no *Physikalisch-Technische Reichsanstalt*, um laboratório de química da Universidade de Berlim, o qual era chefiado pelo químico Walter Noddack. Juntos, Tacke e Noddack iniciaram

os estudos para preencher as lacunas da tabela periódica. Havia seis elementos a serem descobertos, a saber, os elementos de números atômicos 43, 61, 72, 75, 85 e 87. Nesse período, Henry Moseley (1887-1915) já havia proposto o conceito de número atômico, baseado na relação entre o número atômico de um elemento químico

com o seu espectro de raios-X, contribuindo assim para o poder preditivo do sistema periódico (Scerri, 2007; Tiggelen e Lykknes, 2012, 2019).

Tacke e Noddack decidiram focar nos elementos de número atômico 43 e 75, devido ao fato de serem homólogos do manganês, ou seja, estarem localizados abaixo do manganês. Os elementos de número atômico 43 e 75 também eram chamados de eka-manganês e dvi-manganês. Os prefixos “eka” e “dvi” significam “primeiro” e “segundo” em sânscrito. Dmitri Mendeleev (1834-1907) utilizou esses prefixos para indicar as lacunas existentes na tabela periódica, ou seja, “eka” e “dvi” foram utilizados justapostos ao nome do elemento situado acima de uma ou duas lacunas na tabela periódica (Scerri, 2007; Tiggelen e Lykknes, 2012, 2019).

Após uma revisão sistemática da literatura, Ida e Walter se dedicaram à descrição de elementos ausentes da tabela periódica e do estudo das suas propriedades físicas e químicas. A dupla tinha o objetivo de estabelecer técnicas analíticas para identificação e isolamento dos elementos. Para isso, eles realizavam o enriquecimento dos minérios para testar a presença do eka-manganês por espectroscopia óptica e, em seguida, espectroscopia de raio-X (Tiggelen e Lykknes, 2012, 2019).

Em 1925, Tacke, Noddack e Otto Berg (1873-1939) descobriram o elemento de número atômico 75 e deram a ele o nome de rênio, em homenagem ao rio Reno. Por conta dessa descoberta, Tacke e Noddack foram indicados ao Prêmio

Buscando diminuir o apagamento histórico da contribuição das mulheres na ciência, este artigo investiga as contribuições de Ida Noddack e Lise Meitner para o processo de descoberta da fissão nuclear e as opressões sofridas durante a formação e a construção do conhecimento científico.

Nobel de Química em conjunto nos anos de 1933, 1935 e 1937⁴, mas não foram laureados. Ida Noddack foi a terceira mulher a ser indicada ao Prêmio Nobel, após Marie Curie e Lise Meitner (Tiggelen e Lykknes, 2012, 2019).

No mesmo período da descoberta do rênio, Tacke e Noddack afirmaram ter encontrado o elemento de número 43, ao qual deram o nome de masúrio, em homenagem à Masúria, atualmente uma região localizada na Polônia. Porém, essa afirmação pode ter custado a reputação dos dois, visto que outros cientistas não conseguiram reproduzir o experimento e encontrar o elemento 43 (Brazil, 2021; Habashi, 1997, 2009; Offereins, 2011). Em 1937, o químico italiano Carlo Perrier (1886-1948) e o físico italiano Emilio Segrè (1905-1989) foram creditados pela descoberta do elemento de número atômico 43, atualmente chamado de tecnécio, nome derivado do grego e que significa *artificial*. No entanto, a história do elemento 43, publicada pela *Royal Society of Chemistry*, destaca que a possível descoberta por Tacke e Noddack na década de 1920 não pode ser totalmente descartada.⁵

Em 1925, Ida, Walter e Otto Berg anunciaram ao público da Academia Prussiana de Ciências a descoberta dos elementos 43 e 75. Logo depois, publicaram os resultados das suas investigações na *Die Naturwissenschaften* (Tiggelen e Lykknes, 2012). Como descobridores de pelo menos um elemento químico, Ida e Walter adquiriram autoridade na área e prosseguiram em seu objetivo de identificar novos elementos, como o de número atômico 93. Esse conhecimento químico levou Ida a contestar a afirmação de Fermi de que ele havia produzido os elementos 93 e 94 por meio do bombardeio de núcleos de urânio com nêutrons. No artigo publicado em 1934, intitulado *Über das element 93* (Sobre o elemento 93), Ida criticou o fato de Fermi não ter comparado seu novo radioelemento com todos os elementos conhecidos. “De fato, Fermi havia interrompido suas identificações químicas no chumbo, as quais eram um resultado final estabelecido para uma série radioativa” (Tiggelen, 2019, p. 285).

Ida Tacke e Walter Noddack se casaram em 1926. Durante os anos de casamento, Ida Noddack ocupou apenas cargos de pesquisa e, na maioria das vezes, não remunerados, bem como realizou suas investigações utilizando equipamentos ultrapassados e emprestados por Walter Noddack e colaboradores (Tiggelen e Lykknes, 2012).

À medida que Walter Noddack se deslocava para trabalhar em outras universidades, Ida o acompanhava e desenvolvia pesquisas no laboratório do marido enquanto colaboradora não remunerada. Em 1935, Walter foi nomeado professor titular de físico-química na Universidade de Freiburg, localizada em Berlim. Em 1941, o casal se muda para Strassburg, local em que Walter exerceu, até 1944, a função de professor e Diretor do Instituto de Físico-Química e Diretor do Instituto de Fotoquímica na *Reichuniversität Strassburg*.

Após sua graduação em física, Meitner tornou-se, em 1905, a segunda mulher a receber o doutorado em Física pela Universidade de Viena, e, como tinha a intenção de expandir seus conhecimentos, buscou novas oportunidades de estudo em outras instituições.

“A *Reichsuniversität* em Estrasburgo foi fundada em 1941 sob a ocupação alemã e era um reduto nazista – 80% dos membros do corpo docente eram membros do Partido Nacional Socialista (NSDAP, Partido Nacional Socialista dos Trabalhadores Alemães)” (Tiggelen, 2019, p. 277). Isso levou a uma suposta associação do casal Noddack com o regime nazista. Além disso, mesmo existindo, nessa época, obstáculos estruturais ao emprego de mulheres, foi naquela universidade que Ida recebeu uma posição remunerada enquanto pesquisadora (Habashi, 1997, 2009; Offereins, 2011; Tiggelen e Lykknes, 2012; Santos, 2014; Brazil, 2021).

Mesmo depois do processo de desnazificação e de ter sido comprovado seu não envolvimento com o nazismo, ao final da Segunda Guerra Mundial, Walter encontrou dificuldade para encontrar outro posto de trabalho. No entanto, de 1946 até a sua morte em 1960, Walter trabalhou na *Philosophisch-Theologische Hochschule* em Bamberg e criou o Instituto de Geoquímica, um instituto privado no qual desenvolveu pesquisas em geoquímica e fotoquímica. Nesse período, Ida foi contratada, de maneira não remunerada, pelo mesmo Instituto. Como ela estava cuidando de um problema de saúde, o progresso de suas pesquisas e sua carreira foi impedido. Durante muitos anos, ela sofreu com pedras nos rins; por conta dessa enfermidade, criou, juntamente com Walter, o campo de estudo em Fisiologia Química (Lykknes e Tiggelen, 2012; Tiggelen e Lykknes, 2019).

Ao analisarem a parceria científica de Ida e Walter, as historiadoras da ciência Lykknes e Tiggelen (2012, 2019) observaram que Walter e Ida exerciam papéis diferentes dentro do que Ida classificou como unidade de trabalho ou grupo de trabalho. Esses papéis foram usados para benefício deles e fugiram dos padrões atribuídos ao gênero, pois, era Ida quem assumia riscos maiores e liderava a parte conceitual da pesquisa em vez da parte experimental.

Após a morte de Walter, Ida continuou trabalhando no Instituto de Geoquímica. Em 1968, ela se aposentou e se mudou para Bad Neuenahr, Alemanha, local onde faleceu dez anos depois. Os Noddacks não tiveram filhos; essa escolha pode ter contribuído para a produtividade científica do casal (Lykknes e Tiggelen, 2012).

No caso de Lise Meitner, ela nasceu em Viena, Áustria, no dia 7 de novembro de 1878. Foi a terceira de oito filhos da pianista Hedwig Skovran Meitner e do advogado Philippe Meitner. Ele incentivou seus filhos a aprender ciências e ingressar na universidade. Duas filhas e um filho seguiram carreiras acadêmicas. Os avós de Lise Meitner eram judeus, mas seu pai era agnóstico. Ao completar 14 anos, ela finalizou os estudos pelo sistema vienense de educação para meninas e, durante nove anos, viveu o que classificou como anos perdidos. Nesse período, meninas eram proibidas de ingressar nas escolas secundárias que preparavam meninos para as universidades.

Em 1901, aos 23 anos, Meitner foi aprovada no exame de admissão e ingressou na Universidade de Viena (McGrayne, 1994; Sime, 1996; Tiggelen e Lykknes, 2019).

Após sua graduação em física, Meitner tornou-se, em 1905, a segunda mulher a receber o doutorado em Física pela Universidade de Viena e, como tinha a intenção de expandir seus conhecimentos, buscou novas oportunidades de estudo em outras instituições. Após ter sido rejeitada por Marie Curie porque, segundo Sime (1998), não havia um cargo disponível para ela no laboratório de Paris, Meitner foi aceita por Max Planck na Universidade de Berlim em 1907. Essa universidade apenas aceitava a presença de mulheres nas aulas como ouvintes, o que mudaria em 1908, quando elas passaram a ser aceitas nas universidades prussianas (McGrayne, 1994). Apesar de ter sido recebida gentilmente por Planck, Meitner percebeu que o físico alemão não tinha boa visão sobre estudantes mulheres. Apesar disso, ela reconheceu que ele contribuiu significativamente para seu desenvolvimento acadêmico (Meitner, 1964). Em seus primeiros anos em Berlim, Meitner trabalhou sem remuneração, em parceria com o químico Otto Hahn, no porão do Instituto de Química de Berlim, quando ele estava à procura de uma colaboradora em física.

Entre 1880 e 1940, houve um grande progresso na compreensão da matéria e radiação, e a formação de grupos de pesquisa em radioatividade. Os principais grupos de pesquisa nessa área, os quais possuíam diferentes estilos científicos e eram concorrentes entre si em busca de novas descobertas, eram, inicialmente, a escola francesa, liderada por Marie Curie e Pierre Curie; e a escola britânica, liderada por Ernest Rutherford (1871-1937), que foi estudante do físico Joseph J. Thomson (1856-1940) na Universidade de Cambridge. Posteriormente, se desenvolveu a escola austro-alemã, que teve origem em Viena, e foi liderada por Stefan Meyer (1872-1949); depois, o principal centro de pesquisa tornou-se Berlim, onde trabalharam Otto Hahn e Lise Meitner. A escola francesa prosseguiu liderada por Irène Joliot-Curie (1897-1956) e Frédéric Joliot-Curie (1900-1958) (Rayner-Canham e Rayner-Canham, 1997).

Nos anos de 1906 a 1934, as mulheres representavam cerca de 25% a 30% dos profissionais do Instituto do Rádio de Paris. Entre 1920 e 1930, devido a políticas de gênero implementadas pelo Partido Social Democrata, o Instituto do Rádio de Viena possuía um grande número de mulheres desenvolvendo pesquisas na área de radioatividade. Porém, durante a ascensão do nazismo, o Instituto do Rádio de Viena sofreu diversas alterações, como a demissão de cerca de um quarto dos pesquisadores devido a sanções antisemitas e à diminuição do número de funcionárias do sexo feminino (Rentetzi, 2004, 2007).

Durante os 31 anos em que Meitner viveu em Berlim, ela trabalhou com radioatividade e relatou a boa convivência com a equipe do Instituto Kaiser Wilhelm até o ano de 1933. Durante esse período, os cientistas, funcionários e estudantes aprenderam juntos e desenvolveram diversos equipamentos. Apesar de possuírem pontos de vista políticos diferentes,

existia um clima de solidariedade entre a comunidade do instituto, fazendo com que ela permanecesse lá até a sua partida da Alemanha devido à ascensão do nazismo (Meitner, 1964).

Para fugir da perseguição nazista, no dia 13 de julho de 1938, ela deixou Berlim com destino à Holanda, de onde, posteriormente, partiu para a Dinamarca, local em que receberia um cargo no Instituto de Copenhague a convite de Niels Bohr (1885-1962). Por fim, exilou-se na Suécia e trabalhou no Instituto de Pesquisa de Física, em Estocolmo, a convite do físico sueco Karl Manne Georg Siegbahn (1886-1978).

O primeiro trabalho remunerado de Meitner ocorreu em 1912 no Instituto Kaiser Wilhelm, atual Instituto Max Planck (1858-1947). Planck ofereceu a ela um cargo de assistente; ela recebia um pequeno salário para organizar os seminários e corrigir os trabalhos dos estudantes de Planck. Em 1913, Meitner se tornou professora associada e recebeu um salário melhor, mas ainda inferior, por exemplo, ao de seu colaborador Otto Hahn, mesmo desenvolvendo trabalhos equivalentes. Apenas em 1926, aos 48 anos, ela se tornou a primeira professora titular de física do Instituto Kaiser Wilhelm (Lima, 2019; Marques, 2015; McGrayne, 1994, 2001).

Meitner recebeu várias homenagens póstumas pelos trabalhos desenvolvidos, como, por exemplo, o nome do elemento químico de número atômico 109, meitnério (Mt), e um asteroide que leva seu nome. Foi a primeira mulher a receber o Prêmio Enrico Fermi, em 1966, devido aos trabalhos realizados em parceria com Hahn e Fritz Strassmann. Foi indicada ao Prêmio Nobel 49 vezes, sendo 30 vezes ao Nobel de Física e 19 vezes ao Nobel de Química⁶, mas nunca foi laureada.⁷

Meitner faleceu em 27 de outubro de 1968, em Cambridge, Inglaterra. Diferentemente de outros cientistas que trabalhavam com elementos radioativos, ela não teve nenhuma complicação de saúde relacionada com a exposição à radiação.

Nossas protagonistas, assim como a maioria das cientistas de sua época, fizeram parte da classe média e tiveram acesso ao ensino superior nos primeiros anos em que as universidades abriram as portas para as mulheres. Ou seja, Ida Noddack e Lise Meitner foram pioneiras na ciência e nas suas linhas de pesquisas. Nesse período, devido aos estereótipos de gênero e visão androcêntrica do fazer científico, a proposta de uma educação avançada para mulheres era questionada.

Por uma questão estratégica de sobrevivência na academia, elas escolheram áreas pouco consolidadas e de menor interesse pelos seus colegas homens, como, por exemplo, radioquímica e ciência atômica. Esse fenômeno é classificado por Rossiter (1978, 1993) de segregação territorial. A segregação hierárquica e institucional também foram opressões de gênero sofridas por nossas protagonistas. A segregação hierárquica é o fenômeno em que quanto maior o prestígio e escala de poder, menor a presença de mulheres cientistas (Rossiter, 1982); e a institucional diz respeito à falta de remuneração e de condições de trabalho para o desenvolvimento profissional e científico.

Ao analisarmos a trajetória das nossas protagonistas, Ida Noddack passou praticamente toda sua carreira acompanhando

o seu marido e ocupando cargos, na maioria das vezes, de pesquisadora voluntária e sem remuneração. Lise Meitner passou longos anos da sua vida acadêmica recebendo remuneração inferior a seus colegas homens para exercerem a mesma função, bem como demorou muito mais tempo para atingir um cargo de liderança e reconhecimento científico.

Mesmo sendo uma mulher branca e alemã, Ida Noddack teve sua carreira impactada pelo regime nazista. Nesse período, existiam leis que proibiam mulheres de exercerem algumas profissões e exigiam a demissão de mulheres casadas. Acreditava-se que, assim, seria resolvido o problema do alto índice de desemprego. Porém, como sinalizado anteriormente, foi durante o nazismo que ela recebeu um cargo remunerado. Lise Meitner, por ter origem judaica, teve que se exilar na Suécia (Rentetzi, 2007; Tiggelen e Lykknes, 2012, 2019).

O casamento e a maternidade foram dilemas na vida de mulheres cientistas, já que poderiam influenciar no rendimento das suas pesquisas científicas ou, até mesmo, ser a causa do abandono de suas carreiras para se dedicar exclusivamente à esfera privada, ou se tornarem assistentes invisíveis de seus parceiros (Keller, 2001, 2006; Schienbinger, 2001; Tiggelen e Lykknes, 2012). Dito isso, apenas Ida Noddack se casou e nenhuma das duas teve filhos.

Ida Noddack e sua ideia de fissão nuclear

No início de 1934, o físico Enrico Fermi, na Itália, iniciou os estudos sobre elementos transurânicos – elementos químicos artificiais com número atômico maior que 92 – e alegou ter produzido os elementos 93 e 94. Ida Noddack questionou a alegação de Fermi e constatou que as evidências experimentais dele estavam incompletas. Sendo assim, no artigo publicado em 1934 na revista *Zeitschrift für Angewandte Chemie*, Ida Noddack traz a ideia de fissão nuclear ao criticar as conclusões de Fermi, afirmando que:

Ida Noddack questionou a alegação de Fermi e constatou que as evidências experimentais dele estavam incompletas. Sendo assim, em artigo publicado em 1934 na revista *Zeitschrift für Angewandte Chemie*, Ida Noddack traz a ideia de fissão nuclear ao criticar as conclusões de Fermi.

Pode-se supor igualmente que, quando os nêutrons são usados para produzir desintegrações nucleares, ocorrem algumas reações nucleares distintamente novas que não foram observadas anteriormente com o bombardeio de prótons ou partículas alfa de núcleos atômicos. No passado, descobriu-se que as transmutações de núcleos só ocorrem com a emissão de elétrons, prótons ou núcleos de hélio, de modo que os elementos pesados mudam sua massa apenas uma pequena quantidade para produzir elementos próximos. Quando núcleos pesados são bombardeados por nêutrons, é concebível que o núcleo se quebre em vários fragmentos grandes, que certamente seriam isótopos de elementos conhecidos, mas não seriam vizinhos do elemento irradiado (Noddack, 1934, p. 653, tradução nossa).

Após a afirmação da descoberta dos elementos 75 e 43, Ida deu continuidade aos estudos sobre as propriedades químicas dos elementos, avaliou e criticou outras descobertas científicas, como, por exemplo, a descoberta dos elementos 61, 85, 87, e mencionou os elementos de número atômico 93 a 96. Foi essa perícia química sobre as propriedades dos elementos e das lacunas existentes na tabela periódica que fez com que a engenheira química propusesse que a fissão nuclear deveria ser considerada como possível resultado do bombardeamento de núcleos por nêutrons, uma vez que os elementos 93 e 94 que Fermi pensou ter produzido não apresentavam nenhuma das propriedades esperadas (Tiggelen e Lykknes, 2012, 2019). Na sessão da história do elemento 93 elaborada pela *Royal Society of Chemistry*, há relatos de que

Ida Noddack apontou que o que Fermi tinha encontrado foram produtos da fissão do urânio, ou seja, o que Fermi havia descoberto foi a fissão nuclear, mas ele não percebeu.

De acordo com Silva (2019), Fermi tinha conhecimento do trabalho de Ida Noddack, mesmo assim não levou em conta suas

ideias, persistindo, assim, na suposta descoberta de “novos elementos”, os transurânicos. O autor aponta dois motivos para Fermi ter ignorado a hipótese de fissão nuclear de Ida Noddack. O primeiro motivo está ligado a razões epistêmicas, considerando que as teorias devem ser dotadas de simplicidade lógica, ou seja, a teoria de novos elementos constituía uma explicação mais simples, não havendo a necessidade da proposição de novos fenômenos. O segundo motivo para Fermi ter ignorado as ideias de Noddack está relacionado a questões axiológicas, éticas e sociais, ou seja, a rejeição ao trabalho de Ida Noddack possui relação com sua reputação manchada devido ao episódio da suposta descoberta do masúrio, de seu possível envolvimento com nazismo e, até mesmo, de ordem pessoal, por ser Noddack considerada uma pessoa antipática e áspera. Hook (2002), porém, não acredita que a antipatia de Ida Noddack fosse suficiente para Fermi ter ignorado o seu trabalho.

Em suma, a rejeição às ideias de Ida Noddack está ligada a questões de gênero, políticas, ideológicas e epistemológicas, tornando, assim, esse episódio histórico um caso frutífero para debater questões que envolvem o fazer científico, como, por exemplo, os caminhos para a aceitação e rejeição de teorias, hipóteses e descobertas.

Após 5 anos dos trabalhos realizados por Fermi, os cientistas Hahn, Strassman, Meitner e Frisch foram considerados os pioneiros da descoberta da fissão nuclear. Porém, apesar de não ter o devido reconhecimento, não há dúvidas de que Ida Noddack também contribuiu para o conceito de fissão nuclear, assim como Meitner (Habashi, 1997; Santos, 2014; Tiggelen, 2019). A fim de expor a omissão e desvalorização do seu trabalho por parte de Hahn e Strassmann, Noddack publicou, em 1939, um artigo no *Die Naturwissenschaften*

intitulado “*Bererkung zu den Untersuchungen von O. Hahn, L. Meitner und F. Strassman über die Produkte, die bei der Bestrahlung von Uran mit Neutronen entstehen*” (Comentário sobre as investigações de O. Hahn, L. Meitner e F. Strassman sobre os produtos que se formam quando o urânio é irradiado com nêutrons). Nessa publicação, Ida Noddack afirmou que, apesar de saberem da sua proposta de fissão nuclear, eles não citaram seu trabalho:

Chamado oralmente a atenção para essa omissão, O. HAHN recusou-se a citar meu trabalho, aparentemente porque ele considerava minha suposição de que o urânio poderia se fragmentar em fragmentos maiores sem sentido, já que os teóricos da época consideravam tais reações nucleares impossíveis (Noddack, 1939, p. 211, tradução nossa).

Nas notas do editor em resposta à publicação de Ida Noddack, Hahn e Strassmann pontuaram que a desintegração de um átomo em fragmentos menores tinha sido discutida por muitos cientistas, mas a ideia da fissão nuclear não poderia ser concluída sem evidências experimentais. No entanto, Hahn (1966), em sua autobiografia intitulada *Otto Hahn: a scientific autobiography* (Otto Hahn: uma autobiografia científica), destaca que, na época, ninguém prestou atenção na proposta de Ida Noddack. “Sua sugestão estava tão fora de sintonia com as ideias então aceitas sobre o núcleo atômico que nunca foram seriamente discutidas” (Hahn, 1966, p. 140).

É importante destacar que, de fato, as interpretações teóricas sobre fissão nuclear foram realizadas por duas cientistas, Ida Noddack e Lise Meitner. Em contrapartida, o reconhecimento e o Prêmio Nobel foram concedidos aos cientistas que realizaram os experimentos, Enrico Fermi e Otto Hahn.

Apesar do não reconhecimento da descoberta do masúrio e da proposta de fissão nuclear, Ida Noddack recebeu diversas honrarias e homenagens ao longo da sua trajetória, como a Medalha Liebig da Sociedade Alemã de Química (em 1931), a Medalha Scheele da Sociedade Sueca de Química (em 1934) e a atribuição do seu nome a uma rua de sua cidade natal.

A descoberta da fissão nuclear

Meitner e Hahn desenvolveram pesquisas sobre a radioatividade até o final de suas vidas. Durante alguns anos, eles trabalharam em parceria, mas, em outros momentos, desenvolveram suas atividades separadamente. Dois anos após a Primeira Guerra Mundial, Meitner e Hahn encerraram a parceria científica que levou à descoberta do protactínio e prosseguiram suas carreiras pelos 12 anos seguintes de forma independente. O retorno da parceria entre os pesquisadores ocorreu em 1934, devido ao fato de Meitner precisar de um químico para iniciar uma nova linha de pesquisa que culminou na descoberta da fissão nuclear (McGrayne, 1994).

A equipe formada para as investigações do bombardeamento do urânio com nêutrons era composta por cinco pessoas: Meitner, Hahn, o químico alemão Fritz Strassmann (1902-1980), a química norte-americana Clara Lieber (1902-1950) e a técnica Irmgard Bohne⁸. Essa equipe de trabalho se tornou uma das mais experientes no assunto. Além disso, eles competiam com equipes lideradas por Enrico Fermi, Ernest Rutherford e Irène Joliot-Curie (McGrayne, 1994; Sime, 1996).

Durante o exílio, Hahn e Meitner se comunicavam por meio de cartas e faziam colaborações importantes sobre as pesquisas em andamento. Sendo assim, Otto Hahn solicitou a ajuda dela para compreender como os isótopos de rádio, ao serem bombardeados lentamente com nêutrons se comportavam como bário. A partir dessa solicitação, Meitner iniciou os cálculos necessários para explicar o processo de fissão nuclear, ou seja, resolveu o “mistério” envolvendo o motivo pelo qual o urânio, quando bombardeado com nêutrons, produzia fragmentos de número atômico menor. A explicação da fissão nuclear ocorreu durante as férias do final do ano de 1938, na Suécia. Foi nesse contexto que Meitner e seu sobrinho, o físico nuclear Otto Frisch, chegaram a uma explicação para os resultados experimentais de Hahn e Strassmann (McGrayne, 1994; Nanal, 2017).

Em 11 de fevereiro de 1939, Meitner e Frisch publicaram na revista *Nature* o artigo intitulado “*Disintegration of uranium by neutrons: a new type of nuclear reaction*” (Desintegração do urânio por nêutrons: um novo tipo de reação nuclear).⁹ Meitner e Frisch reconheceram que, ao bombardear átomos de urânio ($Z = 92$) com nêutrons, o urânio se dividia, produzia fragmentos de número atômico muito menor e liberava grande quantidade de energia.

Ao seguir as sugestões de Bohr a respeito do modelo da gota líquida, Meitner e Frisch realizaram os cálculos necessários para afirmarem que a fissão do núcleo do urânio havia ocorrido – sendo o bário ($Z = 56$) e o criptônio ($Z = 36$) os possíveis produtos dessa reação. A partir da relação de equivalência massa-energia ($E = m \cdot c^2$) proposta por Albert Einstein (1879-1955), Frisch conseguiu demonstrar, experimentalmente, que o poder ionizante dos fragmentos e a energia liberada na fissão nuclear correspondiam à diferença entre a massa de urânio e a dos produtos da reação (Nanal, 2017):

Parece, portanto, possível que o núcleo de urânio tenha apenas uma pequena estabilidade de forma que possa, após a captura de nêutrons, se dividir em dois núcleos de tamanhos aproximadamente iguais (...). Com base, entretanto, nas ideias atuais sobre o comportamento dos núcleos pesados, surge uma imagem inteiramente diferente e essencialmente clássica desses novos processos de desintegração. Por causa de seu empacotamento próximo e forte troca de energia, seria esperado que as partículas em um núcleo pesado se movessem de uma forma coletiva que tem alguma semelhança com o movimento de uma gota de líquido. Se o movimento for suficientemente violento

com a adição de energia, essa queda pode se dividir em duas gotas menores (Meitner e Frisch, 1939, p. 239, tradução nossa).

Como apontado anteriormente, apesar das contribuições de Meitner para a descoberta da fissão nuclear, apenas Otto Hahn recebeu o Prêmio Nobel de Química de 1944. McGrayne (1994) afirma que, no discurso da entrega do Prêmio Nobel, Hahn enfatizou que apenas a química tinha resolvido o problema. No entanto, alguns autores como Frisch (1970), Rossiter (1993), McGrayne (1994) e Crawford *et al.* (1997) trazem relatos de cientistas próximos a Hahn e Meitner que reforçavam a participação e liderança de Meitner na equipe de trabalho. Os relatos também sugeriram que, sem a contribuição dela, não seria possível chegar à conclusão dos estudos realizados.

Em homenagem à feminista sufragista Matilda Joslyn Gage (1826-1898), Rossiter (1993) cunhou o termo “efeito Matilda” para descrever a apropriação ou o não reconhecimento das contribuições científicas de mulheres cientistas. Ao observar a trajetória das nossas protagonistas, as duas sofreram o efeito Matilda: Lise Meitner em sua parceria científica com Hahn para a descoberta da fissão nuclear, e Ida Noddack por não ter obtido o devido reconhecimento de Fermi e Hahn. A parceria científica entre Ida e Walter Noddack não pode ser descrita por esse fenômeno social, pois, de acordo com as historiadoras da ciência Tiggele e Lykknes (2012), a parceria científica do casal Noddack foi equânime e colaborativa.

Apesar de os trabalhos de Meitner sobre a fissão nuclear não terem sido reconhecidos e a mesmo tendo recusado um convite para trabalhar no projeto de desenvolvimento de uma bomba atômica durante a Segunda Guerra Mundial, a mídia atribuiu a ela a descoberta que culminou nas bombas atômicas lançadas em Hiroshima e Nagasaki nos dias 6 e 9 de agosto de 1945, respectivamente.

No obituário de Meitner, escrito por seu sobrinho, Frisch, em 1970, para a *Royal Society*, ele afirma que, desde a infância, Meitner sempre almejou se tornar física, devido ao seu interesse em compreender o funcionamento da natureza. Apesar de ter ficado amplamente conhecida após sua participação na descoberta da fissão nuclear como a “Mãe da Bomba Atômica”, Meitner era uma referência entre os físicos devidos aos estudos pioneiros da radioatividade. Por conta desses estudos, Frisch (1970) destaca que Einstein apelidou Meitner de “Madame Curie da Alemanha”, devido ao fato de grande parte de suas pesquisas sobre radioatividade terem sido realizadas em Berlim.

No que diz respeito à bomba atômica, Frisch (1970) também pontua que, além de Meitner ter se recusado a participar do desenvolvimento da bomba, ela não acreditava ser possível sua construção e temia que os estudos dessem

certo. McGrayne (1994) traz em seu livro um trecho de uma entrevista dada por Lise Meitner para o jornal *Saturday Evening Post*, em que ela diz:

Eu nunca trabalhei no rompimento do átomo com a ideia de produzir armas mortais. Não se deve culpar a nós, cientistas, pelo uso que os técnicos destinaram a nossa descoberta. O que ainda dá margem para ansiedade, é claro, é o que a humanidade fará com esse conhecimento recém-adquirido, que poderia vir a ser usado para destruição em escala tremenda (Meitner, 1964, p. 4, tradução nossa).

O Projeto Manhattan, programa de pesquisa para o desenvolvimento da bomba atômica, foi liderado pelo físico estadunidense Robert Oppenheimer (1904-1967) e contou com a participação de cientistas de diversas áreas do conhecimento, como física, química, engenharia e matemática.

Considerações finais

A fissão nuclear é uma temática amplamente conhecida, principalmente pelo contexto histórico da sua aplicação bélica. Essa temática é também abordada na educação básica nos conteúdos dos componentes curriculares de física e química. Por conta disso, estudos que possibilitem o debate em sala de aula podem contribuir para a motivação e a aprendizagem crítica de conceitos científicos. Além disso, debater questões de gênero e raça podem ser uma alternativa relevante para refletir sobre as opressões sofridas por mulheres cientistas e, assim, promover uma educação anti-opressiva, crítica e humanística.

A análise do episódio histórico da descoberta da fissão nuclear e das contribuições de Ida Noddack e Lise Meitner revela que mudanças conceituais são parte fundamental do progresso da ciência. Ou seja, a partir da inconsistência da descoberta dos elementos transurânicos, a ciência buscou novos métodos e interpretações para as lacunas existentes que resultaram na descoberta da fissão nuclear. Por meio desse episódio, também é possível visualizar o caráter coletivo e interdisciplinar do fazer científico. Além disso, foi no campo da física nuclear e radioquímica que as mulheres cientistas protagonizaram suas pesquisas e realizaram descobertas relevantes para a Ciência. No entanto, por serem mulheres, foram negligenciadas por seus pares homens, e tiveram que enfrentar diversos obstáculos para atingirem reconhecimento e prestígio na academia.

Notas

1. Informações sobre o Prêmio Nobel de física de 1938. *The Nobel Prize*. Disponível em: <https://www.nobelprize>.

No que diz respeito à bomba atômica, Frisch (1970) também pontua que, além de Meitner ter se recusado a participar do desenvolvimento da bomba, ela não acreditava ser possível sua construção e temia que os estudos dessem certo.

org/prizes/physics/1938/summary/. Acesso em: 12/02/2025.

2. Informações sobre o elemento 93. *Royal Society of Chemistry*. Disponível em: <https://periodic-table.rsc.org/element/93/neptunium>. Acesso em: 12/02/2025.

3. Informações sobre o elemento 94. *Royal Society of Chemistry*. Disponível em: <https://periodic-table.rsc.org/element/94/plutonium>. Acesso em: 12/02/2025.

4. Indicações ao Prêmio Nobel. *Nomination Archive. NobelPrize.org*. Disponível em: https://www.nobelprize.org/nomination/archive/show_people.php?id=6731. Acesso em: 06/05/2022

5. Informações históricas sobre o tecnécio - *Royal Society of Chemistry*. Disponível em: <https://www.rsc.org/periodic-table/element/43/technetium>. Acesso em: 10/04/2022.

6. Meitner foi indicada ao Prêmio Nobel de Física nos anos de 1937, 1940, 1941, 1943, 1945, 1946, 1947, 1948, 1949, 1954, 1955, 1956, 1959, 1961, 1964, 1965 e 1967. Ao Nobel de Química ela foi indicada nos anos de 1924, 1925, 1929, 1930, 1933, 1934, 1936, 1937, 1939, 1941, 1942, 1946, 1947 e 1948.

7. As informações a respeito das indicações de

Meitner ao Prêmio Nobel estão disponíveis em: https://www.nobelprize.org/nomination/archive/show_people.php?id=6097. Acesso em 26 de junho de 2022.

8. Não foram encontradas maiores informações a respeito da técnica Irmgard Bohne. Esse fato pode estar relacionado com o apagamento histórico que as mulheres sofrem na ciência.

9. Esse artigo de Lise Meitner e Otto Frisch foi reproduzido por Nanal, V. Classics. *Resonance* v. 22, p. 323-325, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12045-017-0466-1>. Acesso em: 10 de outubro de 2021.

Marjorie C. dos S. M. Dantas (marjoriecarla@gmail.com) é licenciada em Química pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), mestre e doutoranda em Ensino, Filosofia e História das Ciências pela UFBA-UEFS. Atualmente é professora de Química da Secretaria da Educação do Estado do Ceará - SEDUC-CE. **Indianara Silva** (isilva@uefs.br) é licenciada em Física pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), mestre e doutora em Ensino, Filosofia e História das Ciências pela UFBA-UEFS, com doutorado sanduíche no Massachusetts Institute of Technology (MIT) pela Fulbright e CAPES. Atualmente é professora titular do departamento de Física da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS) e do Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências (UFBA-UEFS).

Referências

BRAZIL, R. Ida Noddack and the trouble with element 43. *Chemistry World*, Royal Society of Chemistry, 11 de maio de 2021. Disponível em: <https://www.chemistryworld.com/culture/ida-noddack-and-the-trouble-with-element-43/4013548.article>. Acesso em jul. 2025.

CARVALHO, J. F. A gênese da bomba. *Estudos Avançados*, v. 29, p. 197-208, 2015.

CITELI, M. T. Fazendo diferenças: teorias sobre gênero, corpo e comportamento. *Estudos Feministas*, ano 9, p. 131-145, 2001.

CORDEIRO, M. D. Ciência e Valores: uma leitura epistemologicamente guiada de fontes primárias. *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática*, v. 4, p. 1130-1154, 2021.

CORDEIRO, M. D. e PEDUZZI, L. O. Q. Entre os transurânicos e a fissão nuclear: um exemplo do papel da interdisciplinaridade em uma descoberta científica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 31, p. 536-563, 2014.

CORDEIRO, M. D. e PEDUZZI, L. O. Q. Valores, métodos e evidências: objetividade e racionalidade na descoberta da fissão nuclear. *Alexandria - Revista de Educação em Ciências e Tecnologia*, v. 9, p. 235-262, 2016.

COSTA, M. C. Ainda somos poucas: exclusão e invisibilidade na ciência. *Cadernos Pagu*, v. 27, p. 455-459, 2006.

CRAWFORD, E.; SIME, R. L. e WALKER, M. A Nobel tale of postwar injustice. *Physics Today*, v. 50, p. 26-31, 1997.

FRISCH, O. R. Lise Meitner (1878-1968). *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, v. 16, p. 405-420, 1970.

HABASHI, F. Ida Tacke Noddack: proposer of nuclear fission. In: RAYNER-CANHAM, M. F. e RAYNER-CANHAM, G. *A devotion to their science: pioneer women of radioactivity*. Montreal/Kingston: McGill-Queen's University Press, 1997. p. 217-225.

HABASHI, F. Ida Noddack and the missing elements. *Education in Chemistry*, Royal Society of Chemistry, 28 de fevereiro de 2009. Disponível em: <https://edu.rsc.org/feature/>

ida-noddack-and-the-missing-elements/2020167.article. Acesso em jul. 2025.

HAHN, O. *Otto Hahn: a scientific autobiography*. Nova Iorque: C. Scribner's Sons, 1966.

HOOK, E. B. *Prematurity in scientific discovery: on resistance and neglect*. Berkeley: University of California Press, 2002.

KELLER, E. F. Qual foi o impacto do feminismo na ciência? *Cadernos Pagu*, v. 27, p. 13-34, 2006.

KELLER, E. F. Reflexiones sobre gênero y ciencia. *Asparkia Investigación Feminista*, v. 12, p. 149-153, 2001.

LIMA, B. S. e COSTA, M. C. Gênero, ciência e tecnologia: caminhos percorridos e novos desafios. *Cadernos Pagu*, v. 48, e164805, 2016.

LIMA, I. P. C. *Lise Meitner e a fissão nuclear: caminhos para uma narrativa feminista*. Tese de Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Faculdade de Educação da Universidade Federal da Bahia, 2019.

LOPES, M. M. Sobre convenções em torno de argumentos de autoridade. *Cadernos Pagu*, v. 27, p. 35-61, 2006.

LOPES, M. M. e COSTA, M. C. Problematicando ausências: mulheres, gênero e indicadores na história das ciências. In: Moraes, M. L. Q. (Org.) *Gênero nas fronteiras do sul*. Campinas (SP): UNICAMP/Pagu, 2005. p. 75-83.

MARQUES, A. Lise Meitner. In: *Mulheres na Física. Casos históricos, panorama e perspectivas*. São Paulo: Livraria da Física, 2015. p. 49-72.

McGRAYNE, S. B. *Mulheres que ganharam o Prêmio Nobel em ciências: suas vidas, lutas e notáveis descobertas*. São Paulo: Marco Zero, 1994.

McGRAYNE, S. B. *Nobel Prize women in science: their lives, struggles, and momentous discoveries*. 2ª ed. Washington (DC, EUA): Joseph Henry Press, 2001.

MEITNER, L. Looking Back. *Bulletin of the atomic scientists*, v. 20, p. 2-7, 1964.

MEITNER, L. e FRISCH, O. Disintegration of uranium by

- neutrons: a new type of nuclear reaction. *Nature*, v. 143, p. 239-240, 1939.
- NANAL, V. Classics. *Resonance*, v. 22, p. 323-325, 2017.
- NODDACK, I. Bererkung zu den Untersuchungen von O. Hahn, L. Meitner und F. Strassman über die Produkte, die bei der Bestrahlung von Uran mit Neutronen entstehen. *Die Naturwissenschaften*, v. 27, p. 212-213, 1939.
- NODDACK, I. Über das Element 93. *Zeitschrift für Angewandte Chemie*, v. 47, p. 653, 1934.
- OFFEREINS, M. *European women in chemistry*. Weinheim: Wiley-VCH, 2011.
- RAYNER-CANHAM, M. F. e RAYNER-CANHAM, G. *A devotion to their science: pioneer women of radioactivity*. Montreal/Kingston: McGill-Queen's University Press, 1997.
- RENTETZI, M. Gender, politics, and radioactivity research in interwar Vienna. *Isis*, v. 95, p. 359-393, 2004.
- RENTETZI, M. *Trafficking materials and gendered experimental practices: radium research in early 20th century Vienna*. Nova Iorque: Columbia University, 2007.
- RIBEIRO, M. J. S. e FERNANDES, L. S. Sequência didática baseada em elementos da história e filosofia da ciência para o ensino de fissão nuclear. *Educação Química em Ponto de Vista*, v. 6, 2022. Disponível em: <https://revistas.unila.edu.br/eqpv/article/view/3769/3234>. Acesso em jul. 2025.
- ROSSITER, M. W. Sexual segregation in the sciences: some data and a model. *Signs*, v. 4, p. 146-151, 1978.
- ROSSITER, M. W. The Matilda effect in science. *Social Studies of Science*, v. 23, p. 325-341, 1993.
- ROSSITER, M. W. *Women scientists in America: struggles and strategies to 1940*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1982.
- SANTOS, G. M. A tale of oblivion: Ida Noddack and the 'universal abundance' of matter. *Notes & Records - Royal Society Journal of the History of Science*, v. 68, p. 373-389, 2014.
- SCERRI, E. R. *The Periodic Table: its story and its significance*. Nova Iorque: Oxford University Press, 2007.
- SCHIENBINGER, L. *O feminismo mudou a ciência?* São Paulo: EDUSC, 2001.
- SCOTT, J. Gênero: uma categoria útil de análise histórica. *Educação & Realidade*, v. 20, n. 2, p. 71-99, 1995.
- SEABORG, G. T. Prematurity, nuclear fission, and the transuranium actinide elements. In: HOOK, E. *Prematurity in scientific discovery: on resistance and neglect*. Berkeley: University of California Press, 2002. p. 37-45.
- SILVA, V. C. Da fissão nuclear aos elementos transurânicos: questões epistemológicas no caso Fermi-Noddack. *Revista Brasileira de História da Ciência*, v. 12, p. 54-67, 2019.
- SIME, R. L. Lise Meitner and the discovery of nuclear fission. *Scientific American*, v. 278, p. 80-85, 1998.
- SIME, R. L. *Lise Meitner: a life in physics*. Berkeley / Los Angeles: University of California Press, 1996.
- SIME, R. L. The search for transuranium elements and the discovery of nuclear fission. *Physics in Perspective*. v. 2, n. 2, p. 48-62, 2000.
- TIGGELEN, B. V. Ida Noddack, the eka-manganeses and nuclear fission. In: TIGGELEN, B. V.; LYKKNES, A. (Ed.) *Women in their element: selected women's contributions to the periodic system*. Singapura: World Scientific, 2019. p. 271-288.
- TIGGELEN, B. V. e LYKKNES, A. *Celebrate the women behind the Periodic Table*. *Nature*, v. 565, p. 559-561, 2019.
- TIGGELEN, B. V. e LYKKNES, A. Ida and Walter Noddack through better and worse: an *Arbeitsgemeinschaft* in chemistry. In: LYKKNES, A.; OPITZ, D. L. e TIGGELEN, B. V. (Ed.) *For better or for worse? Collaborative couples in the sciences*. Basel: Birkhäuser, 2012. p. 103-148.

Abstract: *Ida Noddack and Lise Meitner: Gender, and the Discovery of Nuclear Fission.* This paper aims to examine the contributions of Ida Noddack (1896-1978) and Lise Meitner (1878-1968) to the discovery of nuclear fission and the oppressions suffered during the formation and construction of scientific knowledge. The studies carried out in 1934 by Enrico Fermi (1901-1954) and his collaborators on transuranic elements caught Noddack's attention. However, she found that Fermi's experimental evidence was incomplete and began to discuss it in her works. Five years after Fermi's work, scientists Otto Hahn (1879-1968), Fritz Strassmann (1902-1980), Meitner and Otto Frisch (1904-1979) were considered the pioneers of the discovery of nuclear fission. Although Meitner led the investigation, only Hahn received the 1944 Nobel Prize in Chemistry. The possible reasons for rejecting the theoretical work developed by Noddack and Meitner involved several factors, such as an androcentric view of science, gender bias, distrust, and political and social interests.

Keywords: women in science, Matilda effect, transuranic elements

As mulheres cientistas e a descoberta de elementos químicos

Juliana Magalhães Charamba de Souza e Lucas dos Santos Fernandes

As narrativas históricas sobre a descoberta de elementos químicos (EQs) apresentam predominantemente personagens masculinos. Buscando dar visibilidade a personagens invisibilizados pela historiografia da ciência tradicional, este estudo investigou a participação de mulheres cientistas na descoberta de EQs. Para isso, foram consultadas fontes históricas primárias e secundárias. A análise dessas fontes revelou que quatorze mulheres cientistas participaram da descoberta de quatorze EQs: Po, Ra, Pa, Re, Fr, At, Db, Rf, Sg, Fl, Mc, Lv, Ts e Og. Além disso, algumas delas, como Marie Curie (1867-1934) e Lise Meitner (1878-1968), contribuíram para o desenvolvimento de teorias que levaram à descoberta de EQs radioativos e artificiais. Espera-se que o levantamento histórico realizado seja utilizado no ensino de Química tanto para discutir conceitos científicos quanto para debater questões de gênero na ciência.

► mulheres cientistas, elementos químicos, História da Química ◀

Recebido em 08/10/2024; aceito em 10/03/2025

67

Introdução

A tabela periódica (TP) dos elementos químicos (EQs) é um dos maiores ícones da ciência moderna (Scerri, 2020).

Na versão atual da TP, os 118 EQs conhecidos estão organizados em ordem crescente de número atômico, distribuídos em 18 colunas (grupos ou famílias) e sete linhas (períodos). A TP é a representação bidimensional da Lei Periódica, a qual estabelece que, ao serem dispostos em ordem crescente de número atômico, os EQs se agrupam em famílias ou grupos com propriedades físicas e químicas semelhantes (Atkins *et al.*, 2018).

O desenvolvimento da TP teve início no primeiro quartel do século XIX com a participação coletiva de homens e mulheres interessados(as) no progresso da Química e em formas de relacionar e organizar os EQs conhecidos. As narrativas históricas sobre a TP, em sua maioria, apresentam quase que exclusivamente personagens masculinos, sobretudo Dmitri Mendeleiev (1834-1907) (Freitas e Baldinato, 2023). No

A predominância de personagens masculinos também é frequente nas narrativas históricas sobre a descoberta de EQs (Lykknes e Van Tiggelen, 2019). Dessa forma, verifica-se que “[...] a ausência das mulheres e o respectivo silêncio em torno de sua presença na história e, por extensão, na história das ciências acabam por revelar, eles próprios, a associação hegemônica entre masculinidade e pensamento científico” (Bandeira, 2008, p. 209-210).

entanto, antes do químico russo construir a sua primeira versão da TP, sua compatriota, a química Julia Lermontova (1846/1847-1919), desenvolveu uma técnica analítica para a separação dos metais do grupo da platina (Ru, Rh, Pd, Os, Ir e Pt) (Boeck, 2019). Utilizando-se dessa técnica, químicos da época determinaram os pesos atômicos desses metais e Mendeleiev os posicionou corretamente em suas primeiras versões da TP.

A predominância de personagens masculinos também é frequente nas narrativas históricas sobre a descoberta de EQs (Lykknes e Van Tiggelen, 2019). Dessa forma, verifica-se que “[...] a ausência das mulheres e o respectivo silêncio em torno de sua presença na história e, por extensão, na história das ciências acabam por revelar, eles próprios, a associação hegemônica entre masculinidade e pensamento científico” (Bandeira, 2008, p. 209-210).

Considerando que as contribuições científicas das mulheres foram, por muito tempo, negligenciadas pela historiografia da ciência tradicional, o presente estudo, pautado pela



historiografia da ciência contemporânea, teve como objetivo investigar a participação de quatorze mulheres cientistas na descoberta de quatorze EQs. Devido à indisponibilidade de informações biográficas sobre as cientistas envolvidas nas descobertas de EQs superpesados ($Z > 104$), serão apresentados esboços biográficos mais detalhados sobre cinco cientistas: Marie Curie, Lise Meitner, Ida Noddack, Marguerite Perey e Yvette Cauchois.

Fontes históricas

Esta pesquisa se apoia em pressupostos da historiografia da ciência contemporânea, que trouxe a revalorização das técnicas, dos conhecimentos e das personagens esquecidas pela historiografia da ciência tradicional (Goldfarb, 1994). Essa perspectiva historiográfica apresenta os seguintes aspectos: (i) questiona a linearidade e sugere a existência de rupturas no processo de construção do conhecimento; (ii) reconstrói ideias, modelos, teorias e descobertas considerando a época e o contexto em que surgiram; (iii) desconsidera a ideia de grandes gênios e busca resgatar personagens ocultos, tais como: mulheres, negros, homossexuais, indígenas, entre outros.

As fontes primárias foram: (i) artigos nos quais as descobertas de EQs foram anunciadas; (ii) pareceres nos quais a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) chancelou as descobertas de EQs transurânicos (Quadro 1). As fontes secundárias correspondem a livros sobre a história das descobertas de EQs (Quadro 2).

A partir dessas fontes históricas, foi possível estabelecer a participação das mulheres cientistas nas descobertas de EQs discutidas a seguir.

As descobridoras de elementos químicos

De acordo com as fontes consultadas, quatorze mulheres participaram da descoberta de quatorze EQs. O Quadro 3 apresenta informações sobre essas cientistas e suas descobertas.

Essas contribuições científicas quase não são divulgadas ou discutidas no ensino de Química, sobretudo as mais recentes, envolvendo EQs superpesados (Souza, 2024).

Marie Curie: Polônio e Rádio

Enquanto preparava sua tese de doutorado na França, Marie Curie, cientista de origem polonesa, participou das primeiras pesquisas sobre a radioatividade. Nesse contexto, ela desenvolveu um método que veio a permitir a descoberta de EQs a partir da detecção da radiação nuclear emitida (Curie, 2011). Inicialmente, ela detectou a radiação emitida pelo tório e seus compostos. Em seguida, ela observou que a radiação emitida pela pechblenda (U_3O_8) era maior que a emitida pelo urânio, primeiro EQ reconhecidamente radioativo. A partir dessa evidência, ela formulou a hipótese de que havia nesse mineral um novo EQ radioativo.

A análise química de toneladas de pechblenda produziu duas frações radioativas: uma contendo bismuto e

Quadro 1: Pareceres da IUPAC sobre as descobertas de elementos químicos transurânicos.

Elemento (Z)	Título	Ano
Rutherfórdio (104) Dúbnio (105) Seabórgio (106)	Discovery of the Transfermium Elements	1992
Fleróvio (114) Livermório (116)	Discovery of the elements with atomic numbers greater than or equal to 113	2011
Moscóvio (115) Tennesso (117)	Discovery of the elements with atomic numbers $Z = 113, 115$ and 117	2016
Oganessônio (118)	Discovery of the element with atomic number $Z = 118$ completing the 7th row of the periodic table	2016

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 2: Livros sobre as histórias das descobertas de elementos químicos.

Autores	Título	Ano
Chapman, K.	Superheavy: making and breaking the periodic table	2019
Hoffman, D. C.; Ghiorso, A.; Seaborg, G. T.	The Transuranium People: the inside history	2001
Fontani, M.; Costa, M.; Orna, V.	The Lost Elements: The Periodic Table's Shadow Side	2015
Lykknes, A.; Van Tiggelen, B.	Women in their Elements: selected women's contributions to the periodic system	2019
Scerri, E.	The Periodic Table: Its Story and Its Significance	2020
Weeks, M. E.	Discovery of the Elements	1960

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 3: Elementos químicos, cientistas descobridoras, local e ano das descobertas.

Elementos Químicos (${}_Z$ Símbolo)	Descobridoras (nasc. - falec.)	Países / Ano*
Polônio (${}_{84}\text{Po}$)	Marie Curie (1867-1934)	França / 1898
Rádio (${}_{88}\text{Ra}$)	Marie Curie (1867-1934)	França / 1898
Protactínio (${}_{91}\text{Pa}$)	Lise Meitner (1878-1968)	Alemanha / 1918
Rênio (${}_{75}\text{Re}$)	Ida Noddack (1896-1978)	Alemanha / 1925
Frâncio (${}_{87}\text{Fr}$)	Marguerite Perey (1900-1975)	França / 1939
Astato (${}_{85}\text{At}$)	Yvette Cauchois (1908-1999)	França / 1939
Rutherfordio (${}_{104}\text{Rf}$)	Pirkko Eskola (?-presente)	EUA / 1969
Dúbnio (${}_{105}\text{Db}$)	Pirkko Eskola (?-presente)	EUA / 1970
Seabórgio (${}_{106}\text{Sg}$)	Carol Alonso (1941-presente)	EUA / 1974
Fleróvio (${}_{114}\text{Fl}$)	Dawn Shaughnessy (1971-presente) Nancy Stoyer (?-presente) Jacqueline Kenneally (?-presente)	EUA – Rússia / 2004
Moscóvio (${}_{115}\text{Mc}$)	Dawn Shaughnessy (1971-presente) Nancy Stoyer (?-presente)	EUA – Rússia / 2010
Livermório (${}_{116}\text{Lv}$)	Dawn Shaughnessy (1971-presente) Nancy Stoyer (?-presente) Jacqueline Kenneally (?-presente)	EUA – Rússia / 2004
Tennesso (${}_{117}\text{Ts}$)	Dawn Shaughnessy (1971-presente) Nancy Stoyer (?-presente) Julie Ezold (?-presente) Clarice Phelps (?-presente) Rose Boll (?-presente) Shelley Van Cleve (?-presente)	EUA – Rússia / 2010
Oganessônio (${}_{118}\text{Og}$)	Dawn Shaughnessy (1971-presente) Nancy Stoyer (?-presente) Jacqueline Kenneally (?-presente)	EUA – Rússia / 2006

*Ano em que o primeiro artigo reconhecido pela IUPAC como evidência da descoberta foi publicado. Fonte: Elaborado pelos autores.

outra contendo bário. Ao investigar a primeira, ela obteve uma mistura de bismuto cerca de quatrocentas vezes mais radioativa que o urânio (Curie, 2011). Considerando que os EQs radioativos conhecidos já haviam sido removidos e que a fração continuava fortemente radioativa, ela concluiu que havia na amostra um novo EQ radioativo, e o denominou polônio (Po), em homenagem à sua terra natal. Em 1910, Marie Curie obteve o espectro de emissão do polônio. Posteriormente, a física francesa Yvette Cauchois (1908-1999) e a radioquímica polonesa Sonia Cotelle (1896-1945) ajudaram a determinar o número atômico do polônio ($Z = 84$) por meio da espectroscopia de raios-x.

A outra fração contendo bário era cerca de 900 vezes mais radioativa que o urânio e, a partir dela, foi possível identificar, no final de 1898, mais um EQ, chamado de rádio (Ra), por causa da intensa emissão de raios (radiação nuclear). Quatro anos depois, Marie Curie obteve um decígrama de cloreto de rádio (RaCl_2) puro. Em 1907, ela determinou o seu peso

atômico (226,2u) e, em 1910, isolou o rádio em sua forma metálica (Curie, 2011).

Em 1910, Marie Curie obteve o espectro de emissão do polônio. Posteriormente, a física francesa Yvette Cauchois (1908-1999) e a radioquímica polonesa Sonia Cotelle (1896-1945) ajudaram a determinar o número atômico do polônio ($Z = 84$) por meio da espectroscopia de raios-x.

O método de detecção da radiação emitida levou à descoberta de outros EQs radioativos de ocorrência natural: actínio, astato, frâncio, protactínio e radônio. Dessa forma, Marie Curie participou da descoberta de dois EQs e contribuiu para o descobrimento de outros cinco.

Por suas pesquisas pioneiras sobre radioatividade, Marie Curie compartilhou o prêmio Nobel de Física, em 1903, com seu esposo e parceiro de pesquisa, Pierre Curie (1859-1906) e com o físico francês Henry Becquerel (1852-1908). Posteriormente, em 1911, ela foi laureada individualmente com o Nobel de Química “Em reconhecimento de seus serviços para o avanço da Química pela descoberta dos elementos rádio e polônio, pelo isolamento do rádio e pelo estudo da natureza e dos compostos desse elemento notável” (Nobel Foundation, 2024).

Marie Curie frequentou o laboratório de pesquisa até seus últimos dias de vida. A cientista faleceu em 1934, vítima de

leucemia causada pela exposição prolongada às radiações nucleares emitidas por EQs radioativos. A partir de 1949, ela e Pierre Curie foram eternizados na TP por meio do nome do EQ de número atômico 96, o cúrio (Cm). Marie Curie foi a primeira mulher cientista homenageada com um nome de EQ.

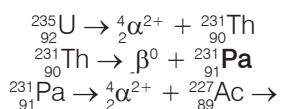
Lise Meitner: Protactínio

Lise Meitner nasceu em Viena, na época capital do Império Austro-Húngaro, no dia sete de novembro de 1878, em uma família de ascendência judaica. Em 1901, com 23 anos de idade, Meitner foi admitida na Universidade de Viena, onde concluiu a graduação e o doutorado em Física no ano de 1905 (Sime, 1997).

Ciente de que não teria oportunidades para fazer pesquisa em Física em seu país, ela partiu para a Alemanha em 1907. Interessada nas pesquisas sobre radioatividade, ela foi encaminhada ao Instituto de Química e Eletroquímica da Universidade Berlim, onde trabalhava o químico Otto Hahn (1879-1968), que a admitiu como assistente. No entanto, havia algumas condições: ela foi acomodada num laboratório improvisado no porão, não recebia remuneração e não podia frequentar as instalações do Instituto de Química, inclusive o banheiro. Para a alegria de Meitner, algumas dessas condições foram revistas em 1909, quando as mulheres passaram a ser admitidas nas universidades alemãs (Sime, 1997).

Em 1913, Meitner foi contratada como professora convidada pelo Departamento de Radioquímica, dirigido por Hahn, no *Kaiser-Wilhelm Institut für Chemie* (KWIC). Nessa época, acreditava-se que o actínio seria produzido pela emissão de uma partícula α por um radioisótopo do EQ de número atômico 91, até então desconhecido (Roqué, 2019). Na busca por este EQ, Meitner e Hahn analisaram sais derivados da pechblenda. Após cinco anos de trabalho, em 1918, eles anunciaram a descoberta do protactínio (Pa) (Dantas, 2022).

Meitner e Hahn detectaram a emissão de partículas α pelo protactínio e acompanharam a produção de actínio. O protactínio é um dos radioisótopos produzidos ao longo da série de decaimento espontâneo do urânio-235:



Meitner ainda fez parte do grupo de cientistas que descobriu a fissão nuclear. Dessa forma, seu trabalho forneceu contribuições para a posterior síntese de todos os EQs transurânicos conhecidos (26) e de uma infinidade de radioisótopos artificiais utilizados na indústria e na medicina.

Lise Meitner não foi laureada com o prêmio Nobel, apesar

das 19 indicações em Química e das 30 indicações em Física, segundo dados da Fundação Nobel. Ela se aposentou em 1960 e mudou-se para Cambridge, onde faleceu em 1968. A partir de 1997, seu nome foi imortalizado na TP por meio do EQ de número atômico 109, o meitnério (Mt).

Ida Noddack: Rênio

Ida Eva Tacke nasceu em Lackhausen, Alemanha. Ela estudou engenharia metalúrgica e doutorou-se em Química Orgânica em 1921 (Marshall, 2018). Após se casar, em 1926, com o químico alemão Walter Noddack (1893-1960), ela adotou o sobrenome do marido. Em 1925, o casal Noddack, juntamente com o químico alemão Otto Berg (1873-1939), anunciou a descoberta de dois EQs: rênio (Re) e masúrio (Ma) (atualmente chamado tecnécio).

O rênio ($Z=75$) foi descoberto por meio de análises químicas realizadas em amostras dos minerais columbita $[(\text{Fe},\text{Mn})\text{Nb}_2\text{O}_6]$, tantalita $[(\text{Fe},\text{Mn})\text{Ta}_2\text{O}_6]$ e wolframita $[(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4]$. Seu nome homenageia o Rio Reno, principal curso de água da região em que Ida Noddack nasceu. Além de caracterizar o rênio por meio da espectroscopia de raios-x, em 1929, os Noddack isolaram 1g do elemento e determinaram suas propriedades físicas e químicas. O isolamento e a caracterização

do rênio afastaram qualquer contestação sobre a descoberta desse EQ (Marshall, 2018). Por essas contribuições, Ida Noddack foi indicada ao Nobel em Química em três oportunidades (1933, 1935 e 1937), mas não foi laureada.

Por sua vez, a descoberta do masúrio ainda é alvo de discussões, pois há evidências de que o casal Noddack poderia ter detectado esse EQ em minerais contendo urânio (Fernandes, 2022). Contudo, questionamentos sobre os dados do espectro de raios-x e a incapacidade de isolar o masúrio minaram a credibilidade dessa descoberta na época.

Posteriormente, em 1937, cientistas italianos detectaram um radioisótopo do EQ de número atômico 43 em uma placa de molibdênio ($Z = 42$) que havia sido bombardeada com deutério (${}^2_1\text{H}$). Eles deram ao novo EQ o nome de tecnécio (Tc), que deriva da palavra grega para artificial. Recentemente, a controvérsia científica em relação ao EQ 43 teve novos desdobramentos, com novas reivindicações de descoberta em favor de Ida Noddack (Fernandes, 2022). As discussões sobre a descoberta do masúrio não foram encerradas e podem revelar novas evidências a favor ou contra a reivindicação da química alemã.

Ida Noddack sugeriu a hipótese da divisão dos núcleos atômicos em 1934, porém sua proposição não foi seriamente considerada pelos cientistas da época (Sime, 1997). Cinco anos depois, no início de 1939, foram publicados os primeiros estudos evidenciando a fissão nuclear.

Alternando períodos em que trabalhou como pesquisadora, com e sem remuneração, em laboratórios chefiados

Ida Noddack sugeriu a hipótese da divisão dos núcleos atômicos em 1934, porém sua proposição não foi seriamente considerada pelos cientistas da época (Sime, 1997). Cinco anos depois, no início de 1939, foram publicados os primeiros estudos evidenciando a fissão nuclear.

por seu marido, ela se aposentou em 1968 e faleceu dez anos depois.

Marguerite Perey: Frâncio

A química francesa Marguerite Perey iniciou sua carreira como assistente de pesquisa de Marie Curie no Instituto do Rádio de Paris em 1929. Dez anos depois, enquanto pesquisava o decaimento do actínio, ela observou a presença de um radioisótopo que apresentava meia-vida de 20 minutos e que se precipitava em soluções de perclorato de cério (Rayner-Canham e Rayner-Canham, 2019). A partir dessas evidências, ela concluiu que se tratava do EQ de número atômico 87, formado a partir da emissão de uma partícula α por núcleos de actínio:

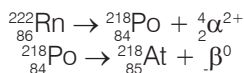


Considerando que as suas propriedades químicas fossem típicas de um metal alcalino, o novo EQ foi posicionado abaixo do cério na tabela periódica e o nome escolhido foi frâncio (Fr), em homenagem ao país de sua descobridora.

O frâncio deu fôlego à carreira acadêmica de Perey, que concluiu o doutorado em 1946 com uma tese baseada na descoberta desse EQ. Três anos depois, ela foi nomeada professora e pesquisadora da área de Química Nuclear na Universidade de Estrasburgo. Nesse período, ela estava interessada em investigar as aplicações biológicas do frâncio. A partir de 1951, seus problemas de saúde causados pela exposição à radiação nuclear começaram a se intensificar. A partir daí, ela alternou períodos de melhora com internações hospitalares, até falecer em 1975 (Adloff e Kauffman, 2005).

Yvette Cauchois: Astatato

Durante o doutorado, a física francesa Yvette Cauchois desenvolveu um espectrômetro de raios-x de alta resolução que tornou possível detectar linhas de baixa intensidade (Van Tiggelen, 2019). Em 1939, utilizando esse equipamento, conhecido como espectrógrafo de Cauchois, ela e seu orientador, o físico romeno Horia Hulubei (1896-1972), detectaram o EQ de número atômico 85 entre os produtos da desintegração de um radioisótopo do radônio:



Apesar dessas evidências, a descoberta não foi reconhecida por todos os membros da comunidade científica, pois, entre outras exigências, havia a necessidade de isolar e caracterizar quimicamente o novo EQ. No ano seguinte, um grupo de cientistas estadunidenses sintetizou o EQ de número atômico 85 artificialmente. Esses cientistas caracterizaram e

sugeriram seu nome definitivo: astato, que deriva da palavra grega *'astatos'*, instável.

Segundo Thornton e Burdette (2010), Hulubei e Cauchois possuíam amostras contendo astato, contudo há dúvidas se o espectrômetro de raios-x de que eles dispunham seria capaz de detectá-lo. A descoberta do astato é uma controvérsia científica em aberto na história da Química, pois não há um consenso entre os historiadores em relação aos descobridores.

Após atuar no Centro Nacional de Pesquisas Nucleares da França, Cauchois foi nomeada professora da Universidade de Paris em 1945, e permaneceu nesse posto até se aposentar em 1978 (Bonnelle, 2001). Mesmo aposentada, ela continuou frequentando o laboratório. Nos últimos anos de vida, ela diminuiu o ritmo de trabalho e se dedicou a outras atividades. Cauchois faleceu aos 90 anos em decorrência de complicações respiratórias.

As mulheres cientistas e os elementos químicos superpesados

Áreas de pesquisa recém descobertas tendem a atrair mulheres cientistas devido à baixa competitividade com pesquisadores homens (Trindade *et al.*, 2016). No entanto, à medida que uma área de pesquisa passa a ser valorizada, a entrada de homens é seguida pelo êxodo e pela desvalorização das mulheres. Um exemplo disso é a radioatividade. No início do século XX, quando surgiram as primeiras pesquisas, diversas mulheres cientistas se destacaram, tais como Marie Curie, Lise Meitner e Irène Joliot-Curie. Posteriormente, quando essa área se valorizou, poucas mulheres estiveram em evidência (Rayner-Canham e Rayner-Canham, 1997).

Ainda assim, diversas mulheres estiveram envolvidas nas descobertas de EQs transurânicos superpesados. Esses EQs foram sintetizados em aceleradores de partículas (ciclotrons) por meio da fusão entre núcleos pesados (alvos) e núcleos leves (projéteis). Uma vez sintetizados, esses EQs superpesados sofrem fissão nuclear espontânea em segundos ou frações de segundo. Nesse processo, são liberados nêutrons e outros tipos de partículas subatômicas. A

deteção desses EQs envolve a observação da fissão nuclear espontânea desses núcleos instáveis e a mensuração do tempo de meia-vida dos núcleos formados (Kragh, 2020).

Pirkko Eskola, física finlandesa, fez parte da equipe que produziu dois EQs superpesados (Hoffman *et al.*, 2001). Nesse período, ela estava fazendo intercâmbio em Berkeley, preparando a sua tese de doutorado. Enquanto seus colegas executavam a parte experimental no acelerador de partículas, Eskola estudava os dados armazenados no computador, procurando assinaturas da existência de novos EQs (Frederick-Frost, 2021).

Alguns átomos de rutherfordóidio ($^{257}_{104}\text{Rf}$) foram sintetizados, em 1969, por meio da fusão entre núcleos de $^{249}_{98}\text{Cf}$ e núcleos de $^{12}_6\text{C}$. Por sua vez, os primeiros átomos de dúbnio ($^{260}_{105}\text{Db}$) foram produzidos pela mesma equipe de cientistas, em 1970, por meio da fusão nuclear entre $^{249}_{98}\text{Cf}$ e $^{15}_7\text{N}$ (Hoffman *et al.*, 2001). Os cientistas de Berkeley compartilham a descoberta do dúbnio com pesquisadores soviéticos do *Joint Institute for Nuclear Research* (JINR), que o haviam sintetizado em 1968.

A física nuclear canadense-americana Carol Travis Alonso fez parte da equipe de cientistas que descobriu, em 1974, o EQ de número atômico 106, chamado de seabórgio (Sg). Esse EQ foi produzido por meio da fusão entre núcleos de $^{249}_{98}\text{Cf}$ e $^{18}_8\text{O}$.

As descobertas dos cinco últimos EQs superpesados (Fl, Mc, Lv, Ts e Og) contaram com a participação de várias mulheres cientistas estadunidenses filiadas a diversos laboratórios e universidades. Esses EQs foram sintetizados a partir da fusão entre núcleos pesados e o radioisótopo $^{48}_{20}\text{Ca}$. Entre as descobridoras desses EQs, destaca-se Dawn Shaughnessy, que participou da descoberta de todos e é a principal pesquisadora do grupo de EQs pesados do *Lawrence Livermore National Laboratory* (LLNL). Assim como Shaughnessy, a cientista Jacqueline Kenneally é uma química nuclear que trabalha no LLNL desde 1991 e fez parte das equipes de cientistas que descobriram os EQs: Fl, Lv e Og.

Nancy Stoyer é uma química estadunidense que participou da descoberta de cinco EQs (Fl, Mc, Lv, Ts e Og), auxiliando no processo de detecção desses novos núcleos. Stoyer e seu marido, o cientista Mark Stoyer, criaram um método matemático-computacional para estimar a probabilidade de um decaimento radioativo ser aleatório ou real. A partir do cruzamento entre dados probabilísticos e experimentais do decaimento radioativo espontâneo dos novos EQs superpesados, foi possível evidenciar as descobertas desses novos núcleos (Walter, 2002).

Julie Ezold, Clarice Phelps, Rose Boll e Shelley Van Cleve são cientistas nucleares estadunidenses filiadas ao *Oak Ridge National Laboratory* (ORNL) e fizeram parte da equipe que produziu o radioisótopo berquélio-249, utilizado na síntese do tennesso (Ts) (Ezold, 2019). Ezold liderou a equipe que sintetizou o berquélio-249, enquanto Phelps, Boll e Van Cleve participaram do processo de purificação (Chapman, 2019). Clarice Phelps é considerada, atualmente, a única mulher negra reconhecidamente envolvida na descoberta de um EQ.

As descobertas de EQs artificiais são pouco historiadas, e quando o são, os descobridores são mencionados enquanto grupo (grupo de Berkeley, grupo de Oak Ridge, grupo do LLNL, grupo do JINR, etc.). A menção coletiva da autoria dessas descobertas omite as contribuições científicas das mulheres, pois a ciência foi e ainda é cercada por estereótipos masculinos (Bandeira, 2008).

Considerações finais

Divulgar essas contribuições científicas significa reconhecer o esforço das mulheres que enfrentaram diversos tipos de assédio, discriminações e preconceitos para praticar a mesma Ciência que os homens sempre praticaram. Embora esses obstáculos não tenham sido discutidos, é preciso enfatizar que eles existiram, persistem e precisam ser superados.

As descobertas de EQs apresentadas neste estudo ilustram como as mulheres cientistas contribuíram para a ampliação do sistema periódico. Todavia, considerando que o trabalho intelectual feminino foi por muito tempo ocultado ou minimizado, são necessários mais estudos que evidenciem outras contribuições para o desenvolvimento científico e tecnológico.

Espera-se que o levantamento histórico realizado seja utilizado no ensino de Química para discutir conceitos científicos (elemento químico, átomo, isótopo, tabela periódica, etc.), além de questões de gênero na ciência e na tecnologia. Nesse sentido, as contribuições científicas das mulheres podem ser inseridas no contexto escolar por meio de recursos didáticos, tais como: jogos, aplicativos, *slides*, vídeos, textos históricos e livros, visando a superação da visão predominantemente masculina em relação ao desenvolvimento da Química.

As contribuições das mulheres cientistas para a descoberta de EQs podem ser apresentadas em sequência didáticas baseadas em elementos da História da Ciência para o ensino de TP. Nessa perspectiva, os recursos didáticos utilizados podem conter textos, imagens e vídeos sobre a participação das mulheres no desenvolvimento da TP.

Juliana Magalhães Charamba de Souza (jucharamba@gmail.com) é licenciada em Química e mestre em Química em Rede Nacional (PROFQUI) pela UFRPE. Atualmente é professora da rede estadual de ensino de Pernambuco. **Lucas dos Santos Fernandes** (lucas.fernandes@univasf.edu.br) é licenciado em Química e mestre em Ensino de Ciências e Matemática pela UFRPE e doutor em Ensino, Filosofia e História das Ciências pela UFBA/UEFS. Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF).

Referências

- ADLOFF, J. P. e KAUFFMAN, G. B. Marguerite Perey (1909–1975): a personal retrospective tribute on the 30th anniversary of her death. *The Chemical Educator*, v. 10, n. 5, p. 378–386, 2005.
- ATKINS, P.; JONES, L. e LAVERMAN, L. *Princípios de Química*: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 7^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

BANDEIRA, L. A contribuição da crítica feminista à Ciência. *Estudos Feministas*, v. 16, n. 1, p. 207–230, 2008.

BARBER, R. C.; GREENWOOD, N. N.; HRYNIEWICZ, A. Z.; JEANNIN, Y. P.; LEFORT, M.; SAKAI, M.; ULEHLA, I.; WAPSTRA, A. H. e WILKINSON, D. H. Discovery of the fermium elements. *Progress in Particle and Nuclear Physics*, v. 29, p. 453–530, 1992.

BARBER, R. C.; KAROL, P. J.; NAKAHARA, H.; VARDACI,

E. e VOGT, E. W. Discovery of the elements with atomic numbers greater than or equal to 113. *Pure and Applied Chemistry*, v. 83, n. 7, p. 1485-1498, 2011.

BOECK, G. Ordering platinum metals – the contribution of Julia Lermontova (1846/47-1919). In: LYKKNES, A.; VAN TIGGELEN, B. (Orgs.). *Women in their Elements: selected women's contributions to the periodic system*. Singapore: World Scientific, 2019.

BONNELLE, C. Yvette Cauchois. *Physics Today*, v. 54, n. 4, 88-89, 2001.

CHAPMAN, K. *Superheavy: making and breaking the periodic table*. London: Bloomsbury, 2019.

CURIE, M. *Escritos Biográficos*. Barcelona: Edicions UAB, 2011.

DANTAS, M. C. S. M. *Histórias cruzadas de mulheres nas ciências: descobertas e obstáculos em busca de novos elementos químicos da tabela periódica*. Dissertação de Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Faculdade de Educação, Universidade Federal da Bahia /Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2022.

EZOLD, J. Life as an element discoverer. *Chemical & Engineering News*, v. 97, n. 31, p. 34-35, 2019.

FERNANDES, L. S. Uma discussão sobre a descoberta do tecnécio à luz de alguns aspectos da natureza da Ciência. *Química Nova na Escola*, v. 43, n. 3, p. 305-310, 2022.

FONTANI, M.; COSTA, M. e ORNA, M. V. *The Lost Elements: The Periodic Table's Shadow Side*. New York: Oxford University Press, 2015.

FREDERICK-FROST, K. The life and career of James Andrew Harris: let's ask more of history. *Journal of Chemical Education*, v. 98, n. 4, p. 1242-1248, 2021.

FREITAS, N. M. A. M. e BALDINATO, J. O. Harriet Brooks e a tabela periódica: um caso para valorizar a participação feminina na história da ciência. *Revista Brasileira de História da Ciência*, v. 16, n. 1, p. 311-335, 2023.

GOLDFARB, A. M. A. *O que é História da Ciência?*. São Paulo: Brasiliense, 1994.

HOFFMAN, D. C.; GHIORSO, A. e SEABORG, G. T. *The Transuranium People: the inside history*. London: Imperial College Press, 2001.

KAROL, P. J.; BARBER, R. C.; SHERRILL, B. M.; VARDACI, E. e YAMAZAKI, T. Discovery of the elements with atomic numbers $Z = 113$, 115 and 117. *Pure and Applied Chemistry*, v. 88, n. 1-2, p. 139-153, 2016.

KAROL, P. J.; BARBER, R. C.; SHERRILL, B. M.; VARDACI, E. e YAMAZAKI, T. Discovery of the element with atomic number $Z = 118$ completing the 7th row of the periodic table. *Pure and Applied Chemistry*, v. 88, n. 1-2, p. 155-160, 2016.

KRAGH, H. The Periodic System and the idea of a chemical

element: from Mendeleev to superheavy elements. *Centaurus*, v. 61, n. 4, p. 329-344, 2020.

LYKKNES, A. e VAN TIGGELEN, B. *Women in their Elements: selected women's contributions to the periodic system*. Singapore: World Scientific, 2019.

MARSHALL, J. L. Ida Noddack: foreteller of nuclear fission. In: MAINZ, V. V.; STROM, E. T. (Orgs.). *The Posthumous Nobel Prize in Chemistry: Ladies in waiting for the Nobel Prize*. Washington: American Chemical Society, 2018.

NOBEL FOUNDATION. *The Nobel Prize in Chemistry 1911*. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1911/marie-curie/facts/>, acesso em: jul. de 2024.

RAYNER-CANHAM, M. F. e RAYNER-CANHAM, G. W. *A Devotion to Science: pioneer women of radioactivity*. Philadelphia: Chemical Heritage Foundation, 1997.

RAYNER-CANHAM, M. e RAYNER-CANHAM, G. Marguerite Perey: the discoverer of francium. In: LYKKNES, A.; VAN TIGGELEN, B. (Orgs.). *Women in their Elements: selected women's contributions to the periodic system*. Singapore: World Scientific, 2019.

ROQUÉ, X. Lise Meitner and protactinium. In: LYKKNES, A.; VAN TIGGELEN, B. (Orgs.). *Women in their Elements: selected women's contributions to the periodic system*. Singapore: World Scientific, 2019.

SCERRI, E. *The Periodic Table: its story and its significance*. 2^a ed. New York Oxford University Press, 2020.

SIME, R. L. *Lise Meitner: a life in Physics*. Berkeley: University of California Press, 1997.

SOUZA, J. M. C. *Contribuições das mulheres cientistas para a descoberta de elementos químicos e suas implicações para o desenvolvimento da tabela periódica*. Dissertação de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional, Departamento de Química, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2024.

THORNTON, B. F. e BURDETTE, S. C. Finding eka-iodine: discovery priority in modern times. *Bulletin for the History of Chemistry*, v. 35, n. 2, p. 86-96, 2010.

TRINDADE, L. S. P.; BELTRAN, M. H. R. e TONETTO, S. R. *Práticas e Estratégias Femininas: histórias de mulheres nas ciências da matéria*. São Paulo: Livraria da Física, 2016.

VAN TIGGELEN. Spying on shy elements: Yvette Cauchois and her spectograph. In: LYKKNES, A.; VAN TIGGELEN, B. (Orgs.). *Women in their Elements: selected women's contributions to the periodic system*. Singapore: World Scientific, 2019.

WALTER, K. Present at the creation. *Science & Technology Review*, v. 1, p. 16-23, 2002.

WEEKS, M. E. *Discovery of the Elements*. 6^a ed. Easton: Journal of Chemical Education, 1960.

Abstract: *Women scientists and the discovery of chemical elements.* Historical narratives about the discovery of chemical elements (CEs) predominantly feature male characters. Seeking to give visibility to characters who have been made invisible by the traditional historiography of science, this study investigated the participation of female scientists in the discovery of CEs. For this purpose, primary and secondary historical sources were consulted. The analysis of these sources revealed that fourteen female scientists participated in the discovery of fourteen CEs: Po, Ra, Pa, Re, Fr, At, Db, Rf, Sg, Fl, Mc, Lv, Ts and Og. In addition, some of them, such as Marie Curie (1867-1934) and Lise Meitner (1878-1968), contributed to the development of theories that led to the discovery of radioactive and artificial CEs. It is expected that the historical survey carried out will be used in Chemistry teaching both to discuss scientific concepts and to debate gender issues in science.

Keywords: women scientists, chemical elements, History of Chemistry

De vala à córrego: Transformando a percepção ambiental através da aprendizagem baseada em projeto no ensino de Química

Iago G. Costa, Maria C. S. Gomes, Gabriel J. Curti e Cristiane Pilissão

A poluição hídrica em rios urbanos é um problema significativo em muitas cidades brasileiras. Para enfrentar esse desafio, diversas iniciativas buscam reduzir o descarte inadequado de poluentes e minimizar as águas residuais, conforme preconizado pelo sexto Objetivo do Desenvolvimento Sustentável da ONU. No contexto escolar, a metodologia “Aprendizagem Baseada em Projetos” (ABP) se destaca como uma abordagem eficaz, envolvendo os estudantes em projetos autênticos que promovem o desenvolvimento sustentável. Neste trabalho, a ABP foi aplicada no Programa de Residência Pedagógica (CAPES/MEC) com uma turma de 2º ano do ensino médio, abordando a problemática da poluição do Córrego Capão da Imbuia, adjacente à escola. Os estudantes foram divididos em grupos para criar iniciativas que reduzissem o descarte inadequado de plásticos no córrego. O projeto aumentou o engajamento dos estudantes nas aulas de Química e elevou a conscientização da comunidade escolar sobre a questão ambiental do córrego.

► poluição hídrica, desenvolvimento sustentável, metodologia baseada em projetos ◀

Recebido em 28/08/2024; aceito em 31/03/2025

74

Introdução

No Brasil, estima-se que mais de 3 milhões de toneladas de resíduos sólidos vão parar nos rios e mares todos os anos, quantidade suficiente para cobrir mais de 7 mil campos de futebol (Souza *et al.*, 2023; Fraga Filho, 2023; Lino *et al.*, 2023). A poluição hídrica em rios urbanos é um problema recorrente que afeta muitas cidades (Mendes *et al.*, 2020; Veról *et al.*, 2020; Dantas *et al.*, 2021).

Diversas iniciativas voltadas à conservação das águas têm sido implementadas, sendo um dos temas centrais da Agenda 2030 da ONU. Um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) dessa agenda é “Garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e o saneamento básico para todos” (Kufeoglu, 2022; Sharma e Katoch, 2022; Moreira *et al.*, 2019; Blumenberg *et al.*, 2018; ONU, 2024). Cada ODS inclui metas específicas relacionadas ao tema, e no caso do sexto objetivo, “Água Potável e Saneamento”, a terceira meta foca na poluição dos rios. Ela busca reduzir o descarte inadequado de poluentes e diminuir à metade a proporção de águas residuais, assegurando a preservação desse recurso, que ainda é escasso em muitas regiões do país (Obaideen *et al.*, 2022; ONU, 2024).

Considerando que a ONU ocupa a posição de instituição

mediadora do bem comum em escala mundial, as instituições de ensino desempenham papel semelhante, conforme estabelecido no parágrafo único da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), Lei nº 9.394/96 (Brasil, 1996):

A educação no Brasil deve ser baseada nos princípios da igualdade de condições para o acesso e permanência na escola, da liberdade de aprender, ensinar, pesquisar e divulgar o pensamento, da pluralidade de ideias e de concepções pedagógicas, e do respeito à liberdade e apreço à tolerância.

Progredindo nesta mesma direção da Educação brasileira, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que orienta os procedimentos pedagógicos e metodológicos, estabelece que a Educação Básica deve desenvolver em seus estudantes algumas competências. De acordo com este documento, competência corresponde aos conhecimentos mobilizados, operados e aplicados em situações que exigem sua utilização para tomar decisões pertinentes (Brasil, 2018).

Entre as dez competências gerais da Educação Básica, a décima é enunciada da seguinte maneira: “Agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, tomando decisões com base

em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários” (Brasil, 1996; Brasil, 2018). Assim, a BNCC deixa claro que, além de compreender o indivíduo como portador de habilidades que são aperfeiçoadas pelo processo de ensino e aprendizagem, ele deve ser capaz de agir em sua realidade em prol da prática do bem comum (Brasil, 1996).

Cabe também citar as Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica, documento que referencia as propostas pedagógicas dos colégios e escolas no Brasil, e que descreve o ato de educar como ação que “exige cuidado; cuidar é educar, envolvendo acolher, ouvir, encorajar, apoiar, no sentido de desenvolver o aprendizado de pensar e agir, cuidar de si, do outro, da escola, da natureza, da água, do Planeta” (Brasil, 1996; Bender *et al.*, 2015), assim reforçando a responsabilidade civil e social da Educação, categorizando a aprendizagem como característica inerente ao ser humano e o ensino como a melhor forma de contemplar as diferentes capacidades do indivíduo para seu desenvolvimento pleno (Santos, 2019).

É comum observar que os estudantes apresentam certa resistência ao aprendizado de conceitos químicos, o que pode ser atribuído à complexidade dos conteúdos e à abordagem de ensino adotada (Coelho *et al.*, 2021). A aprendizagem baseada em projetos (ABP) tem se mostrado promissora no aprendizado dos estudantes, quando comparada às tradicionais aulas expositivas dialogadas. Isso corrobora com os estudos de William Glasser (1925 - 2013), que indicam que a aprendizagem ocorre da seguinte forma: 10% por meio da leitura, 20% por meio da escrita, 50% por meio da observação e escuta, 70% por meio da discussão e 80% por meio da prática (Lima *et al.*, 2023).

A ABP é uma metodologia de ensino que permite aos estudantes confrontar questões e problemas do cotidiano que consideram significativos. Nessa abordagem, os estudantes determinam como abordar tais questões e, em seguida, agem de forma cooperativa para buscar soluções (Almulla, 2020; Bender *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2023; Pereira, 2022; Saad e Zainudin, 2022; Omer, 2021; Lima *et al.*, 2023).

A ABP pode ser definida pela utilização de projetos autênticos e realistas, fundamentados em questões, tarefas ou problemas altamente motivadores e envolventes. Essa metodologia visa não apenas ensinar conteúdos acadêmicos, mas também promover a autonomia, comunicação, colaboração e reflexão dos estudantes. No contexto do trabalho cooperativo para a resolução de problemas, a ABP resulta em altos níveis de engajamento com o conteúdo acadêmico (Bender *et al.*, 2015; Zhang e Ma, 2023; Omer, 2021).

Além disso, ao trabalhar com temas relevantes, os projetos oferecem ao professor a oportunidade de dialogar com os estudantes e flexibilizar seu planejamento, permitindo que estes construam sua autonomia, e se tornem sujeitos ativos em seu processo de aprendizagem (Brasil, 2013; Wahbeh *et al.*, 2021).

Os recursos hídricos são temas importantes a serem trabalhados em sala de aula por meio de projetos, com o objetivo de desenvolver competências, uma vez que estão presentes em diversos contextos do cotidiano, com destaque para sua relevância social, ambiental, tecnológica e econômica (Cosgrove e Loucks, 2015; El-Nwsany *et al.*, 2019; Lalor *et al.*, 2020).

Projetos que contextualizam os problemas relacionados à água apresentam resultados capazes de conscientizar professores, estudantes e comunidade escolar sobre a realidade ao seu redor. Há relatos de resultados positivos, destacando melhorias na compreensão do conteúdo e mudanças nas atitudes dos envolvidos no processo de ensino e aprendizagem (Bacci e Patata, 2008; Freitas e Marin, 2015; Santos e Compiani, 2009; Munerol *et al.*, 2024; Souza e Ibiapina, 2023).

Aplicar a ABP em uma turma do ensino médio de uma escola pública é uma estratégia viável para buscar melhores desempenhos dos estudantes nos componentes curriculares. Diferente de metodologias que exigem grande investimento financeiro ou materiais específicos, a ABP pode ser facilmente implementada, mesmo com recursos limitados. Sendo fundamentada em projetos, ela permite explorar ideias próximas à realidade dos estudantes e sua aplicabilidade prática, tornando-se uma abordagem econômica e eficiente para aproximar os estudantes dos componentes curriculares e da escola.

A aprendizagem baseada em problemas pode ser comparada aos projetos de extensão, comuns nas universidades, apresentando os mesmos pontos positivos, como maior engajamento dos estudantes com o ambiente e com outros indivíduos, além da aquisição de habilidades socioemocionais, artísticas e profissionais. Dessa forma, o estudante pode se desenvolver de maneira mais ampla e envolvente (Oliveira *et al.*, 2020; Souza e Dourado, 2015).

Este trabalho tem como objetivo abordar a metodologia baseada em projetos dentro da temática poluição hídrica do Córrego Capão da Imbuia, localizado próximo ao Colégio Estadual Paulo Leminski na cidade de Curitiba - Paraná, com a proposta de os estudantes desenvolverem um projeto que reduza o descarte inadequado de plásticos no córrego.

Aplicar a ABP em uma turma do ensino médio de uma escola pública é uma estratégia viável para buscar melhores desempenhos dos estudantes nos componentes curriculares. Diferente de metodologias que exigem grande investimento financeiro ou materiais específicos, a ABP pode ser facilmente implementada, mesmo com recursos limitados. Sendo fundamentada em projetos, ela permite explorar ideias próximas à realidade dos estudantes e sua aplicabilidade prática, tornando-se uma abordagem econômica e eficiente para aproximar os estudantes dos componentes curriculares e da escola.

O presente trabalho foi realizado ao longo do 1º e 2º trimestres de 2023, em colaboração com o Programa de Residência Pedagógica (PRP/CAPES) no componente curricular em Química, o qual foi estruturado a partir da metodologia de ABP. O projeto desenvolvido, “*Eu Olho pro Rio*”, em parceria com a Fundação SOS Mata Atlântica, teve por objetivo analisar o Córrego Capão da Imbuia, corpo d’água que é adjacente ao Colégio Estadual Paulo Leminski, e que se encontra afetado por poluentes, como efluentes domésticos e material plástico (Figura 1).

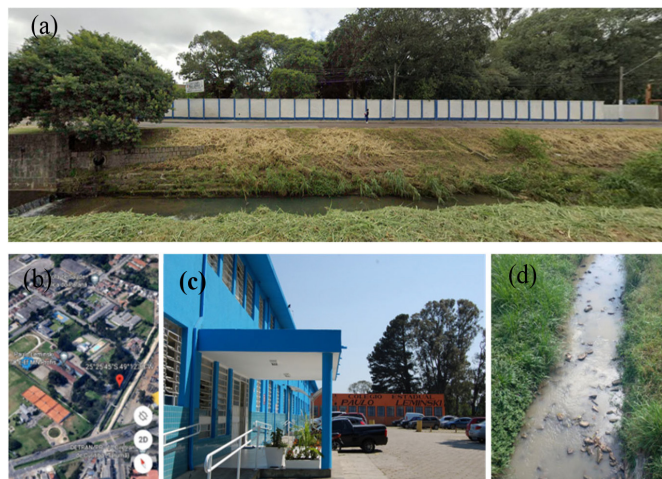


Figura 1. (a) Leito do Córrego Capão da Imbuia nas adjacências a escola; (b) Localização georreferenciada da escola; (c) Fachada da escola; (d) Córrego Capão da Imbuia.

A metodologia ativa ABP foi aplicada a uma turma de 2º Ano do ensino médio, com o objetivo de promover a compreensão e análise crítica da problemática poluição hídrica. Para isso, foi realizada uma visita Diagnóstica ao Córrego Capão da Imbuia. Durante a visita, identificou-se o descarte inadequado de materiais plásticos como o principal problema. Com base nessa observação, os estudantes foram divididos em grupos para idealizar, projetar e desenvolver iniciativas voltadas à redução do descarte inadequado de plásticos no córrego. O desenvolvimento deste projeto foi dividido em dois momentos, que serão detalhados ao longo do trabalho. A representação esquemática das etapas do projeto está ilustrada na Figura 2.

Paralelamente ao desenvolvimento do projeto, os conteúdos do curso de Química foram abordados ao longo dos trimestres, em conformidade com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e o Referencial Curricular do Estado do Paraná.

O projeto foi desenvolvido ao longo de dois momentos: **Momento 1**, realizado durante o primeiro trimestre de 2023, que consistiu na redação de um Projeto de Iniciação Científica por grupo. Nessa etapa, foi realizada uma visita diagnóstica ao Córrego para identificar os problemas ambientais associados, bem como perguntas norteadoras, com o objetivo de orientar os estudantes na pesquisa e construção

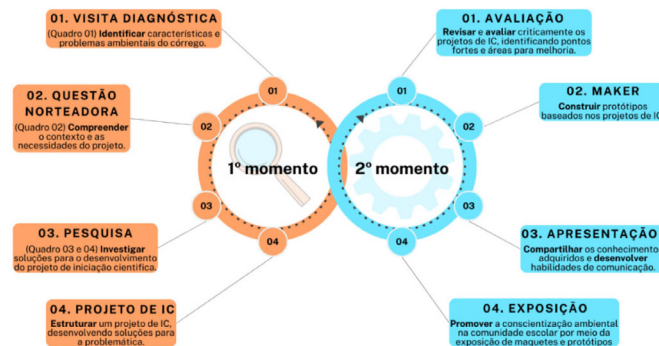


Figura 2. Ciclo de atividades desenvolvidas nos dois momentos do projeto “Eu olho pro Rio” e respectivos objetivos de cada etapa.

do projeto de iniciação científica. Já o **Momento 2**, ocorrido no segundo trimestre de 2023, teve como objetivo a construção do artefato pedagógico (prototipagem) planejado no Momento 1, envolvendo propostas para reduzir o descarte inadequado de plásticos no córrego.

Inicialmente, a turma foi dividida em grupos de até seis estudantes e orientada a preencher uma ficha de campo (Visita Diagnóstica), com perguntas que levassem os estudantes a refletir sobre a condição do córrego (Quadro 1).

Quadro 1. Perguntas direcionadas aos estudantes na Visita Diagnóstica (Atividade 1).

Pergunta
Qual é o nome do rio visitado?
No momento da visita havia lixo no rio ou em seu entorno? Se sim, que tipo de lixo você observou?
Ao observar a água do rio, como você descreveria seu aspecto?
As margens do rio apresentavam algum tipo de vegetação? Se sim, saberia identificá-la?
Foi percebido mau cheiro vindo da água do rio?
Identificou algum trecho do rio com assoreamento ou com possibilidade de assoreamento?
Você observou algum animal no rio ou no seu entorno? Se sim, saberia identificá-lo?
Observou alguma lixeira às margens do rio?
Havia alguma placa na área visitada incentivando o cuidado com o rio? Se sim, o que estava escrito?

Após a visita, foi realizada uma breve discussão em sala de aula sobre as observações dos estudantes referentes ao córrego. Para isso, utilizou-se a estratégia de “tempestade de ideias” (*brainstorming*), com a pergunta central:

“Como poderia ser reduzida a presença de plásticos no córrego?”

Posteriormente, os estudantes foram orientados a pesquisar aspectos geográficos, hidrográficos e históricos relacionados ao principal problema identificado na região do Córrego (Atividade 2; Quadro 2).

Após a Atividade 2 (Quadro 2), os estudantes foram orientados a solucionar o desafio em grupos, inicialmente

Quadro 2. Perguntas norteadoras após a visita diagnóstica dos estudantes ao Córrego (Atividade 2).

Pergunta
<i>O córrego que passa ao lado do colégio pertence a qual bacia hidrográfica? Indique os nomes dos principais rios desta bacia hidrográfica.</i>
<i>Explique como está a situação dos corpos d'água dessa bacia hidrográfica.</i>
<i>Explique como era o córrego do Colégio no passado.</i>
<i>Qual(is) foi/foram o(s) principais problemas constatados no córrego.</i>
<i>Explique como esse(s) problema(s) poderia(m) ser resolvido(s).</i>

com a Redação de um projeto de Iniciação Científica, que envolvia a proposta de artefato pedagógico, desenvolvido a partir de investigações e discussões entre os pares. Nessa etapa, foi realizada uma explicação sobre a redação do Projeto de Iniciação Científica, e um modelo de documento editável foi compartilhado com os estudantes e disponibilizado na Plataforma *Google Classroom*. O documento consistia em perguntas norteadoras para a elaboração do projeto, além de uma explicação sobre como estruturá-lo. (Quadro 3 – Atividades 3 e 4).

Posteriormente, os estudantes reuniram-se com seus respectivos grupos para preencher as questões norteadoras representadas no Quadro 4 (Atividade 5).

Com base nas respostas dos estudantes na Atividade 5 (Quadro 4) foram discutidos os conteúdos relacionados ao componente Química do 1º Trimestre (Momento 1) e do 2º Trimestre (Momento 2), procurando sempre contextualizar com o tema recursos hídricos, e seguindo orientações do Referencial Curricular do Estado do Paraná.

No 2º Trimestre (Momento 2) (Atividade 6), os estudantes foram orientados quanto à prototipagem do projeto (artefato pedagógico que pudesse representar a solução do desafio proposto no 1º Trimestre, no Momento 1). Cada grupo teve a liberdade de produzir o artefato de acordo com suas preferências e habilidades, como maquetes, protótipos 3D elaborados em *softwares*, apresentação de imagens ou vídeo. Duas aulas foram disponibilizadas para que os grupos realizassem a concepção dos protótipos na sala de robótica do Colégio.

Após finalizados os protótipos, cada grupo fez uma apresentação para a turma, explicando o protótipo construído, bem como sua utilidade, descrevendo como isso resolveria o que foi problematizado. Por fim, foi realizada uma exposição dos trabalhos para a comunidade escolar.

Resultados e discussão

Momento 1: Redação do projeto de Iniciação Científica

No primeiro dia de aula, após uma apresentação sucinta do curso, os estudantes realizaram uma visita diagnóstica ao Córrego Capão da Imbuia, corpo d'água cujo leito é

Quadro 3. Perguntas norteadoras para a escrita do projeto de Iniciação Científica (proposta de um artefato pedagógico).

	Descrição
Atividade 3	<i>Explique qual é a importância da água para a sociedade, e como as moléculas dessa substância podem ser representadas na química [mostre a representação da estrutura molecular da água e faça desenhos para representar como as interações moleculares são formadas entre as moléculas de água (indique, próximo a este desenho, o nome das interações intermoleculares presentes entre as moléculas)].</i>
	<i>Explique o que são bacias hidrográficas (cole imagem das bacias hidrográficas brasileiras). Por fim, indique o nome da bacia hidrográfica onde está o córrego Capão da Imbuia.</i>
	<i>Explique em detalhes como estão os rios brasileiros.</i>
	<i>Explique o que são plásticos, e represente as fórmulas moleculares, estruturais e aplicações para cada um dos plásticos indicados abaixo:</i> • Polietileno tereftalato (PET); • Polietileno (PE); • Policloreto de vinila (PVC); • Polipropileno (PP); • Poliestireno (PS).
	<i>Explique quais impactos socioambientais estão relacionados com o descarte inadequado de plásticos.</i>
Atividade 4	<i>Pesquise e explique quais ações ou tecnologias podem contribuir com a redução de plásticos nos recursos hídricos.</i>
	Contexto: Criado há quase um século, o plástico, que trouxe inúmeras facilidades à vida moderna, devido à sua praticidade e resistência, acabou tornando-se um dos materiais mais utilizados no mundo. No entanto, esse material acabou favorecendo problemas ambientais, como a poluição de córregos e oceanos. Problematização: "Como poderia ser reduzida a presença de plásticos no córrego?" Orientação: Explique, em detalhes, que tipo de solução tecnológica seu grupo propõe para responder à problematização (explique detalhadamente como funcionará sua ideia).

Quadro 4. Questões norteadoras para melhor entendimento sobre os problemas hídricos relacionados aos plásticos (Atividade 5).

Pergunta
<i>Como a quantidade de plásticos poderia ser reduzida na natureza?</i>
<i>Defina plásticos.</i>
<i>Que tipo de solução tecnológica poderia contribuir para minimizar a quantidade de plásticos no córrego?</i>

adjacente ao colégio, e avaliaram a condição do meio, processo que é fundamental para compreender eventuais impactos ambientais na região analisada (Figura 3).

Perguntas direcionadas aos estudantes foram realizadas na ficha campo (Atividade 1) e a partir das respostas pôde-se avaliar suas percepções sobre: a qualidade da água, a vegetação nas margens do rio, a presença de mau cheiro, assoreamento, observação de animais, presença de lixeiras e a identificação dos principais problemas ambientais.

As impressões e percepções sobre a água e o córrego foram divergentes entre os grupos. Um fato relevante foi a mudança de mentalidade dos estudantes ao constatarem que o corpo d'água analisado não era uma vala e, sim, um córrego.

Um dos grupos descreveu “a água como: suja, com musgo, cor verde e a presença de bastante lixo”, enquanto outro descreveu-a como: “clara, porém com resíduos sólidos”. Tal disparidade pode ser atribuída à subjetividade na observação do ambiente e à interpretação individual dos estudantes sobre o conceito de água limpa. No entanto, ambas as descrições apontam para a presença de poluentes, evidenciando a preocupação com a qualidade da água no córrego.

A identificação de vegetação nas margens do córrego foi consistente entre os grupos. Um dos grupos mencionou “a presença de mato”, enquanto o outro o identificou como “capim”. A variedade de vegetação observada sugere uma diversidade de habitats ao longo do córrego, o que pode influenciar a biodiversidade local e a estabilidade do ecossistema ribeirinho.

Quanto à percepção de mau cheiro, um dos grupos relatou que sua presença “depende do dia”, enquanto o outro afirmou “não perceber mau cheiro devido à distância do córrego”. Tal contraste pode estar relacionado à sensibilidade individual dos estudantes ao odor e à influência de fatores ambientais, assim como devido à presença de poluentes orgânicos na água.

Quanto à análise de trechos do córrego com relação ao assoreamento ou a possibilidade deste, houve menção por

ambos os grupos. Um dos grupos “descreveu a presença de terra e cimento”, enquanto o outro indicou “a presença de rochas”. Essas observações indicam a ocorrência de processos erosivos e deposição de sedimentos ao longo do leito do córrego, o que pode afetar a dinâmica fluvial e a qualidade da água.

Em relação à observação de animais, um dos grupos relatou “a presença de rãs e peixes”, enquanto o outro “não observou nenhum animal”. Essa disparidade pode refletir diferenças na percepção dos grupos ou quanto à diversidade da fauna do local. No entanto, a presença de animais indica a existência de habitats adequados para a vida selvagem, apesar das condições adversas.

“A ausência de lixeiras às margens do córrego” foi

observada por ambos os grupos, sugerindo uma falta de infraestrutura para a destinação adequada de resíduos sólidos. Isto ressalta a necessidade de implementação de medidas de gestão de resíduos e de educação ambiental para minimizar a poluição do córrego e preservar a qualidade ambiental da área.

Os principais problemas ambientais identificados pelos grupos incluíram a presença de esgoto, lixo sólido e plástico no córrego, conforme representado na Figura

4. Essas observações destacam a gravidade da poluição ao Córrego Capão da Imbuia e a urgência de ações para mitigar seus impactos negativos sobre a saúde dos ecossistemas aquáticos e a qualidade de vida da comunidade local. Dentre os problemas elencados, o mais mencionado pelos estudantes foi a “presença de plásticos ao longo do córrego”.

Sabe-se que a poluição ambiental ocasionada pela gestão inadequada dos resíduos plásticos tem sido considerada uma ameaça global, visto que esses poluentes podem persistir no ambiente por anos e causar efeitos adversos, numa ampla gama de organismos (Caixeta *et al.*, 2023).

Considerando que o descarte inadequado de plástico no córrego é um ponto de atenção para a comunidade escolar e levando em conta a ameaça global representada por esses tipos de materiais, esse contexto favorece a aprendizagem

Um dos grupos descreveu “a água como: suja, com musgo, cor verde e a presença de bastante lixo”, enquanto outro descreveu-a como: “clara, porém com resíduos sólidos”. Tal disparidade pode ser atribuída à subjetividade na observação do ambiente e à interpretação individual dos estudantes sobre o conceito de água limpa. No entanto, ambas as descrições apontam para a presença de poluentes, evidenciando a preocupação com a qualidade da água no córrego.



Figura 3. Estudantes na visita diagnóstica ao Córrego Capão da Imbuia [Atividade 1 - (03/2023)].



Figura 4. Imagens que mostram uma cena comum ao longo das margens do córrego: A presença de material plástico (03/2023).

significativas dos estudantes. A teoria da aprendizagem significativa (TAS) considera que o indivíduo aprende à medida que novos conhecimentos são incorporados em suas estruturas cognitivas, a partir dos conhecimentos prévios relevantes. Esse processo integra novas informações, permitindo que aquele que aprende adquira conhecimento (Silva, 2020).

Os estudantes realizaram investigações acerca de aspectos geográficos e responderam individualmente sobre as características hidrográficas da região (Quadro 2 - Atividade 2). A consulta inicial foi em torno da bacia do córrego e de seus rios tributários. As respostas apresentaram pequenas variações, mas a maioria dos estudantes concordou que “o córrego faz parte da Bacia do Rio Atuba”. Durante a correção da Atividade 2, foi realizada uma aula expositiva que abordou aspectos relacionados às bacias hidrográficas brasileiras.

Houve consenso entre a maioria dos estudantes que “a condição dos corpos d’água é motivo de preocupação”. Eles enfatizaram questões como “poluição decorrente do descarte inadequado de resíduos, assoreamento resultante do desmatamento nas margens e falta de consciência ambiental”. Os fundamentos fornecidos incluíram o desenvolvimento urbano desordenado e a ausência de medidas eficazes de conservação ambiental na área.

A maioria dos estudantes achou difícil descrever como era o córrego no passado. Um número significativo destes propôs a necessidade de instituir programas de educação ambiental em escolas e comunidades, defender a reciclagem e o descarte adequado de resíduos, e de empreender iniciativas de reflorestamento ao longo das margens dos riachos.

Tais resultados demonstram a importância do papel da educação na compreensão das questões ambientais, que proporcione nas escolas espaços de sensibilização e capacitação de estudantes para uma tomada de consciência e ações concretas, aquisição de conhecimentos que permitam sua integração com a comunidade e a compreensão crítica da complexidade do mundo contemporâneo (Dajori *et al.*, 2016).

Constatou-se que, de modo geral, os estudantes compreenderam que a substância água possui a fórmula molecular H_2O , composta por dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio, e que sua fórmula estrutural pode ser escrita como H-O-H. Além disso, observou-se que houve compreensão sobre a presença de ligações de hidrogênio entre as moléculas, caracterizadas como fortes interações intermoleculares que conferem à água suas propriedades físico-químicas, como elevada coesão, alta tensão superficial e grande capacidade térmica.

Diante das perguntas norteadoras (Atividades 3 e 4), um dos grupos acentuou que “a água serve como uma substância extremamente crucial para o corpo humano, contribuindo para sua composição e participando de diversos processos metabólicos. Sua aproximação sugere que, em um indivíduo adulto, 60% da massa corporal é composta por água. Quimicamente, a água é representada por moléculas de H_2O , unidas através de interações intermoleculares. Esses átomos distribuem elétrons de forma desigual, gerando uma polaridade caracterizada por cargas positivas e negativas”. Por outro lado, outro grupo ressaltou que “a água é indispensável não apenas para o corpo humano, mas também para o sustento da vida na Terra, assumindo um papel fundamental nos ecossistemas, na agricultura e na indústria”, conforme representada na Figura 5.

Constatou-se que, de modo geral, os estudantes compreenderam que a substância água possui a fórmula molecular H_2O , composta por dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio, e que sua fórmula estrutural pode ser escrita como H-O-H. Além disso, observou-se que houve compreensão sobre a presença de ligações de hidrogênio entre as moléculas, caracterizadas como fortes interações

intermoleculares que conferem à água suas propriedades físico-químicas, como elevada coesão, alta tensão superficial e grande capacidade térmica.

Os alunos foram encarregados de investigar o conceito de bacias hidrográficas e de identificar a bacia que abrange o córrego Capão da Imbuia. Um dos grupos expôs que “uma bacia hidrográfica compreende um conjunto de territórios delineados pela divisão da água e drenados por um rio principal, seus afluentes e subtributários. A bacia hidrográfica é reconhecida como a entidade territorial para

organização e administração da água”. Outro grupo complementou a elucidação identificando a localização precisa do córrego Capão da Imbuia, situado na bacia do rio Iguaçu, e forneceu uma ilustração das bacias hidrográficas brasileiras.

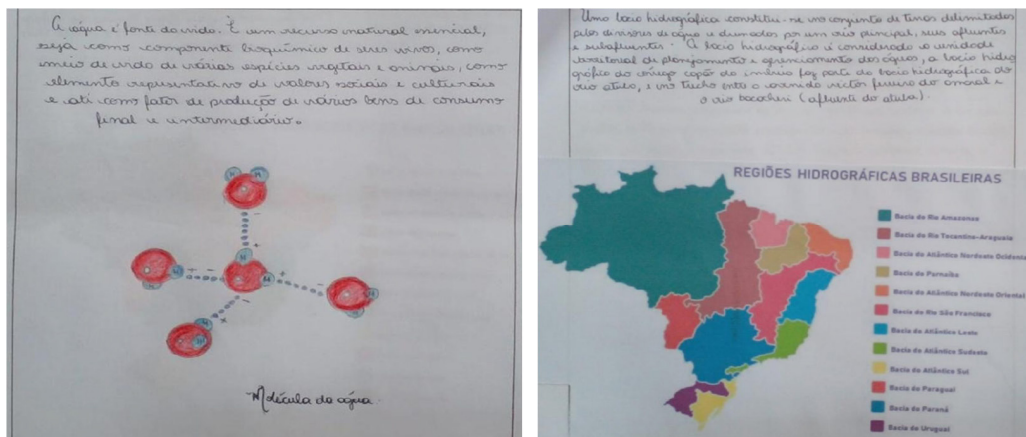


Figura 5. Realização da atividade 3 pelos estudantes ao longo do período letivo.

A maior parte dos estudantes conseguiu compreender o conceito de bacia hidrográfica e determinar a localização da bacia em que se encontra o córrego estudado. Isso contribuiu não apenas para a alfabetização científica, mas também levou os estudantes a mudarem a percepção que tinham em relação ao corpo d'água adjacente ao colégio, tratando-o, ao invés de uma vala, como córrego. Esse fato foi muito positivo, pois proporcionou uma maior conscientização sobre a necessidade de preservação dos recursos hídricos (Bergmann, 2008; Chassot, 2003).

Algumas representações das respostas dos estudantes podem ser vistas na Figura 5.

A terceira questão norteadora da Atividade 3 teve como objetivo enriquecer a compreensão dos estudantes sobre os rios brasileiros. Um dos grupos apresentou os resultados de uma avaliação realizada pela organização não governamental SOS Mata Atlântica sobre a condição dos rios brasileiros de 2020 a 2021, que indicava que de 130 locais monitorados, 95 (73,1%) exibiram qualidade média da água, 22 (16,9%) foram categorizados como de baixa qualidade e 13 (10%) foram considerados em boas condições. O outro grupo mostrou que vários rios brasileiros estão enfrentando um estado crítico devido à contaminação e ao desmatamento.

A reflexão referente aos dados pesquisados pelos estudantes permite a construção de uma consciência coletiva acerca dos problemas enfrentados pela sociedade. Neste sentido, a educação ambiental é um aprendizado voltado para a formação da consciência sobre a postura do homem em relação ao meio ambiente, informar e sensibilizar as pessoas sobre os problemas ambientais buscando novas soluções, transformando o indivíduo em participante nas decisões de sua comunidade. As questões referentes à poluição, degradação, aquecimento global têm sido temas centrais na estrutura da pedagogia ambiental. Isso

possibilita o desenvolvimento de uma consciência ética e ambiental ativa que é base da transformação social e cultural em direção à criação de uma geração sustentável (Barbosa *et al.*, 2018; Jacobi, 2003; Mishra *et al.*, 2021).

A quarta questão, por outro lado, teve como objetivo avaliar a capacidade dos estudantes em representar as fórmulas estruturais de alguns polímeros encontrados no seu cotidiano, bem como seu uso prático. Os grupos apresentaram as fórmulas moleculares e estruturais, além de suas aplicações. Entre os polímeros mencionados estavam: o Tereftalato de polietileno (PET) - $C_{10}H_8O_4$, utilizado predominantemente em garrafas e embalagens de alimentos. Polietileno (PE) - $(C_2H_4)_n$, presente em sacos plásticos e frascos de detergente. Cloreto de polivinil (PVC) - $(C_2H_3Cl)_n$, empregado em revestimentos de tubos e cabos. Polipropileno (PP) - $(C_3H_6)_n$, utilizado em embalagens e componentes automotivos. Poliestireno (PS) - $(C_8H_8)_n$, empregado em copos descartáveis e embalagens de alimentos.

Os estudantes destacaram o uso desses polímeros em aplicações cotidianas e observaram que os cinco polímeros

citados representam uma parcela significativa da produção global de plásticos, corroborando os dados relatados de Geyer *et al.* (2017). Dentre eles o PE, PP e PET se destacam, sendo responsáveis por 79% de toda a produção de plásticos do mundo.

Posteriormente, foi realizada uma análise sobre as repercussões socioambientais associadas ao descarte inadequado de plásticos. Dados do estudo de Geyer *et al.* (2017) mostram que, até 2015, cerca de 6300 Mt de resíduos plásticos foram gerados, dos

quais apenas 9% foram reciclados, 12% incinerados e 79% descartados em aterros ou no ambiente natural. Os grupos concordaram que o descarte inadequado de plástico leva a consequências socioambientais notáveis, incluindo poluição do corpo d'água, impactando a fauna e flora, promovendo o

A reflexão referente aos dados pesquisados pelos estudantes permite a construção de uma consciência coletiva acerca dos problemas enfrentados pela sociedade. Neste sentido, a educação ambiental é um aprendizado voltado para a formação da consciência sobre a postura do homem em relação ao meio ambiente, informar e sensibilizar as pessoas sobre os problemas ambientais buscando novas soluções, transformando o indivíduo em participante nas decisões de sua comunidade.

surgimento de ilhas de plástico nos oceanos e potencialmente infiltrando-se na cadeia alimentar, apresentando riscos à saúde humana.

Posteriormente, os estudantes reuniram-se com seus respectivos grupos e realizaram o preenchimento do questionário representado no Quadro 4 (Atividade 5), para organizar as etapas e o planejamento para a solução do desafio.

Ao comparar as respostas dos dois grupos, observamos diferentes abordagens e pontos de vista. Sobre como a quantidade de plásticos poderia ser reduzida na natureza, um dos grupos sugeriu que a redução dos plásticos na natureza pode ser alcançada por meio de campanhas de conscientização para redução do uso de plásticos descartáveis, aumento da reciclagem e adoção de políticas públicas que incentivem a utilização de materiais biodegradáveis. Essa visão é respaldada por estratégias políticas como a proposta pela Comissão Europeia para plásticos em uma economia circular, que enfatiza a redução de resíduos plásticos por meio da conscientização pública e de regulamentações específicas (European Commission, 2018).

Outro grupo escreveu que “a redução dos plásticos pode ser obtida através da substituição de plásticos por materiais alternativos, como bioplásticos e papel, além da implementação de sistemas de depósito e retorno para embalagens plásticas”. Estudos sobre a viabilidade de bioplásticos e sistemas de economia circular mostram que tais alternativas são promissoras para reduzir impactos ambientais, embora ainda demandem maior investimento em pesquisa e políticas de incentivo (Patel *et al.*, 2023).

Quando questionados sobre a definição química de plásticos, um dos grupos definiu plásticos como polímeros sintéticos formados pela polimerização de monômeros derivados do petróleo, destacando sua maleabilidade e resistência. Em contraste, o outro grupo definiu plásticos como macromoléculas constituídas por longas cadeias de polímeros que podem ser moldadas sob calor e pressão, ressaltando a diversidade química que permite uma vasta gama de propriedades e aplicações. Essa descrição está alinhada com conceitos fundamentais da química dos polímeros, que destacam a relação entre estrutura molecular, propriedades físicas e as inúmeras aplicações dos materiais plásticos (Sperling, 2015).

As propostas dos grupos para solucionar o problema da presença de materiais plásticos nos córregos estão alinhadas com os desafios ambientais identificados durante a visita diagnóstica. Um dos grupos propôs a utilização de “ecobarreiras, barreiras flutuantes em córregos e rios para capturar resíduos plásticos, além de tecnologias de sensores para monitorar a presença de plásticos na água”. A construção das ecobarreiras envolve o uso de materiais reciclados, como garrafas PET e galões, que garantem a flutuação das estruturas. Essa solução busca reduzir os impactos ambientais associados à presença de materiais plásticos nos córregos, como o aumento da velocidade de assoreamento, contaminação microbiana, desequilíbrio da flora e fauna, odores desagradáveis e alteração do sistema de circulação de água.

Corroborando a proposta dos estudantes, experiências práticas com ecobarreiras, instaladas no Igarapé do Coroadó, em Manaus, demonstram a eficácia dessas estruturas na contenção de resíduos sólidos flutuantes, contribuindo diretamente para a melhoria da qualidade ambiental local (Ferreira *et al.*, 2024). Essas iniciativas sustentáveis têm o potencial de minimizar os danos ambientais ao reter detritos antes que se espalhem por corpos d’água maiores.

Alguns ajustes podem ser feitos para aprimorar a eficiência da barreira, por exemplo utilizar garrafas PET e galões reciclados como base para as ecobarreiras. No entanto, é fundamental garantir a higienização adequada desses materiais para evitar a contaminação do ambiente aquático. Além disso, incorporar sistemas de fácil acesso para a remoção dos resíduos pode aumentar a eficácia da solução. Estudos realizados no arroio Bernardina, no Rio Grande do Sul, demonstraram que ecobarreiras feitas com materiais reciclados possuem uma vida útil significativa e podem ser eficazes, desde que recebam manutenção regular (Rekowsky, 2021). Ao implementar um sistema de monitoramento contínuo das ecobarreiras e a criação de protocolos claros para sua manutenção, incluindo a substituição de materiais desgastados, são medidas essenciais para garantir sua eficácia ao longo do tempo.

Eles também propuseram a “pesquisa e desenvolvimento de enzimas ou microrganismos capazes de degradar plásticos de maneira eficiente”. Essa abordagem biotecnológica tem sido objeto de pesquisas recentes, como o trabalho de Yoshida *et al.* (2016), que descrevem o uso de bactérias para degradar plásticos como o PET de forma mais sustentável.

Por sua vez, outro grupo propôs a implementação de uma “armadilha de lixo, constituída por uma rede de fibras de alta resistência posicionada estrategicamente à frente dos pontos de descarte de resíduos das cidades”. Essa rede tem como objetivo coletar o lixo sem obstruir a passagem da água, permitindo posterior remoção dos resíduos por pessoal designado para essa tarefa. A proposta busca interceptar os materiais plásticos antes que se espalhem pelo córrego, contribuindo para a redução da poluição e preservação dos ecossistemas aquáticos locais. Essa solução tecnológica é consistente com estudos que destacam a importância de barreiras físicas para a captura de resíduos em ambientes aquáticos como medida imediata de mitigação da poluição (Lamb *et al.*, 2018).

Corroborando a proposta dos estudantes, Linzner e Salhofer (2014) demonstram que armadilhas de resíduos em sistemas de drenagem urbana são eficazes na retenção de materiais sólidos, sem prejudicar o fluxo de água, constituindo uma solução prática e aplicável a diferentes contextos urbanos. A utilização de fibras de alta resistência na construção dessas armadilhas é uma escolha adequada para garantir a durabilidade da estrutura.

No entanto, é importante considerar o impacto ambiental dos materiais utilizados e optar por opções sustentáveis sempre que possível. Posicionar as armadilhas de lixo logo à frente dos pontos de descarte de resíduos nas cidades é uma

abordagem inteligente para interceptar os materiais antes que eles se espalhem pelos córregos.

Projetos como o CounterMEASURE, da ONU Meio Ambiente, sugerem o uso de ciência cidadã e tecnologia avançada para identificar pontos críticos de poluição e otimizar a localização de estruturas como essas, maximizando sua eficiência e impacto ambiental (UNEP, 2021). Envolver a comunidade local na manutenção das armadilhas e na conscientização sobre a importância da redução do descarte inadequado de resíduos é fundamental.

Ambas as propostas, representadas na Figura 6, apresentaram potencial para mitigar os problemas ambientais causados pela presença de materiais plásticos nos córregos urbanos. No entanto, são necessárias pesquisas adicionais para avaliar a viabilidade e impacto ambiental dessas soluções em diferentes contextos. O engajamento da comunidade e o apoio do poder público são fundamentais para a implementação bem-sucedida dessas tecnologias e para a promoção da sustentabilidade ambiental em áreas urbanas.

Momento 2: criação do artefato tecnológico

No 2º Trimestre (Momento 2), os estudantes foram orientados a construir uma maquete ou protótipo de tecnologia social, um artefato pedagógico que pudesse representar a solução do desafio proposto no 1º Trimestre (Momento 1), conforme indicado no documento do projeto de iniciação científica redigido por cada grupo (Atividade 6).

A Figura 7a apresenta a foto da “maquete das eco-barreiras”

planejada pelo Grupo 1, que utiliza garrafas PET e galões reciclados como elementos flutuantes. A estrutura das eco-barreiras parece robusta, bem planejada e eficiente, com um design que facilita a manutenção e a remoção dos resíduos. Elas estão bem representadas, ilustrando como o sistema pode ser implementado em redes de esgoto reais. A maquete também demonstra a instalação das eco-barreiras nos córregos para capturar resíduos flutuantes, prevenindo a contaminação da água e preservando os ecossistemas aquáticos.

As imagens da maquete do Grupo 2 mostram a “Armadilha de Lixo” em diferentes cenários de instalação (Figura 7b). A rede de fibras de alta resistência é detalhadamente representada, evidenciando como pode ser fixada nos pontos de descarte de resíduos. Além disso, as imagens destacam os sensores de monitoramento e o mecanismo de coleta, ressaltando a praticidade e a eficácia da proposta. A maquete ilustra claramente a funcionalidade da rede em capturar plásticos, sem

obstruir o fluxo da água.

Cada grupo apresentou soluções complementares que poderiam ser integradas em um plano mais robusto e abrangente. O protótipo/maquete do Grupo 1 e do Grupo 2 apresentam abordagens mais tecnológicas, integradas aos sistemas de esgoto e monitoramento, oferecendo uma solução sustentável e direta para a captura de resíduos nos córregos. A combinação dessas estratégias, juntamente com a pesquisa contínua sobre biodegradação e monitoramento, pode proporcionar resultados mais eficazes na redução e eventual eliminação de plásticos nos cursos d'água.

Orientação: Explique em detalhes, abaixo, que tipo de solução tecnológica seu grupo propõe para responder à questão motriz (em sua explicação, explique detalhadamente, como funcionará sua tecnologia).

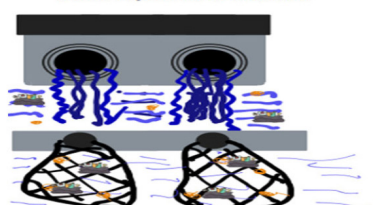
R: Eco-barreira: Eco-barreiras são estruturas flutuantes que, ao serem instaladas em córregos, permitem o bloqueio do escoamento dos resíduos flutuantes que são

compostos, principalmente, por materiais plásticos e descartáveis, que, ao serem descartados nos córregos, podem ocasionar consequências ambientais como o aumento da velocidade de assoreamento, contaminação microbiana, desequilíbrio da flora e fauna, odores desagradáveis e alteração do sistema de circulação das águas, erosão, além de afetar visualmente o ambiente. Para a construção da eco-barreira são utilizados, em sua base, materiais reciclados

EXPLICAÇÃO DO PROJETO

A ideia principal do projeto seria uma rede feita de fibras de alta resistência, para não romperem quando estiverem coletando o lixo, onde ficariam presas logo a frente de onde se é despejando o lixo das cidades, assim coletando o lixo e deixando passar a água sem a obstruir a sua passagem, onde teria pontos específicos para fazer a limpeza periódica dessas redes e fazer a manutenção delas caso for preciso, onde tudo o que precisaria seria retirar a rede por um momento retirar o lixo descartar no devido lugar e então colocá-la de volta normalmente.

DESENHO ESQUEMÁTICO DA TECNOLOGIA



PARTE C - DESENHO ESQUEMÁTICO DA TECNOLOGIA

Orientação: Faça um desenho esquemático, indicando os componentes da tecnologia proposta por seu grupo.

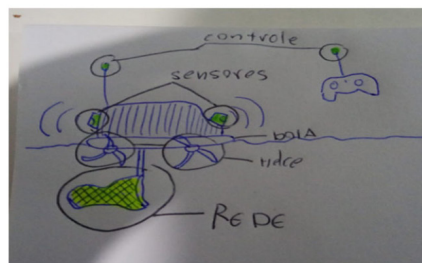
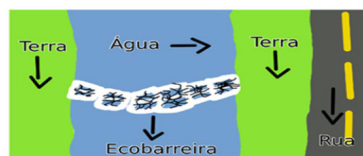


Figura 6. Algumas soluções propostas dos Projetos de Iniciação Científica desenvolvidos pelos estudantes.

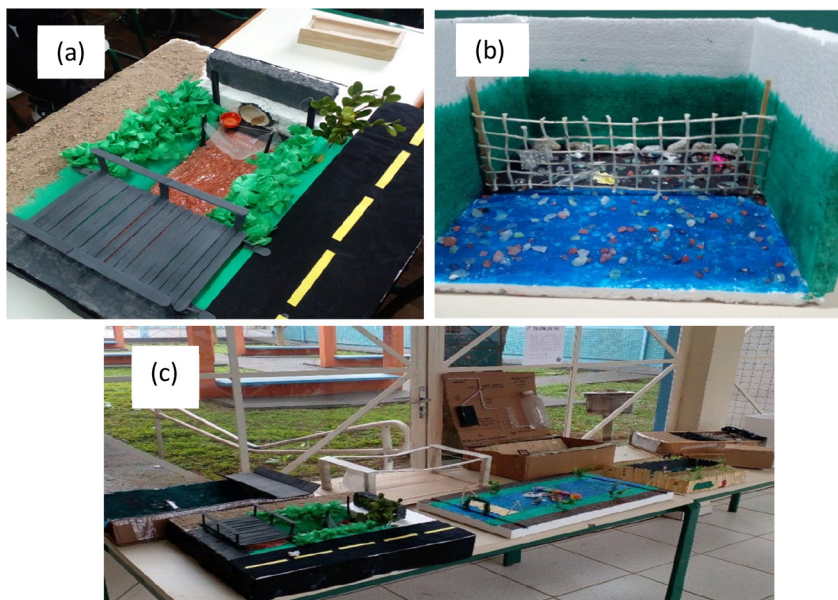


Figura 7. Criação de artefato tecnológico proposto dentro da metodologia ativa baseada em projetos por turmas do 2º ano. (a) Eco-barreiras (b) Armadilha de Lixo (c) Exposição de maquetes.

Ao término do projeto, os estudantes fizeram uma exposição com seus respectivos trabalhos (turma do 2º ano), juntamente com outras propostas realizadas em outras turmas, conforme representados na Figura 7c.

Atualmente, a educação científica é considerada uma necessidade social, pois permite que os conhecimentos adquiridos sirvam como subsídios para a participação dos cidadãos em debates sobre questões da ciência e da tecnologia, de forma que leve à busca por formas de intervenção nas decisões relativas à aplicação desses conhecimentos na sociedade. Muitos trabalhos recentes têm abordado o tema gerador “água” no ensino de Química, por ser um tema bastante promissor, no qual inúmeros conceitos químicos podem ser explorados, desde propriedades físico-químicas até aspectos culturais, sociais, ambientais e econômicos, como a má gestão dos recursos hídricos, enchentes e escassez de água. Ao associar o contexto aos conceitos químicos, contribui para a formação de um cidadão com pensamento crítico e reflexivo (Bacci e Pataca, 2008; Zuin *et al.*, 2009; Dias, 2016; Silva *et al.*, 2019; Foleis *et al.*, 2016; Marques e Xavier, 2018; Nagarajan e Overton, 2019; Dai *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2024; Coelho *et al.*, 2021).

Neste trabalho, o desenvolvimento da metodologia baseada em projeto, que abordou a temática poluição de rios e plásticos, tornou o processo educativo, de fato, centrado na aprendizagem do estudante. Nessa abordagem, o estudante torna-se um agente ativo, capaz de atuar e interferir nas diversas situações que permeiam a vida em sociedade, alcançando-se, assim, um ensino que

integra a contextualização, a investigação e a formação para o exercício da cidadania.

Conclusão

A aplicação da metodologia ativa ABP e as diferentes atividades propostas proporcionaram uma reflexão quanto aos fatores relacionados à preservação do córrego. Isso possibilitou que os estudantes adquirissem uma maior conscientização acerca da importância da preservação dos recursos hídricos, ao perceberem que o principal poluente nas adjacências do córrego Capão da Imbuia era o plástico. Ademais, observou-se uma mudança na percepção do corpo d’água analisado, que, antes visto como uma “vala”

passou a ser compreendido como um córrego, um recurso natural, o que sensibilizou os estudantes para a necessidade de preservação ambiental.

Os grupos de estudantes demonstraram desenvoltura e domínio dos conteúdos investigados ao apresentarem os artefatos pedagógicos, o que indicou que a aprendizagem foi significativa. Como resultado, notou-se um maior engajamento e participação dos estudantes nas aulas de Química. Diversas propostas foram idealizadas e projetadas, gerando discussões enriquecedoras entre

estudantes e professores, além de pesquisas e protótipos de soluções tecnológicas.

Embora nenhum projeto tenha sido implementado diretamente no córrego, a participação dos estudantes despertou neles, na comunidade escolar e em suas redes familiares, um

Os grupos de estudantes demonstraram desenvoltura e domínio dos conteúdos investigados ao apresentarem os artefatos pedagógicos, o que indicou que a aprendizagem foi significativa. Como resultado, notou-se um maior engajamento e participação dos estudantes nas aulas de Química. Diversas propostas foram idealizadas e projetadas, gerando discussões enriquecedoras entre estudantes e professores, além pesquisas e protótipos de soluções tecnológicas.

novo olhar sobre o córrego, ambiente integrado ao cotidiano desses indivíduos. Além disso, a participação no projeto incentivou uma postura científica, que puderam desempenhar ativamente este papel, idealizando e projetando um projeto tecnológico de Iniciação Científica, cada um em seu grupo, de acordo com suas habilidades e interesses. Dessa forma, o objetivo do projeto foi alcançado, trazendo a atenção da comunidade para a questão ambiental do córrego e promovendo uma conscientização coletiva sobre a importância da preservação dos recursos naturais.

Iago G. Costa (iago_gomes_costa@hotmail.com) é bacharel em Engenharia de

Petróleo pela Universidade Católica de Santos (UNISANTOS), licenciado em Química pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), mestre em Engenharia Mecânica e doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). **Maria C. S. Gomes** (ctrlmaria@gmail.com) é licenciada em Química pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Atualmente é mestranda em Química de Materiais pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). **Gabriel J. Curti** (gabriel.curti@escola.pr.gov.br) é licenciado e bacharel em Química pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), mestre em Físico-Química e doutor em Ciências pela Unicamp. Possui MBA em Gestão da Aprendizagem Ativa na Educação Básica pela UniAmerica. Atualmente é professor QPM na rede estadual de ensino do Paraná. **Cristiane Pilissão** (pilissao@utfpr.edu.br) é bacharel em Química pela Universidade Federal de Santa Maria, licenciada em Química, mestra e doutora em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina. Atualmente é professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR – BR.

Referências

ALMULLA, M. A. The effectiveness of the project-based learning (PBL) approach as a way to engage students in learning. *Seating Open*, v. 10, n. 3, p. 1-15, 2020.

BACCI, D. C. e PATACA, E.M. Educação para a água, *Estudos avançados*, v. 22, n. 63, p. 211-227, 2008.

BARBOSA, N. A. P. e CORRÊA, T. H. B. Educação ambiental e consciência planetária: uma necessidade formativa. *Revista Eletrônica de Mestrado em Educação Ambiental*, v. 35, n. 2, p. 125-136, 2018.

BENDER, W. N.; HORN, M. G. S. e RODRIGUES, F. S. Aprendizagem Baseada em Projetos: Educação Diferenciada para o Século XXI. Porto Alegre: Editora Pensa, 2015.

BERGMANN, M. e PEDROZO, C. S. Explorando a bacia hidrográfica na escola: contribuições à educação ambiental. *Ciência & Educação*, v. 14, n. 3, p. 537-553, 2008.

BLUMENBERG, C.; MARTINS, R. C.; COSTA, J. C. e RICARDO, L. I. C. Is Brazil going to achieve the road traffic deaths target? An analysis about the sustainable development goals. *Injury Prevention*, v. 24, p. 250-255, 2018.

BRASIL. *Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional*, LDB. 9394/1996. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm, acesso em jul. de 2024.

BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília, 2018. Disponível em <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/abase/>, acesso em jul. de 2024.

BRASIL. Ministério da Educação. *Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica*. Brasília: MEC; SEB; DICEI, 2013. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=13448-diretrizes-curriculares-nacionais-2013-pdf&Itemid=30192, acesso em jul. de 2024.

CAIXETA, D. S.; CAMPOS, A. S.; GIRARD, P.; SOUZA, C. H. A.; SILVA, G. M. S.; MEDEIROS, E. C. e PORT, R. Quantificação de microplásticos de córrego urbano: um estudo de caso no córrego da Manga em Várzea Grande/Mato Grosso - Brasil. *Engineering and Science*, v. 13, n. 2, p. 1-9, 2023.

CHASSOT, A. Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. *Revista Brasileira de Educação*, n. 22, p. 89-100, 2003.

COELHO, L. R.; ANJOS, D. S. C. e ANJOS, V. H. A. A água como tema gerador do conhecimento químico: construindo um ensino-aprendizado contextual e cidadão no ensino de Química.

Revista Semiárido de Visu. v. 9, n. 3, p. 344-361, 2021.

COSGROVE, W. J. e LOUCKS, D. P. Water management: current and future challenges and research directions. *Water Resources Research*, v. 51, p. 4823-4839, 2015.

DAI, D.; SUN, M. e LEI, K. Evaluating water resource sustainability from the perspective of water resource carrying capacity, a case study of the Yongding River watershed in Beijing-Tianjin-Hebei region, China, *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, p. 21590-21603, 2020.

DAJORI, J. F.; GIASI, M. G.; MACHADO, A. C. e MARTINS, M. C. Ambiente e cidadania: educação ambiental nas escolas. *Revista de Extensão*, v. 1, n. 1, p. 24-36, 2016.

DANTAS, M. S.; BARROSO, G. R. e OLIVEIRA, S. C. Performance of sewage treatment plants and impact of effluent discharge on receiving water quality within an urbanized area. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 193, p. 289-310, 2021.

SILVA, J. B. A Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel: uma análise das condições necessárias. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 4, p. e09932803, 2020.

SOUZA, M. T. V.; SALES-SHIMOMOTO, V.; SILVA, S. G. e VALA, L. A. Microplastics and the Amazon: From the rivers to the estuary. *Química Nova*, v. 46, n. 6, p. 655-667, 2023.

SOUZA, J. A. e IBIAPINA, B. R. S. Contextualização no ensino de química e suas influências para a formação da cidadania. *Revista IFESciência*, v. 9, n. 1, p. 1-14, 2023.

DIAS, P. F. *O tema água no ensino de ciências: uma proposta didático-pedagógica elaborada com base nos três momentos pedagógicos*. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

SANTOS, V. M. N. e COMPIANI, M. Formação de professores para o estudo do ambiente: Projetos escolares e a realidade socioambiental local. *Terra e Didática*, v. 5, n. 1, p. 72-85, 2009.

EL-NWSANT, R.; MAAROUF, I. e ABD EL-AAL, W. Water management as a vital factor for a sustainable school. *Alexandria Engineering Journal*, v. 58, n. 1, p. 303-313, 2019.

EUROPEAN COMMISSION. *A European strategy for plastics in a circular economy*. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Bruxelas, 16 jan. 2018.

FERREIRA, J. S.; GONÇALVES, P. G. G. S. e PINHEIRO, E. C. N. M. A importância da ecobarreira na remoção de resíduos sólidos flutuantes nos Igarapés de Manaus-Estudo de caso: Igarapé do Coroadó. *Revista Foco*, v. 17, n. 10, e6575, p. 1-19, 2024.

- FOLEIS, B. L. M.; ISHIBA, L. F. L.; LIU, A. S. e MIRANDA JR., P. O tratamento de água no contexto do ensino de química. *Sinergia*, v. 17, n. 1, p. 70-73, 2016.
- FRAGA FILHO, C. A. D. Analysis of Brazilian plastic waste management in the global context and case study of the city of Vitória. *SSRN*, v. 8, p. 1-103, 2023.
- FREITAS, N. T. A. e MARIN, F. A. D. G. Educação ambiental e água: Concepções e práticas educativas em escolas municipais. *Nuances: Estudos sobre Educação*, v. 26, número especial 1, p. 234-253, 2015.
- GEYER, R.; JAMBECK, J. R. e LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made, *Science Advances*, v. 3, e17007822017, 2017.
- JACOBI, P. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. *Cadernos de Pesquisa*, n. 118, p. 189-205, 2003.
- KUFEUGLU, S. SDG-6 Clean Water and Sanitation. In *book: Emerging Technologies, Value Creation for Sustainable Development*. Cham (Suíça): Springer Nature, 2022. p. 289-304.
- LAMB, J. B.; WILLIS, B. L.; FIORENZA, E. A.; COUCH, C. S.; HOWARD, R.; RADER, D. N.; TRUE, J. D.; KELLY, L. A.; AHMAD, A.; JOMPA, J. e HARVELL, C. D. Plastic waste associated with disease on coral reefs. *Science*, v. 359, n. 6374, p. 460-462, 2018.
- LALOR, S. B.; FERGUSON, T. e HO, C. Project-based learning for environmental sustainability action. *Southern African Journal of Environmental Education*. v. 36, p. 57-73, 2020.
- LIMA, G. B.; CRUZ, A. O.; MOREIRA, S. A. S.; COSTA, R. A.; BALDOTTO, J. B. e PINTO, W. P. Aprendizagem baseada em projeto aplicada nos sistemas de abastecimento de água: Um estudo de caso. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v. 14, n. 1, p. 88-100, 2023.
- LINO, F. A. M.; KAMAL, A. R. I. e CASTANEDA-AYARZO, J. A. Municipal solid waste treatment in Brazil: A comprehensive review. *Energy Nexus*, v. 11, p.100232-100246, 2023.
- LINZNER, R. e SALHOFER, S. Municipal solid waste recycling and the significance of informal sector in urban China. *Waste Management & Research*, v. 32, n. 9, p. 896-907, 2014.
- MARQUES, R. e XAVIER, C. Análise da alfabetização científica de estudantes numa sequência didática de educação ambiental no ensino de ciências. VI SINECT – Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia, 2018, Ponta Grossa, PR. *Anais...*, 2018.
- MARTINS, M. L. L. P.; MAIA, M. L.; MORAIS, S. M. P.; BARBOSA, M. M.; QUINTELA, T. G.; MIRANDA, P. H. A.; GOMES FILHO, J. T.; FERREIRA FILHO, J. R. M.; ROCHA, M. V. S. e SOUZA, F. W. The teaching of environmental chemistry using investigative experimentation on the theme of water pollution in wells. *Lumen et Virtus*, v. 15, n. 41, p. 5620-5646, 2024.
- MENDES, A.; GONÇALVES, É. V.; FRÂNCICA, L. S.; CORREIA, L. B. C.; NICOLA, J. V. N.; PESTANA, A. C. Z.; MEDEIROS, F. V. S.; SOUZA, W. E.; INEU, R. P. e PERON, A. P. Quality of natural waters surrounding Campo Mourão, State of Paraná, Southern Brazil: Water resources under the influences from urban and agricultural activities. *Water Air Soil Pollution*, v. 231, p. 415-425, 2020.
- MISHRA, B. K.; KUMAR, P.; SARASWAT, C.; CHALRABORTY, S. e GAUTAM, A. Water Security in a Changing Environment: Concept, Challenges and Solutions. *Water*, v. 13, n. 4, p. 490-511, 2021.
- MOREIRA, M. R.; KASTRUP, É.; RIBEIRO, J. M.; CARVALHO, A. I. e BRAGA, A. P. O Brasil rumo a 2030? Percepções de especialistas brasileiros(as) em saúde sobre o potencial de o País cumprir os ODS? *Saúde Debate*, v. 43, n. 7, p. 22-35, 2019.
- MUNEROL, F.; AVANZI, F.; PANIZZA, E.; ALTAMURA, M.; GABELLANI, S.; POLO, L.; MANTINI, M.; ALESSANDRI, B. e FERRARIS, L. Water and Us: tales and hands-on laboratories to educate about sustainable and nonconflictual water resources management. *Geoscience Communication*, v. 7, p. 1-15, 2024.
- NAGARAJAN, S. e OVERTON, T. Promoting Systems Thinking Using Project- and Problem-Based Learning. *Journal Chemical Education*, v. 96, p. 2901-2910, 2019.
- OBAIDEEN, K.; SHEHATA, H. N.; SAYED, A. E. T.; ABDELKAREEMA, M. A.; MAHMOUDD, M. S. e OLABI, A. G. The role of wastewater treatment in achieving sustainable development goals (SDGs) and sustainability guideline. *Energy Nexus*, v. 7, p.100112-100131, 2022.
- OLIVEIRA, J. V. A.; SOUZA, R. L. e TEIXEIRA, A. Z. A. Aprendizagem baseada em projetos em práticas pedagógicas na educação profissional. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 9, n. 6, p. 1715-1731, 2023.
- OLIVEIRA, S. L.; SIQUEIRA, A. F. e ROMÃO, E. C. Aprendizagem Baseada em Projetos no Ensino Médio: Estudo comparativo entre métodos de ensino. *Bolema*, v. 34, n. 67, p. 764-785, 2020.
- OMER, N. Examination of digital parenting awareness of the primary school students' parents during the Covid-19 Pandemic. *Pegem Journal of Education and Instruction*, v. 11, n. 2, p. 58-71, 2021.
- ONU. Organização das Nações Unidas. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. As Nações Unidas no Brasil. 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>, acesso em jan. de 2024.
- PATEL, B.; TOKSHA, B. e GUPTA, P. Sustainable Biodegradable and Bio-based Polymers. In: *Handbook of Sustainable Materials: Modelling, Characterization, and Optimization*. Boca Raton (FL, EUA): CRC Press, 2023.
- PEREIRA, A. S. M. Apresentação do volume 3 número 1. *Ensino Em Perspectivas*, v. 3, n. 1, p. 1-42, 2022.
- PARANÁ. Referencial Curricular do Paraná. Curitiba: SEED. 2021. Disponível em: <http://www.referencialcurricularoparana.pr.gov.br/>, acesso em dez. de 2024.
- REKOWSKY, R. C. *Instalação de uma ecobarreira no arroio Bernardino no município Soledade/RS*. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, 2021. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/2235>, acesso em 20 fev. 2026.
- SAAD, A. e ZAINUDIN, S. A review of project-based learning (PBL) and computational thinking (CT) in teaching and learning. *Learning and Motivation*, v. 78, p. 101802-101814, 2022.
- SANTOS, E. A educação como direito social e a escola como espaço protetivo de direitos: Uma análise à luz da legislação educacional brasileira. *Educação-Pesquisa*, v. 45, e184961-e184987, 2019.
- SHARMA, R. e KATOCH, O. R. Analysis of the targets and progress toward Meeting the 2030 Sustainable Development Goal -6 on Clean Water and Sanitation: Evidence from India. *South Asian Journal of Social Studies and Economics*. v. 15, n. 2, p. 16-26, 2022.

SILVA, T. P.; SIMÕES NETO, J. E. e TOMAZ, P. F. A água e o ensino de Química: Proposta baseada na resolução de situações-problema para o conteúdo polaridade. *Revista Ciências & Ideias*, v. 10, n. 2, p. 132-149, 2019.

SOUZA, S. C. e DOURADO, L. Aprendizagem baseada em problemas (ABP): Um método de aprendizagem inovador para o ensino educativo. *HOLOS*, v. 5, p. 182-200, 2015.

SPERLING, L. H. *Introduction to physical polymer science*. Hoboken (NJ, EUA): John Wiley & Sons, 2015.

UNEP. United Nations Environment Programme. *How a source-to-sea approach can curb the threat of plastic pollution*. 15 dez. 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/how-source-sea-approach-can-curb-threat-plastic-pollution>, acesso em 20 fev. 2026.

VERÓL, A. P.; LOURENÇO, I. B.; FRAGA, J. P. R.; BATTEMARCO, B. P.; MERLO, M. L.; MAGALHÃES, P. C. e MIGUEZ, M. G. River restoration integrated with sustainable urban water management for resilient cities. *Sustainability*, v.

12, n. 11, 4677-4683, 2020.

YOSHIDA, S.; HIRAGA, K.; TAKEHANA, T.; TANIGUCHI, I.; YAMAJI, H.; MAEDA, Y.; TOYOHARA, K.; MIYAMOTO, K.; KIMURA, Y. e ODA, K. A bacterium that degrades and assimilates poly (ethylene terephthalate). *Science*, v. 351, n. 6278, p. 1196-1199, 2016.

WAHBEH, D. G.; NAJJAR, E. A.; SARTAWI, A. F.; ABUZANT, M. e DAHER, W. The role of project-based language learning in developing students' life skills. *Sustainability*, v. 13, n. 12, p. 6518-6532, 2021.

ZHANG, L. e MA, Y. A. A study of the impact of project-based learning on student learning effects: A meta-analysis study. *Frontiers in Psychology*, v. 14, p. 1202728-1202742, 2023.

ZUIN, V. G; IORIATTI, M. C. S. e MATHEUS, C. E. O emprego de parâmetros físicos e químicos para a avaliação da qualidade de águas naturais: Uma proposta para a educação química e ambiental na perspectiva CTSA. *Química Nova na Escola*, v. 31, n. 1, p. 1-6, 2009.

Abstract: *From ditch to stream: transforming environmental perception through project-based learning in Chemistry education.* Water pollution in urban rivers is a significant problem in many Brazilian cities. To face this challenge, various initiatives aim to reduce or inadequate disposal of pollutants and minimize waste water, as recommended by the sixth Sustainable Development Goal of the ONU. In the school context, the Project-Based Learning (PBL) methodology is an effective approach, involving students in authentic projects promoting sustainable development. In this work, PBL was applied to the Pedagogical Residency Program (CAPES/MEC) with a 2nd year course of secondary education. Addressing the problem of pollution in the stream Capão da Imbuia, adjacent to the school. Students were divided into groups to create initiatives that reduce improperly discarded waste plastics. The project increased and engaged the students in Chemistry classrooms and raised the school community's awareness about the area's environmental issues.

Keywords: water pollution, sustainable development, project-based methodology

Explorando a capacidade de adsorção de macroalgas marinhas: uma abordagem didática com *Sargassum filipendula* e *Kappaphycus alvarezii*

Isis Verona Nascimento da Silva Franzi, Kamila Lacerda da Silva e Anderson Gomes de Paula

Este artigo apresenta uma abordagem prática para o ensino de química ambiental no Ensino Médio, utilizando as algas *Sargassum filipendula* e *Kappaphycus alvarezii*. O estudo destaca a capacidade dessas algas de remover metais pesados de efluentes, abordando uma questão ambiental relevante. A metodologia propõe proporcionar aos alunos uma experiência prática acessível, utilizando materiais comuns para tornar o aprendizado mais envolvente e vinculado à sustentabilidade. O experimento tem o potencial de ampliar a compreensão dos estudantes sobre o impacto das atividades humanas no meio ambiente, estimulando a conscientização acerca de práticas sustentáveis. Além disso, a integração entre teoria e prática é enfatizada como estratégia para consolidar o conhecimento e desenvolver habilidades essenciais ao pensamento científico, alinhando-se aos objetivos de uma educação que prepara os alunos para os desafios ambientais e tecnológicos do futuro.

► atividade experimental, macroalgas, adsorção ◀

Recebido em 13/08/2024; aceito em 29/04/2025

87

Introdução

O ensino de Química enfrenta inúmeros desafios, especialmente ao abordar temas complexos, como a química ambiental. Apesar de sua crescente relevância na sociedade, esses assuntos são frequentemente tratados de forma superficial nas escolas, devido à sua complexidade e à percepção de que são difíceis de ensinar e compreender (Chen *et al.*, 2020; Sheikh e Subramaniam, 2023).

A química ambiental está intrinsecamente ligada a questões críticas da atualidade, como a poluição, a gestão de resíduos e a preservação dos recursos naturais. Para os estudantes, compreender essa área é essencial não apenas para o desenvolvimento acadêmico, mas também para a formação de cidadãos conscientes e críticos (Jansson *et al.*, 2015; Borges e Miranda, 2022).

O aumento da contaminação de efluentes é um problema ambiental global que impacta negativamente os ecossistemas aquáticos e a saúde pública. Por isso, é fundamental abordar

essa questão no âmbito educacional, fornecendo informações concretas e experimentais para promover a compreensão e a atuação em prol do meio ambiente (Häder *et al.*, 2020).

A experimentação surge como uma ferramenta para auxiliar a aprendizagem, pois, ao transformar conceitos abstratos em experiências concretas, facilita a compreensão e torna o aprendizado mais envolvente. Nesse contexto, a proposta deste artigo baseia-se em uma dissertação de mestrado (Franzi, 2019), e foi adaptada para uma abordagem de ensino de química ambiental, utilizando a eficiência de adsorção das algas *Sargassum filipendula* (também conhecida como sargaço ou alga marrom) e *Kappaphycus alvarezii* (também conhecida como Kappaphycus ou alga vermelha) (Kang *et al.*, 2011; Costa *et al.*, 2020).

Essas algas, amplamente estudadas por suas propriedades bioacumulativas, possuem a capacidade de adsorver e acumular metais pesados em suas paredes celulares. Ao incorporá-las em um experimento prático, é possível demonstrar

O aumento da contaminação de efluentes é um problema ambiental global que impacta negativamente os ecossistemas aquáticos e a saúde pública. Por isso, é fundamental abordar essa questão no âmbito educacional, fornecendo informações concretas e experimentais para promover a compreensão e a atuação em prol do meio ambiente (Häder *et al.*, 2020).



princípios fundamentais da química e também discutir suas aplicações reais e implicações ambientais.

Além disso, essa abordagem oferece uma oportunidade para os estudantes desenvolverem habilidades práticas e reflexivas, ao mesmo tempo em que reforça o conteúdo teórico de forma integrada e contextualizada (Davis *et al.*, 2003; Lin *et al.*, 2019).

O experimento proposto facilita a compreensão dos fenômenos químicos, bem como sensibiliza os estudantes para a importância da preservação ambiental e do uso responsável dos recursos naturais. Ao realizar experimentos e analisar os resultados obtidos, pretende-se oferecer subsídios concretos e científicos sobre o tema aos estudantes, sendo um dos objetivos a formação de cidadãos mais conscientes e engajados na proteção do meio ambiente. Dessa forma, alinham-se os objetivos educacionais e sociais, promovendo uma aprendizagem significativa e auxiliando os alunos a enfrentarem os desafios do mundo moderno (Muslum, 2023).

Uma contextualização à problemática do ensino de química ambiental

O ensino de química no Ensino Médio está inserido em um contexto educacional que exige, cada vez mais, a integração entre teoria e prática, especialmente em temas de grande relevância social e ambiental. A química ambiental se destaca nesse cenário devido aos seus impactos diretos na saúde pública e no meio ambiente. Entretanto, esses tópicos são frequentemente considerados abstratos e de difícil assimilação pelos estudantes, o que pode levar à desmotivação e à falta de interesse nas aulas.

Historicamente, o ensino de química no Brasil e em muitos outros países seguiu uma abordagem tradicional, com foco na memorização de fórmulas e conceitos teóricos, muitas vezes desconectados da realidade dos alunos. Essa metodologia, embora eficaz para alguns aspectos do ensino, não responde adequadamente às demandas de um mundo em constante mudança, onde questões ambientais e tecnológicas se tornam cada vez mais prementes.

Os desafios impostos pela contaminação ambiental, como a presença de metais nocivos em corpos d'água, solos e até mesmo na atmosfera, exigem soluções inovadoras que estão além dos conhecimentos teóricos (Chen *et al.*, 2020).

Dentro desse contexto, a educação ambiental recebe destaque. Através dela, é possível não apenas construir conhecimento (Werneck, 2006), mas também formar cidadãos críticos e conscientes de seu papel na sociedade. A compreensão dos processos que envolvem as possíveis formas de mitigação desses impactos, como a biorremediação com algas, favorece que os estudantes desenvolvam uma visão integrada e responsável do uso dos recursos naturais. (Leong e Chang, 2020).

A utilização de algas para a remediação de efluentes contaminados é uma abordagem sustentável e ecológica e apresenta custo relativamente baixo em comparação com métodos tradicionais de tratamento, tornando-se uma solução promissora para o enfrentamento de desafios ambientais relacionados à poluição por metais pesados e radioativos.

As algas *Sargassum filipendula* e *Kappaphycus alvarezii* são exemplos de organismos que, devido à sua capacidade de bioacumulação, podem ser utilizados de forma eficaz na remoção de contaminantes de efluentes industriais. A escolha dessas espécies para o experimento prático proposto neste projeto não é arbitrária, mas fundamentada em estudos científicos que demonstram sua eficácia na remediação de ambientes contaminados (Costa *et al.*, 2020; Mahesh *et al.*, 2021).

Incorporar esse tipo de experimento ao currículo do Ensino Médio é uma estratégia pedagógica que visa tornar o aprendizado mais tangível e relevante. Ao lidar diretamente com a coleta, tratamento e análise de amostras contaminadas em um ambiente controlado, os estudantes aplicam conceitos teóricos aprendidos em sala de aula e também são levados a refletir sobre a importância dessas práticas na preservação do meio ambiente e na proteção da saúde pública (Higgins, 2020).

Em um mundo onde a sustentabilidade e a inovação são tão necessárias ao desenvolvimento, não apenas individual, mas também social, formar jovens capazes de entender e aplicar conceitos de química ambiental de forma prática e consciente é, sem dúvida, uma necessidade.

As algas *Sargassum filipendula* e *Kappaphycus alvarezii* possuem uma capacidade notável de adsorção, processo que ocorre principalmente devido à estrutura celular das algas, que contém diversos grupos funcionais, como carboxilas, sulfonatos e hidroxilas, capazes de se ligar a íons metálicos (Syamsuddin *et al.*, 2019; Costa *et al.*, 2020).

Essas algas atuam como bioadsorventes naturais, utilizando seus componentes celulares para capturar e concentrar os contaminantes presentes na água. A eficiência do processo de adsorção varia dependendo do tipo de metal, do pH do meio, da concentração inicial dos contaminantes e das características específicas da alga utilizada.

No caso de metais, como chumbo, cádmio e mercúrio, as algas podem formar ligações químicas fortes com esses íons, imobilizando-os e, assim, removendo-os da solução aquosa (Lin *et al.*, 2019; Tewari *et al.*, 2023).

Quando se trata de elementos radioativos, as algas também têm demonstrado capacidade significativa de adsorção, contribuindo para a remoção desses elementos altamente perigosos do ambiente aquático. Esse processo é particularmente importante em áreas onde a contaminação por radioisótopos representa um risco significativo para a saúde humana e para o ambiente, como, por exemplo, em locais de mineração de urânio (Chen *et al.*, 2021).

A utilização de algas para a remediação de efluentes contaminados é uma abordagem sustentável e ecológica e apresenta custo relativamente baixo em comparação com métodos tradicionais de tratamento, tornando-se uma solução promissora para o enfrentamento de desafios ambientais relacionados à poluição por metais pesados e radioativos.

Portanto, a aplicação da experimentação pode contribuir para facilitar o entendimento científico dos estudantes, bem como para o desenvolvimento de uma sociedade responsável e comprometida com a construção de um futuro mais sustentável.

Método adaptado ao experimento didático

A parte experimental deste estudo é fundamentada em uma dissertação de mestrado (Franzi, 2019), que comprova a eficácia das algas *Sargassum filipendula* e *Kappaphycus alvarezii* na adsorção de metais. Esses estudos demonstram que as algas possuem uma elevada capacidade de remoção desses contaminantes de soluções aquosas, sendo consideradas bioadsorventes naturais eficientes.

Para este experimento, utilizamos as algas *Sargassum filipendula* e *Kappaphycus alvarezii* devido à sua comprovada capacidade de adsorver metais pesados. A eficácia dessas algas é atribuída, respectivamente, ao alginato e fucoidana presentes na *Sargassum filipendula* e às carragenas e agaranas encontradas na parede celular da *Kappaphycus alvarezii*. Essas substâncias atuam como agentes bioativos no processo de adsorção, facilitando a captura e acúmulo dos metais nas estruturas celulares das algas (Putri, 2019).

O alginato e a fucoidana (Figura 1) são conhecidos por suas propriedades de ligação a metais pesados, formando complexos estáveis que são essencialmente sequestrados pela alga, reduzindo a concentração desses metais em solução. Da mesma forma, as carragenas (Figura 2), que são polissacarídeos sulfatados, têm alta afinidade por metais, contribuindo significativamente para sua remoção da solução.

As agaranas (Figura 2), por sua vez, desempenham um papel estrutural importante na parede celular das algas, o que reforça a capacidade de adsorção e aumenta a estabilidade dos complexos formados durante o processo de bioacumulação (Davis *et al.*, 2003; De Reviers, 2006; Volesky, 2007; Murphy *et al.*, 2009; Ferreira, 2011).

Essas propriedades tornam as algas *Sargassum filipendula* e *Kappaphycus alvarezii* particularmente eficazes na remoção de metais pesados de efluentes, oferecendo uma abordagem biotecnológica sustentável e eficiente para o tratamento de águas contaminadas.

No entanto, para a implementação do experimento no contexto do Ensino Médio, é necessário realizar adaptações devido às dificuldades práticas e à complexidade envolvida na aplicação de métodos analíticos avançados, que são caros e de difícil acesso. Assim, para tornar o experimento viável e seguro para os estudantes, propõe-se a utilização do sulfato de cobre (II) ou corante alimentício, substâncias que são mais acessíveis, seguros e fáceis de trabalhar no ambiente escolar.

O sulfato de cobre (II) pode ser utilizado uma vez que, em solução aquosa, libera íons Cu^{+2} , proporcionando uma experiência prática de adsorção de metais pesados pelas algas. O corante alimentício é empregado para demonstrar

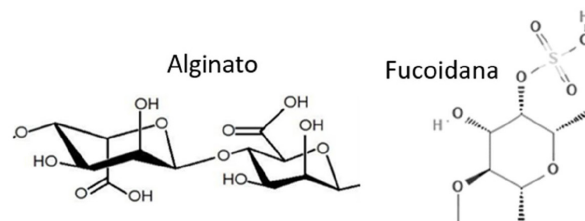
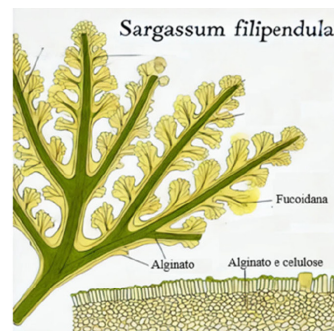


Figura 1. Representação da alga *Sargassum filipendula* (alginato e fucoidana). Fonte: autoria própria.

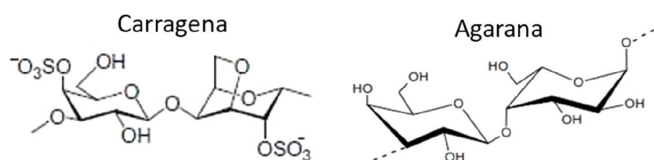
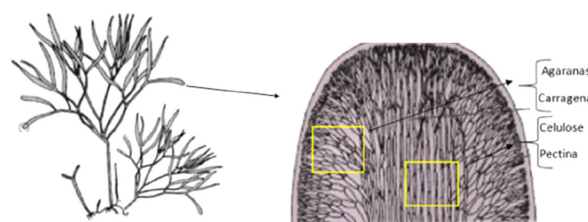


Figura 2. Representação da alga *Kappaphycus alvarezii* (carragena e agarana). Fonte: adaptado de De Reviers, 2006.

visualmente a eficiência do processo de adsorção, permitindo que os alunos observem a mudança de coloração da alga pela presença do corante na solução, o que facilita a compreensão dos mecanismos envolvidos.

Essa abordagem adaptada mantém a essência do experimento original, ao mesmo tempo que garante a segurança e a viabilidade de sua aplicação no Ensino Médio. O objetivo é oferecer uma experiência educativa prática e acessível, que permita aos estudantes compreenderem os princípios fundamentais da química ambiental e da remediação de contaminantes.

Objetivos do experimento

Demonstrar a capacidade das algas *Sargassum filipendula* e *Kappaphycus alvarezii* de adsorver contaminantes presentes em soluções aquosas, utilizando sulfato de cobre (II) e corante alimentício como substitutos para metais pesados e elementos radioativos. A montagem do experimento está esquematizada na Figura 3.

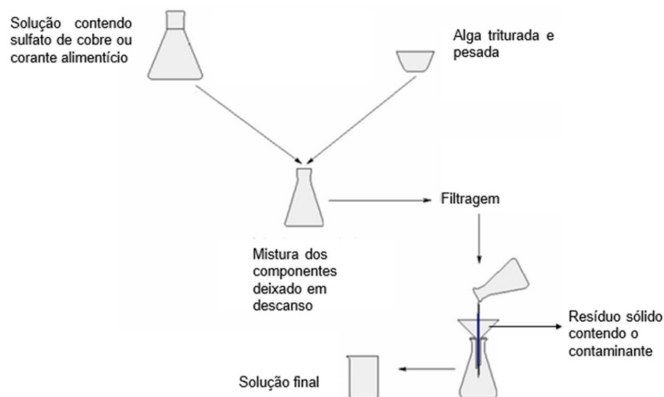


Figura 3: Esquema representativo do procedimento experimental. Fonte: autoria própria.

Materiais necessários

- Solução de sulfato de cobre (II) (0,1 mol/L).
- Amostras de algas *Sargassum filipendula* e *Kappaphycus alvarezii*. (podem ser encontradas ao longo da costa brasileira (podem ser identificadas visualmente, como apresentado na Figura 4a) ou compradas com as empresas Algas Brasil - <https://www.algasbrasil.com.br/>, algas Bras - <https://algasbras.com.br/> ou <https://algastech.com.br/> (valores médios de comercialização da biomassa *in natura* em 2024: de R\$ 2,80 até R\$ 15,00 por quilograma).
- Corante alimentício (cor vermelha ou azul).
- 6 béqueres de 100 mL (ou copos de vidro).
- 6 funis.
- Papel de filtro.
- Bastões de vidro para agitação (ou colheres descartáveis).
- Balança de precisão (ou balança doméstica).
- Água destilada (ou água filtrada).
- Pipetas graduadas (ou copo medidor).
- Cronômetro.
- Etiquetas para identificação.

Procedimento experimental

Preparo das algas:

- Lave as algas em água corrente.
- Lave 100g de cada alga em 1L de água, deixe em descanso por 24 horas.

Esse processo é necessário para abrir a parede celular da alga *Sargassum filipendula*, que apresenta em sua estrutura fibras de celulose, alginato, fosfolipídeos e fucoidana, responsáveis pela capacidade adsorvedora da alga. A *Kappaphycus alvarezii* possui carragenas e agaranas que são as estruturas responsáveis pela captação dos contaminantes.

- Seque as algas em uma temperatura entre 40°C e 60 °C (controle a temperatura utilizando o termômetro no forno).
- Depois das algas secas, podem ser trituradas ou utilizadas de forma íntegra. Caso opte por triturá-las, utilize almofariz e pistilo.
- Utilizando a balança, pese 2 amostras de 100 g de alga

seca de *Sargassum filipendula* e 2 amostras de 100 g de alga seca de *Kappaphycus alvarezii*.

- Coloque cada tipo de alga em dois béqueres separados e identifique-os com etiquetas.

Preparo das soluções:

- Prepare 100 mL de uma solução de sulfato de cobre (II) (0,1 mol/L) em um béquer, dissolvendo a quantidade necessária de sulfato de cobre (II) em água destilada.
- Prepare 100 mL de uma solução de corante alimentício (3 gotas de corante em 100 mL de água destilada) em outro béquer.
- Identifique os béqueres.

A Figura 4 ilustra o processo de preparação das algas e o preparo da solução de sulfato de cobre (II).

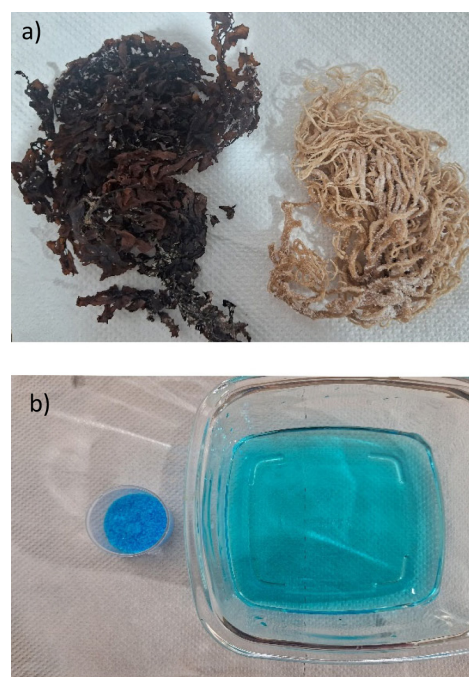


Figura 4: a) Algas utilizadas b) Solução de sulfato de cobre (II). Fonte: autoria própria.

Adsorção do sulfato de cobre (II):

- Adicione 100 mL da solução de sulfato de cobre (II) (CuSO_4) ao béquer contendo *Sargassum filipendula*. Agite suavemente com um bastão de vidro por 5 minutos e deixe em repouso por 30 minutos.
- Repita o procedimento com *Kappaphycus alvarezii* (Figura 5).

Na Figura 5a, nota-se uma coloração esbranquiçada da alga *Kappaphycus alvarezii*, enquanto na figura 5b é possível perceber que a alga ficou esverdeada. Com a alga *Sargassum filipendula* não foi possível perceber uma mudança de coloração brusca na alga.

Adsorção do corante alimentício:

- Adicione 100 mL da solução de corante alimentício ao

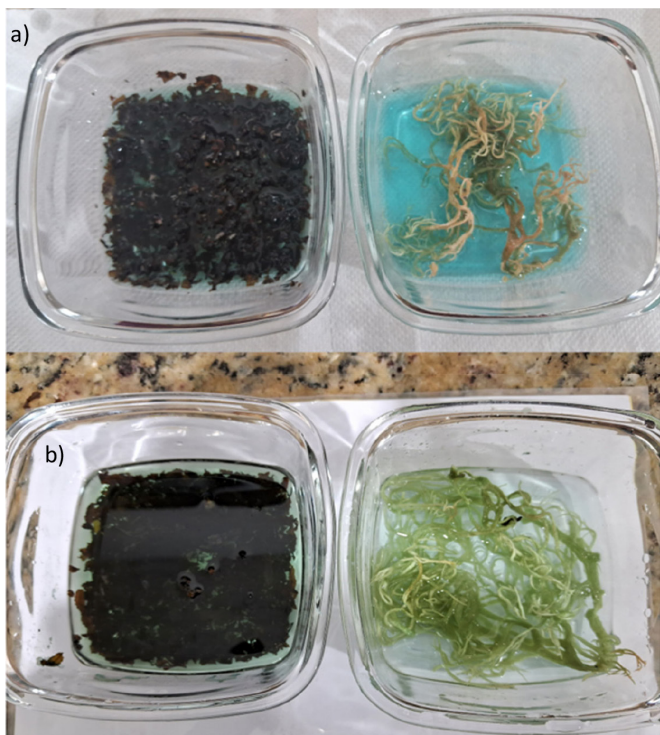


Figura 5: Algas *Sargassum filipendula* e *Kappaphycus alvarezii* em solução de sulfato de cobre (II) (CuSO_4). a) Início do experimento. b) Final do experimento. Fonte: autoria própria.

béquer contendo *Sargassum filipendula*. Agite suavemente com um bastão de vidro por 5 minutos e deixe em repouso por 30 minutos.

- Repita o procedimento com *Kappaphycus alvarezii*.
- Após o tempo de repouso, filtre cada solução utilizando um funil e papel de filtro, coletando o filtrado em novos béqueres.
- Compare visualmente a intensidade da cor das soluções filtradas com a cor original das soluções de sulfato de cobre (II) e corante alimentício.
- Observe e registre as mudanças (Figura 6).
- Quanto ao descarte dos materiais, pode-se pedir para que a escola entre em contato com empresa especializada em descarte de produtos químicos, a fim de garantir o tratamento adequado.

Na Figura 6a, nota-se uma coloração esbranquiçada da alga *Kappaphycus alvarezii*, enquanto na figura 6b é possível perceber que a alga ficou avermelhada. A alga *Sargassum filipendula* também apresentou uma alteração de coloração.

A alga *Kappaphycus alvarezii* demonstrou uma mudança de coloração mais significativa quando exposta às soluções de CuSO_4 (II) e corante alimentício vermelho (Figura 7).

A alga *Sargassum filipendula* apresentou mudança de coloração quando exposta a solução com corante alimentício vermelho (Figura 8).

Proposta de aplicação no Ensino Médio

Sugere-se que seja discutido com os alunos a eficiência



Figura 6: Algas *Sargassum filipendula* e *Kappaphycus alvarezii* em solução com corante alimentício. a) Início do experimento. b) Final do experimento. Fonte: autoria própria.

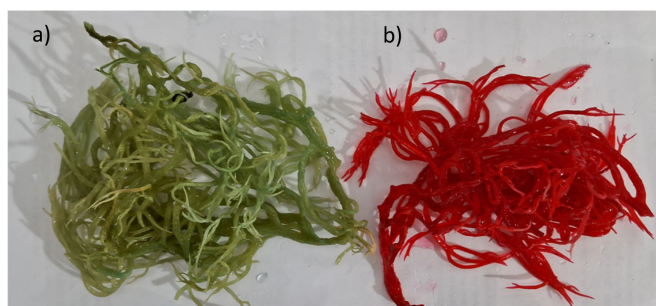


Figura 7: Alga *Kappaphycus alvarezii*. a) Alga previamente exposta a solução de CuSO_4 (II). b) Alga previamente exposta a solução de corante alimentício vermelho. Fonte: autoria própria.

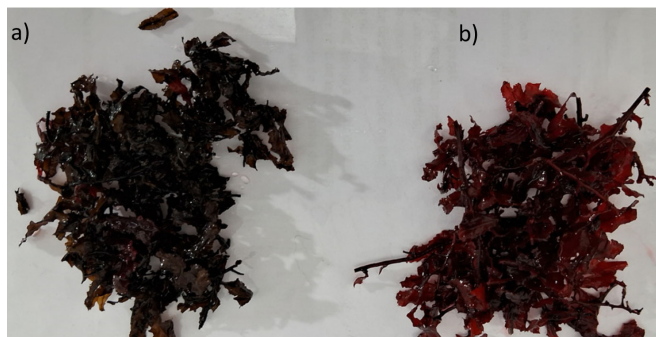


Figura 8: Alga *Sargassum filipendula*. a) Alga previamente exposta à solução de CuSO_4 (II). b) Alga previamente exposta à solução de corante alimentício vermelho. Fonte: autoria própria.

das algas na remoção dos contaminantes, destacando a diferença na coloração das soluções antes e após a adsorção. Pode-se explicar que a adsorção de metais pesados pelas algas segue princípios semelhantes para as duas utilizadas no experimento.

Este experimento pode ser integrado ao currículo de química do Ensino Médio como parte de uma unidade sobre química ambiental e sustentabilidade. Os alunos podem ser incentivados a explorar a relação entre os conceitos teóricos estudados em sala de aula e as aplicações práticas observadas no experimento. Além disso, pode-se promover discussões sobre os impactos ambientais e a importância de tecnologias sustentáveis no tratamento de resíduos.

Na proposta de aplicação ao Ensino Médio, os conceitos abordados no experimento incluem:

Química Ambiental: introdução aos impactos de metais pesados e elementos radioativos no ambiente e nas cadeias alimentares.

Sustentabilidade: estudo de práticas para remediação ambiental e sua importância para o desenvolvimento sustentável.

Adsorção: conceito e mecanismo pelo qual as algas removem contaminantes da solução, relacionando-o com propriedades químicas como polaridade e estrutura molecular.

Soluções: conceitos de concentração, diluição e análise de soluções contaminadas.

As aplicações práticas observadas incluem:

- Demonstração de uma técnica de biorremediação utilizando macroalgas como materiais acessíveis e sustentáveis para a remoção de contaminantes.
- Relação entre teoria e prática por meio de um experimento que simula condições ambientais reais, permitindo aos alunos avaliar a eficiência de materiais naturais no tratamento de água.
- Reflexão sobre a relevância da química na resolução de problemas ambientais locais e globais.

A experiência prática proporcionada pelo experimento não reforça apenas o conteúdo teórico, mas estimula o interesse dos alunos pela ciência, promove o pensamento crítico e aumenta a conscientização sobre a importância da preservação ambiental. Essa correlação entre o experimento e os principais conteúdos de química na educação básica são fundamentais para a inserção do experimento no planejamento dos professores.

Considerações finais

A educação científica, especialmente em disciplinas como a química, desempenha um papel importante na formação de cidadãos capazes de compreender e enfrentar os desafios ambientais do mundo moderno. No entanto, a complexidade de temas como a química ambiental muitas vezes representa uma barreira significativa no processo de ensino e aprendizagem. Para superar essa barreira, a integração de experimentos práticos no currículo escolar pode ser uma estratégia eficaz.

A proposta de utilização das algas *Sargassum filipendula* e *Kappaphycus alvarezii* para a remoção de metais pesados e elementos radioativos em efluentes oferece uma oportunidade para os alunos aplicarem conceitos teóricos em situações práticas. Além de promover o aprendizado ativo e a

experimentação científica, este tipo de atividade proporciona uma compreensão mais profunda dos processos químicos e de suas implicações ambientais.

Ao realizar este experimento, os estudantes observam a eficiência das algas na remoção de contaminantes e são levados a refletir sobre a importância da preservação ambiental e sobre o papel da ciência na busca por soluções sustentáveis. Esse tipo de abordagem educativa é fundamental para preparar os alunos para os desafios futuros, com o conhecimento e as habilidades necessárias para atuar em prol de um mundo mais sustentável.

Assim, a inclusão deste experimento no Ensino Médio enriquece o conteúdo programático de química e também incentiva os alunos a desenvolverem um olhar crítico sobre as questões ambientais, integrando o aprendizado científico ao contexto social e ambiental em que vivem.

Para saber mais

Como leitura complementar é sugerido o artigo “Biossorção de metais pesados: uma revisão” (Silva *et al.*, 2014). Esse artigo aborda os mecanismos de biossorção, tipos de biossorbentes e fatores que influenciam o processo, oferecendo uma visão abrangente do tema. Disponível em: <https://rsc.revistas.ufcg.edu.br/index.php/rsc/article/view/320/315>, acesso em mai. de 2025.

Isis Verona Nascimento da Silva Franzi (isisfranzi@gmail.com) é bacharel e licenciada em Química pela Faculdade Souza Marques, é mestre em Engenharia Nuclear pelo IME e doutora em Engenharia Nuclear pela UFRJ. **Kamila Lacerda da Silva** (kamilalacerda@ufrj.br) é bacharel e licenciada em Química pela Faculdade Souza Marques, é mestre e doutoranda em Química de Produtos Naturais pela UFRJ. **Anderson Gomes de Paula** (prof.agp@gmail.com) é bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Geraldo Dibiase, mestre em Ensino de Ciências pelo IFRJ e doutor em Engenharia Nuclear pela UFRJ.

Referências

BORGES, A. e MIRANDA, M. The role of chemistry in environmental education: Learning and constructing knowledge through in high school, *Indonesian Journal of Educational Research and Review*, v. 5, n. 3, p. 460-468, 2022.

CHEN, M.; JERONEN, E. e WANG, A. What lies behind teaching and learning green chemistry to promote sustainability education? A literature review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 21, p. 1-25, 2020.

CHENG, Y.; LI, F.; LIU, N.; LAN, T.; YANG, Y.; ZHANG, T.; LIAO, J. e QING, R. A novel freeze-dried natural microalga powder for highly efficient removal of uranium from wastewater. *Chemosphere*, v. 282, p. 1-9, 2021.

COSTA, C.; BERTAGNOLLI, C.; BOOS, A.; SILVA, M. e VIEIRA, M. Application of a dealginated seaweed derivative for the simultaneous metal ions removal from real and synthetic effluents. *Journal of Water Process Engineering*, v. 37, p. 1-11, 2020.

DAVIS, T. A.; VOLESKY, B. e MUCCI, A. A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water research*, v. 37, n. 18, p. 4311-4330, 2003.

DE REVIERS, B. *Biologia e filogenia das algas*. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FERREIRA, L. *Estrutura química e atividade antiviral de polissacarídeos sulfatados obtidos de algas do complexo Laurencia (Ceramiales, Rhodophyta)*. Tese de Doutorado em Bioquímica, Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná-UFPR, Curitiba-PR, 2011.

FRANZI, I. V. N. S. Biossorção de urânio por macroalgas marinhas. Dissertação de Mestrado em Engenharia Nuclear, Instituto Militar de Engenharia-IME, Rio de Janeiro-RJ, 2019.

HÄDER, D.; BANASZAK, A.; VILLAFANE, V.; VILLAFANE, V.; NARVARTE, M.; GONZÁLEZ, R.; HELBLING, E. e HELBLING, E. Anthropogenic pollution of aquatic ecosystems: emerging problems with global implications. *The Science of the Total Environment*, v. 713, p. 1-10, 2020.

HIGGINS, P. An environmental forensic chemistry experiment involving abandoned mine drainage remediation. *Journal of Chemical Education*, v. 97, n. 4, p. 1083-1086, 2020.

JANSSON, S.; SÖDERSTRÖM, H.; ANDERSSON, P. e NORDING, M. Implementation of problem-based learning in environmental chemistry. *Journal of Chemical Education*, v. 92, n. 12, p. 2080-2086, 2015.

KANG, O.; RAMLI, N.; SAID, M.; AHMAD, M.; YASIR, S. e ARIFF, A. *Kappaphycus alvarezii* waste biomass: a potential biosorbent for chromium ions removal. *Journal of Environmental Sciences*, v. 23, n. 6, p. 918-922, 2011.

LEONG, Y. e CHANG, J. Bioremediation of heavy metals using microalgae: recent advances and mechanisms. *Bioresource Technology*, v. 303, p. 1-11, 2020.

LIN, Z.; LI, J.; LUAN, Y. e DAI, W. Application of algae for heavy metal adsorption: A 20 year meta-analysis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 190, p. 1-11, 2020.

MAHESH, V.; JAYASANKAR, R. e MADHAVAN, A. Bioremediation of industrial effluent at source using aquatic macrophytes. *Journal of the Marine Biological Association of*

India, v. 62, n. 2, p. 63-71, 2020.

MURPHY, V.; HUGHES, H. e McLOUGHLIN, P. Enhancement strategies for Cu (II), Cr (III) and Cr (VI) remediation by a variety of seaweed species. *Journal of Hazardous Materials*, v. 166, n. 1, p. 318-326, 2009.

MUSLUM, R. Basics of sustainable development: the example of environmental education. In: *E3S web of conferences*, 2023, Baku, Azerbaijão. Anais. Baku: EDP Sciences, 2023.

PRESBITERIS, R. J. B. *Princípios de química ambiental*. Curitiba: Intersaberes, 2021.

PUTRI, L. The adsorption of heavy metals from industrial wastewater using sargassum crassifolium. *International Journal of GEOMATE*, v. 17, n. 59, p. 21-27, 2019.

SHEIKH, A. e SUBRAMANIAM, S. Challenges and teaching strategies of primary school environmental education, *International Journal for Multidisciplinary Research*, v. 5, n. 5, p. 1-16, 2023.

SILVA, J. L. B. C.; PEQUENO, O. T. B. L.; ROCHA, L. K. S.; ARAÚJO, E. C. O.; MACIEL, T. A. R.; BARROS, A. J. M. Biossorção de metais pesados: uma revisão. *Revista Saúde & Ciência* (Campina Grande), v. 3, n. 3, p. 137-149, 2014.

SYAMSUDDIN, R.; BOHARI, R. e NA, A. Weight gain of seaweed *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriscaeae) and *Sargassum polycystum* (Paeophyta, Sargassaceae) mix cultured at different planting distances. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, v. 6, n. 1, p. 212-217, 2019.

TEWARI, A.; BHUTADA, D. e WADGAONKAR, V. Heavy metal remediation from water/wastewater using bioadsorbents - a review. *Nature Environment and Pollution Technology*, v. 22, n. 4, p. 2039-2053, 2023.

VOLESKY, B. Biosorption and me. *Water Research*, v. 41, n. 18, p. 4017-4029, 2007.

WERNECK, V. R. Sobre o processo de construção do conhecimento: o papel do ensino e da pesquisa. *Ensaio: avaliação e políticas públicas em educação*, v. 14, n. 51, p. 173-196, 2006.

Abstract: *Exploring the removal of heavy metals using marine algae: a didactic approach with Sargassum filipendula and Kappaphycus alvarezii.* This article presents a practical approach to teaching environmental chemistry in high school, utilizing the algae *Sargassum filipendula* and *Kappaphycus alvarezii*. The study highlights these algae's ability to remove heavy metals from effluents, addressing a relevant environmental issue. The methodology aims to provide students with an accessible hands-on experience using common materials, making learning more engaging and connected to sustainability. The proposed experiment has the potential to help students understand the impact of human activities on the environment, fostering awareness of sustainable practices. The integration of theory and practice is emphasized to consolidate knowledge and develop essential skills for scientific thinking, aligning with the goals of an education that prepares students for future environmental and technological challenges.

Keywords: experimental activity, macroalgae, adsorption.

A música no ensino de ciências da natureza: uma revisão sistemática da literatura

Music in natural science teaching: a systematic literature review

Joice Menezes Lupinetti e Daniele Correia

94

Resumo: Ao introduzir elementos musicais no processo de aprendizagem de ciências da natureza, tais como melodias, ritmos e letras, busca-se criar novas experiências educacionais que promovam a compreensão crítica e reflexiva acerca de temas científicos por parte dos alunos. Diante do exposto, realizamos uma revisão sistemática da literatura (RSL) sobre o objeto de estudo “música no ensino de ciências da natureza”. Buscamos caracterizar as diferentes abordagens sobre sua utilização em aulas na educação básica, bem como discutir sobre os conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais que são possibilitados por meio das propostas, utilizando, para tanto, o referencial de Zabala (1998). Por fim, os resultados evidenciam um crescente aumento da produção científica relacionada à inserção da música. No que diz respeito aos impactos percebidos, ressaltam-se as aprendizagens de conteúdos atitudinais, revelando-as como um recurso que promove o engajamento e a motivação dos estudantes.

Palavras-chave: ensino de ciências da natureza, educação musical, revisão sistemática

Abstract: By introducing musical elements into the natural sciences learning process, such as melodies, rhythms, and lyrics, we seek to create new educational experiences that promote critical and reflective understanding of scientific topics by students. In this context, we conducted a systematic literature review (SLR) on the object of study “music in natural sciences teaching”. We sought to characterize its different approaches in elementary education classes, as well as discuss the conceptual, procedural, and attitudinal contents enabled by the proposals, based on Zabala (1998). Finally, the results show an increase in scientific production regarding the introduction of music. Regarding the perceived impacts, learning of attitudinal contents is highlighted, proving to be a resource that promotes student’s engagement and motivation.

Keywords: natural sciences teaching, musical education, systematic review

Joice Menezes Lupinetti (joyce.lupinetti@ufms.br) é licenciada e bacharel em Química pela Universidade Federal da Grande Dourados, especialista em Educação Matemática e Ensino de Ciências pela Universidade Federal da Grande Dourados, mestre em Educação Científica e Matemática pela Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul e doutoranda em Ensino de Ciências da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Atualmente é professora de apoio educacional especializado da Secretaria de Educação de Dourados, Campo Grande-MS. **Daniele Correia** (d.correia@ufms.br) é licenciada em Química pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), mestre em Química pela UFSM e doutora em Educação em Ciências pela UFSM. Atualmente é professora adjunta da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). É docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Ensino em Ciências/PPEC e do Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional/PROFQUI, Campo Grande-MS.

Recebido em 02/03/2025; aceito em 23/06/2025

A seção “Cadernos de Pesquisa” é um espaço dedicado exclusivamente para artigos inéditos (empíricos, de revisão ou teóricos) que apresentem profundidade teórico-metodológica, gerem conhecimentos novos para a área e contribuições para o avanço da pesquisa em Ensino de Química.



Introdução

A instituição educacional ideal é aquela que garante a todos uma educação cultural e científica essencial para a vida pessoal, profissional e cidadã, permitindo uma relação autônoma, crítica e construtiva com a cultura em suas diversas manifestações. Essa noção engloba aspectos oferecidos pela ciência, tecnologia e a cultura paralela, veiculada pelos meios de comunicação em contínua transformação, além da tradição do dia a dia (Libâneo, 2001).

Nesse sentido, o propósito principal da escola seria o de formar cidadãos participativos em todos os âmbitos da vida social contemporânea, o que implica articular os clássicos objetivos educacionais de apropriação dos conhecimentos científicos ao desenvolvimento do pensamento autônomo, crítico e criativo, além da formação de qualidades morais, atitudes e convicções alinhadas às demandas da sociedade comunicacional, informática e globalizada (Libâneo, 2001).

Pensando em tais relações, emergem novas pesquisas que discutem possibilidades voltadas à articulação entre elementos culturais, como a relação entre música e o ensino de ciências. Revela-se assim a compreensão de que o ensino é um processo dinâmico que estimula a aprendizagem ativa e a busca por conhecimento, em que a instituição educacional fomenta a compreensão das mudanças ocorridas na sociedade e a análise crítica frente às diversas manifestações culturais (Coutinho, 2014; Nogueira, 2017; Costa, 2018; Rein, 2018; Araujo Filho, 2018; Decian, 2020; Silva, 2020; Rizzo, 2022; Moraes, 2022; Sousa, 2022).

Para embasar a RSL, foco deste manuscrito, consideramos os pressupostos que sustentam a necessidade de integrar arte, cultura e ciência no contexto da educação básica, especialmente no ensino de ciências exatas. Segundo Libâneo (2001), a escola ideal é aquela que promove uma formação cultural e científica que permita aos sujeitos uma atuação crítica, autônoma e criativa frente às múltiplas manifestações da cultura. Essa perspectiva amplia o papel da escola para além da simples transmissão de conteúdos científicos, valorizando a formação integral do indivíduo.

Nesse cenário, a articulação entre ciência e elementos culturais, como a música, emerge como uma estratégia pedagógica

que potencializa o processo de ensino e de aprendizagem de ciências da natureza. A música, enquanto manifestação artística e cultural, pode servir como um material que aproxima os saberes científicos e a experiência cotidiana dos estudantes, possibilitando a aprendizagem e o desenvolvimento do pensamento crítico.

Apesar de a própria área reconhecer a importância dessas articulações (como evidenciado nas diversas pesquisas citadas), o estudo empírico sobre como a música pode ser incorporada no ensino de ciências da natureza ainda é pouco explorado. Assim, justifica-se a realização desta RSL, que se propôs a mapear o estado atual do conhecimento sobre o tema, identificar lacunas e apontar caminhos para novas investigações.

Considerando esse contexto, neste trabalho apresentamos os resultados de uma RSL, guiada pelos seguintes questionamentos: (1) Como a música é incorporada no ensino de ciências da natureza na educação básica? (2) Quais aprendizagens são evidenciadas pelos pesquisadores a partir do desenvolvimento de aulas de ciências da natureza com música? Nosso objetivo foi compreender como a música está sendo utilizada nos componentes curriculares de ciências da natureza na educação básica. A seguir, elucidamos os aspectos metodológicos que nos direcionaram no desenvolvimento desta pesquisa.

Metodologia de pesquisa

Neste artigo optamos por utilizar a metodologia RSL. Para tanto, consideramos os pressupostos de Kitchenham e Charters (2007), organizando o nosso estudo em três etapas: planejamento, condução e relatório.

Durante o planejamento, elaboramos questões de pesquisa e objetivos que delimitaram as ações do processo de condução (Quadro 1). Realizamos as etapas de buscas, seleção, extração dos dados, avaliação dos estudos, compreensão e interpretação das principais ideias, possibilitando assim a elaboração do relatório.

Segundo Kitchenham e Charters (2007), antes de se iniciar a condução dos estudos em uma RSL, é importante que sejam realizadas buscas que permitam ao pesquisador identificar produções anteriores desenvolvidas sobre o objeto de estudo. Portanto, conduzimos o nosso estudo seguindo as orientações dos autores citados.

Quadro 1: Questões que conduziram o estudo.

Questão de pesquisa	Objetivo
Q.1 Como a música é incorporada no ensino de ciências da natureza na educação básica?	- Investigar as diferentes formas e métodos com os quais a música tem sido integrada nos componentes de ciências da natureza, incluindo abordagens pedagógicas, estilos musicais utilizados e atividades específicas.
Q.2 Quais aprendizagens são evidenciadas pelos pesquisadores a partir do desenvolvimento de aulas de ciências da natureza com música?	- Compreender quais foram as aprendizagens de conteúdo conceitual e de conteúdo atitudinal (Zabala, 1998) evidenciadas pelos pesquisadores ao utilizarem a música nas aulas de ciências da natureza.

Fonte: elaborado pelas autoras, 2024.

Desse modo, definimos as seguintes bases de indexação: Catálogo de Teses e Dissertações da Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), Scopus e Portal da CAPES. Os periódicos selecionados foram os estratificados com Qualis CAPES A e B referentes ao quadriênio 2017-2020. A seleção foi realizada com base no acervo de periódicos administrado pela CAPES, sendo complementada por meio de uma inclusão manual, abrangendo estudos já reconhecidos no âmbito específico da área em questão.

As buscas nas bases de indexação foram norteadas pelo objetivo de compreender como a música vem sendo utilizada em componentes de ciências da natureza na escola de educação básica. Nesse sentido, buscamos obter *insights* sobre diferentes aspectos da integração entre a música e o ensino de ciências da natureza, acerca de métodos de implementação, impactos percebidos, desafios enfrentados pelos professores e contribuições para o desenvolvimento de habilidades e aprendizagem de conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais (Zabala, 1998).

Optamos por não limitar o período de publicação dos estudos, visando identificar o maior número possível de produções que tratassem da relação entre música e o ensino de ciências da natureza na educação básica. Ao adotar esse critério, foram incluídos na RSL todos os estudos disponíveis nas bases consultadas, desde que atendessem aos critérios pré-estabelecidos. Essa escolha se justifica pelo fato de a temática ainda ser pouco explorada na literatura, o que torna relevante considerarmos todas as produções científicas publicadas.

Para a busca nas bases de indexação, constituímos um conjunto de palavras incluindo tanto termos considerados centrais da RSL quanto aqueles considerados sinônimos, formando a *string* de busca comum. Para a associação dos termos na fase de busca, foram utilizadas combinações de palavras e operadores booleanos. A *string* foi composta das seguintes associações: música *AND* ciências; música *AND* química; música *AND* física; música *AND* biologia; *music AND chemistry*; *music AND science*; *music AND biology*; e *music AND physics*, além de algumas variações contendo as palavras *song* ou *canção*.

Os arquivos referentes às publicações, no formato BibTeX, com extensão “bib”, foram copiados, acrescentando à lista todos os resultados de estudos retornados da busca da *string*. Para organizar e sistematizar as etapas da revisão sistemática, utilizamos a ferramenta digital Parsifal®, uma plataforma gratuita disponível na web (<https://parsif.al>), desenvolvida especificamente para apoiar revisões sistemáticas na área de computação, mas amplamente aplicável a outras áreas do conhecimento. O Parsifal orienta o pesquisador na estruturação metodológica da RSL, permitindo a definição clara das questões de pesquisa, critérios de inclusão e exclusão, estratégias de busca e extração dos dados e o rastreamento das etapas da revisão, garantindo maior rigor metodológico ao estudo (Okoli, 2019). A ferramenta Parsifal se baseia no

modelo PICOC (população, intervenção, comparação, *outcome* (resultado) e contexto), e adota os princípios do protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Promovem-se, assim, maior transparência, reprodutibilidade e organização nos processos de seleção, triagem e qualificação dos estudos (Page *et al.*, 2022). O PRISMA é um conjunto de diretrizes voltadas à organização de revisões sistemáticas e meta-análises, fornecendo uma estrutura detalhada para todas as etapas do processo, desde a identificação e triagem dos estudos até a inclusão final e análise dos dados (Moher *et al.*, 2015). Nesse sentido, ao adotar o protocolo, o pesquisador assegura a aplicação de critérios claros e explícitos na seleção e avaliação das evidências, contribuindo para a sistematicidade e a reprodutibilidade do estudo, elementos essenciais para uma RSL bem-sucedida e cientificamente válida.

Assim, o corpus da pesquisa foi construído a partir das produções científicas anexadas à ferramenta Parsifal®. Para isso, foram observados os parâmetros presentes na estrutura da própria ferramenta online. Tais parâmetros são identificados como PICOC, sendo utilizados neste estudo para estruturar a formulação da questão de pesquisa, delimitar o escopo da revisão, bem como estruturar e refinar as estratégias de busca, a saber: a) população – estudos sobre o uso da música no ensino de ciências da natureza; b) intervenção – estratégias didáticas que utilizam música para promover aprendizagens; c) comparação – diferentes abordagens ou metodologias de uso da música; d) outcome (resultados): evidências de aprendizagem conceitual e/ou atitudinal; e e) contexto: educação básica, com foco nos componentes de ciências da natureza.

Segundo Kitchenham e Charters (2007), outro parâmetro importante na RSL são os critérios de inclusão e exclusão, os quais permitirão o reconhecimento de estudos primários, relacionados diretamente às questões de pesquisa. Abaixo, apresentamos os critérios aplicados:

- Critérios de inclusão: 1. estudo primário; 2. estudos nos idiomas inglês, português e espanhol; 3. estudos que discutam a música no ensino de ciências da natureza na educação básica; 4. teses e dissertações; e 5. artigos de periódicos avaliados com Qualis-CAPES A ou B (nacionais e internacionais).
- Critérios de exclusão: 1. estudos duplicados; 2. trabalhos que não estivessem nos idiomas inglês, português ou espanhol; 3. trabalhos que não fossem classificados como teses, dissertações ou artigos; 4. estudos que não estivessem relacionados ao objetivo da pesquisa; 5. estudos cujos textos não estivessem disponíveis em formato digital ou com acesso gratuito; 6. estudos que não relacionassem o ensino de ciências da natureza e a música na educação básica; e 7. estudos publicados em periódicos com estrato Qualis/CAPES – C.

Kitchenham e Charters (2007) consideram que a seleção dos estudos é um procedimento multifásico. Inicialmente, é

essencial interpretar os critérios de seleção de forma abrangente e posteriormente recuperar os trabalhos completos. Inicialmente, realizamos buscas nas bases de dados, para tanto, foram adicionados os seguintes filtros: área de conhecimento, sendo ciências exatas e da terra; área de concentração, sendo educação e ensino de ciências; e pesquisas em inglês, português ou espanhol e periódicos revisados por pares. Posteriormente, transferimos os escritos para o programa Parsifal®, possibilitando assim a leitura dos títulos, palavras-chave e resumos. Finalizamos então com a recuperação dos arquivos completos. Após a leitura dos títulos, palavras-chave e resumos, os estudos foram classificados como aceito, rejeitado ou duplicado, em função dos critérios já apontados.

Ao se considerar os critérios de inclusão e exclusão, é de suma importância, ainda, realizar a avaliação da “qualidade” dos estudos primários, visando oferecer parâmetros mais detalhados para integrar ou descartar um manuscrito e explorar os seus resultados (Kitchenham e Charters, 2007).

A análise minuciosa da qualidade comumente se fundamenta em “instrumentos de qualidade”, os quais consistem em listas de fatores que devem ser examinados para cada estudo. Caso os elementos de qualidade nessa lista sejam associados a escalas numéricas, torna-se viável a obtenção de avaliações quantitativas da qualidade (Kitchenham e Charters, 2007). Nesse sentido, a qualidade dos textos incorporados ao corpus do estudo foi definida conforme a pontuação obtida em relação às questões apresentadas na Tabela 1.

A depender da resposta para as questões, cada manuscrito recebeu uma nota que correspondeu a 1,0 (um) ponto para a resposta “sim”; a 0,5 (meio) ponto para a resposta “parcialmente”, e a 0,0 (zero) ponto para a resposta “não” a cada questão observada. Estudos que não pontuaram foram excluídos nessa etapa.

Os trabalhos selecionados que atingiram pontuação igual ou acima de 3,5 pontos foram lidos na íntegra para a construção de um resumo e a identificação de como foram abordadas as questões iniciais da RSL, ou seja, as pesquisas analisadas deveriam atingir ao menos 50% dos critérios avaliativos. Esse ponto de corte foi definido para garantir que apenas produções

científicas com qualidade metodológica e relevância teórica fossem considerados para fins de estudo.

A finalização da metodologia deste estudo se deu com o desenvolvimento de um formulário de extração de dados, que se trata de um documento estruturado para a coleta sistemática de informações a partir de estudos primários (Kitchenham e Charters, 2007). Os seguintes elementos foram considerados: sujeitos da pesquisa; objetivos do estudo; metodologia do estudo; referencial; uso da música; potencialidades identificadas; e desafios identificados.

Complementarmente, as análises dos estudos selecionados foram conduzidas com base nos pressupostos de Bardin (2011), por meio da análise de conteúdo (AC). Essa metodologia se divide em três fases: pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados. Na pré-análise foi realizada a leitura inicial de títulos, resumos e palavras-chave, observando os critérios de inclusão e exclusão. Em seguida, iniciou-se a leitura e seleção das produções científicas (dissertações, teses e artigos), segundo as questões de qualidade (Tabela 1), organizando as informações em categorias temáticas relacionadas às questões de pesquisa (Quadro 1). O tratamento dos resultados consistiu na codificação e categorização dos dados, permitindo identificar padrões e recorrências nos estudos analisados. Os dados foram organizados de forma a responderem diretamente às perguntas da RSL, agrupando as evidências em torno das seguintes categorias emergentes: perfil das produções científicas; formas de integração da música no ensino de ciências da natureza, estratégias didáticas e abordagens pedagógicas adotadas; e indícios de aprendizagem e potencialidades apontadas pelos autores das produções científicas.

Resultados e discussões

A apresentação e discussão dos resultados serão introduzidas a partir das categorias emergentes: perfil das produções científicas; formas de integração da música no ensino de ciências da natureza, estratégias didáticas e abordagens pedagógicas adotadas; e indícios de aprendizagem e potencialidades apontadas pelos autores das produções científicas.

Tabela 1: Questões qualificadoras aplicadas aos trabalhos selecionados.

Questões qualificadoras	Não	Sim	Parcialmente
Q.1: Os objetivos da pesquisa estão claros?	0,0	1,0	0,5
Q.2: A metodologia está detalhada e é facilmente compreendida?	0,0	1,0	0,5
Q.3: A pesquisa utilizou um referencial teórico que justificou a escolha da música?	0,0	1,0	0,5
Q.4: O contexto em que o estudo foi desenvolvido está explícito?	0,0	1,0	0,5
Q.5: O estudo está realizando uma abordagem sobre a música no ensino de ciências da natureza?	0,0	1,0	0,5
Q.6: A descrição dos resultados é suficiente para a realização da análise?	0,0	1,0	0,5
Q.7: O autor destacou as potencialidades e os desafios enfrentados ao utilizar a música para ensinar ciências da natureza na educação básica?	0,0	1,0	0,5

Fonte: preenchimento a partir de dados da pesquisa. Nota: elaborado pelas autoras.

Perfil das produções científicas

Com o apoio da ferramenta digital Parsifal®, foi realizada a inserção dos dados para buscas nas bases escolhidas – Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, Portal de Periódicos da CAPES e Scopus –, sendo removidos aqueles que estivessem fora do escopo temático ou que não fossem classificados como teses, dissertações ou artigos (1187 pesquisas), bem como pesquisas que não estivessem nos idiomas inglês, português ou espanhol, revisões da literatura e documentais (26 pesquisas). Duplicatas foram eliminadas para evitar redundâncias (329 pesquisas) e foi avaliada a qualidade metodológica, excluindo estudos que não atendiam a padrões científicos (duas pesquisas). Trabalhos com o texto completo indisponível ou publicados em revistas de Qualis-C também foram excluídos, a fim de preservar a integridade dos dados (39 pesquisas), resultando em 1583 trabalhos rejeitados e 80 trabalhos aceitos para análise. Adicionalmente, realizou-se inserção manual de 13 estudos, não localizados nas bases de indexação originais. Essas produções foram acrescentadas por tratarem diretamente do objeto de estudo desta pesquisa, sendo selecionadas a partir de indicações evidenciadas na leitura e análise do corpus. Apesar de os 13 artigos não estarem indexados nas bases selecionadas, apresentam relevância teórica e metodológica, com base em sua recorrência em citações e reconhecimento na área de ensino de ciências.

A Figura 1 apresenta um resumo desse processo, após a aplicação dos filtros descritos na seção 2.

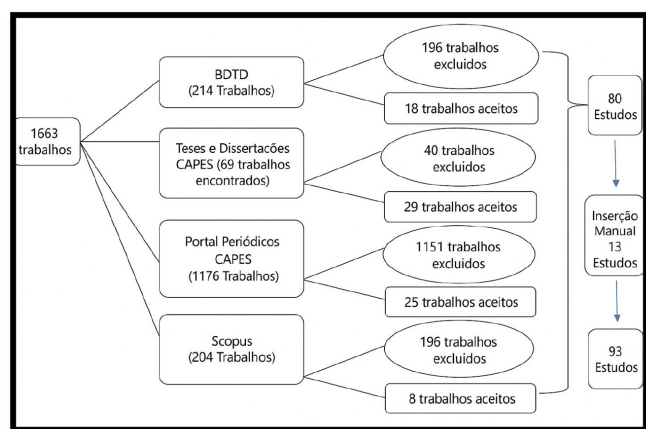


Figura 1: Distribuição de estudos aceitos e rejeitados por base de indexação. Fonte: preenchimento a partir de dados da pesquisa. Nota: elaborado pelas autoras.

Os trabalhos analisados foram publicados entre os anos de 1995 e 2022. Visando proporcionar uma visão cronológica do desenvolvimento das publicações ao longo do tempo, plotamos o gráfico apresentado na Figura 2. A análise desses dados revela algumas tendências com o passar dos anos.

Nos primeiros anos, entre 1995 e 2009, notamos uma quantidade relativamente baixa de publicações, indicando uma



Figura 2: Visão temporal dos estudos. Fonte: preenchimento a partir de dados da pesquisa. Nota: elaborado pelas autoras.

possível fase inicial de interesse ou reconhecimento da importância dessa abordagem no ensino de ciências da natureza. Em seguida, houve um pico em 2010, seguido de uma tendência ascendente a partir de 2013, atingindo o ápice em 2018, com 11 manuscritos. Os anos subsequentes, de 2019 e 2020, se mantiveram estáveis, com 16 pesquisas em cada. No entanto, houve uma queda em 2021 para cinco estudos, seguida de um ressurgimento em 2022, com nove publicações.

As tendências observadas no decorrer da nossa revisão corroboram os dados descritos por Rocha (2022), ao estudar trabalhos publicados nos seguintes eventos: Encontro Nacional de Pesquisa e Educação em Ciências (ENPEC), Encontro Nacional de Ensino de Biologia (ENEBIO), Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ) e Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF). O autor descreve uma ascendência no número de estudos em 2013, bem como o ápice nas pesquisas publicadas em 2018.

Com o intuito de apresentar a caracterização do corpus da pesquisa, organizamos na Tabela 2 as informações referentes ao perfil das produções científicas analisadas.

Tabela 2: Perfil dos estudos analisados.

Características	Tipologia	Frequência
Tipo de publicação	Artigo	45
	Dissertação	48
	Tese	0
Idioma	Inglês	22
	Português	70
	Espanhol	01
Área do conhecimento	Biologia	21
	Física	40
	Química	28
	Ciências (interdisciplinar)	4

Fonte: preenchimento a partir de dados da pesquisa. Nota: elaborado pelas autoras.

A Tabela 2 sintetiza os principais aspectos dos estudos analisados, permitindo um panorama sobre a utilização da música no ensino de ciências da natureza. Observa-se um predomínio das dissertações (48), o que aponta para uma maior exploração do tema em programas de mestrado, contrastando com a ausência de teses de doutorado, o que pode indicar que a temática continua em fase de amadurecimento no campo acadêmico.

Quanto ao idioma, a maioria das produções está em português (70), o que reflete a centralidade da produção nacional, mas também sugere uma limitação na internacionalização dos estudos. Em relação às áreas do conhecimento, destacam-se a física com 40 trabalhos, seguida da química (28) e biologia (21), o que pode estar relacionado à tradição dessas disciplinas na busca por abordagens alternativas para temas abstratos.

Formas de integração da música no ensino de ciências da natureza, estratégias didáticas e abordagens pedagógicas adotadas

A convergência entre educação em ciências e música tem sido tema de estudo para pesquisadores, culminando em práticas que enriquecem o ambiente de aprendizado. Nesse sentido, abordaremos as discussões dos autores destacando a maneira como a música permeia as disciplinas de biologia, ciências, física e química, componentes que estruturam o eixo formativo de ciências da natureza na educação básica.

O ensino de biologia, quando articulado com elementos da cultura e da arte, revela possibilidades para a abordagem de temas no ambiente escolar. No contexto político brasileiro nos anos de 2017 e 2018, por exemplo, emergem produções musicais de artistas LGBTQ+ que tensionam os roteiros normativos de gênero e sexualidade, manifestando novas formas de compreensão do corpo e da sexualidade (Costa, 2019).

Por meio da análise cultural da obra *Pajubá*, de Linn da Quebrada, o autor descreve que “os saberes transmitidos por suas músicas podem instruir as descobertas sobre o corpo; desmembrando os roteiros heteronormativos sobre a sexualidade, gênero e as relações sexuais”. Tais abordagens permitem repensar os conteúdos tradicionais da biologia sob a ótica das experiências corporificadas e das epistemologias decoloniais, contribuindo para o surgimento de “novas bio-logias” no espaço escolar (Costa, 2019, p.7).

A articulação entre arte, cultura e biologia também se mostra como um instrumento para enriquecer o processo de ensino de conceitos de botânica. Nesse sentido, uma experiência pedagógica, proposta por Sousa (2022), com alunos do ensino médio e da Educação de Jovens e Adultos (EJA) em uma escola de Pernambuco demonstrou como a música aproximou o conhecimento científico da realidade local.

Os estudantes foram convidados a identificar plantas da Caatinga mencionadas em canções populares, e a partir daí construir um catálogo, um blog intitulado “Canções Botânicas” e um jogo pedagógico. Segundo Sousa (2022, p. 9), “foi muito fácil ver a afinidade dos alunos com o tema quando as músicas foram utilizadas como ‘ponte’ entre o conteúdo e a confecção dos produtos”. A autora destaca que a proposta pedagógica valorizou os saberes populares, fortalecendo o vínculo com o território e os biomas regionais.

De forma semelhante, Lorenção (2022) descreveu a música como um elemento que permite abordar temas ecológicos e

conservacionistas. O Brasil, apesar de possuir uma das maiores diversidades de anfíbios e répteis do mundo, vê essa riqueza ameaçada por desmatamentos, mudanças climáticas e relações culturais negativas com esses animais. O medo e a repulsa socialmente construídos dificultam as ações de conservação.

Diante disso, a educação ambiental, “além de questionar e promover a mudança das bases capitalistas que causam a crise ambiental, também sensibiliza para a necessidade da conservação” (Lorenção, 2022, p. 5). Em sua pesquisa, ao analisar músicas brasileiras com referências à herpetofauna, observou que os anfíbios e répteis são comumente associados à sexualidade, o que pode tanto reforçar estigmas quanto abrir caminho para reflexões críticas. O acervo musical organizado oferece, portanto, subsídios para discussões interdisciplinares envolvendo etnozoologia, socioecologia, educação ambiental e educação sexual.

Pesquisadores como Melo e Dias (2015), Almeida *et al.* (2017), Paixão (2019), Silva (2022) e Carvalho (2022) discutem sobre outra vertente, indicando a criação de paródias como uma possibilidade para o processo de ensino e de aprendizagem de conceitos do componente curricular de biologia.

Paixão (2019, p. 15) explica que uma paródia é “uma recriação de um trabalho, no qual o novo autor coloca suas ideias e expressões, utilizando a estrutura da obra anterior”. A autora descreve que para o desenvolvimento de propostas que a utilizem, são necessárias as etapas de estudo do conteúdo, escolha de uma música, que será adaptada considerando os conceitos que se pretende abordar, e criação de uma nova letra para a melodia já conhecida. Ainda, a autora elucida que esse processo ajuda a organizar e entender melhor o conteúdo, pois, para escrever a nova letra, é necessário que o aluno reflita sobre o que estudou e como isso pode fazer sentido na música.

Nesse contexto, Melo e Dias (2015) ilustram que o uso de paródias no ensino de biologia estimula o desenvolvimento de habilidades, ao permitir que o estudante crie o seu próprio material de estudo. Almeida *et al.* (2017) explicam que o material permite aos envolvidos “conhecer suas dificuldades”, possibilitando “aproximá-los do objeto de conhecimento” (Almeida *et al.*, 2017, p. 16). Silva (2022) amplia essa perspectiva evidenciando que o ambiente escolar é desinteressante para alguns estudantes, por meio do uso da música, em sua pesquisa, passou a ser visto como um modo de expressão de saberes e dúvidas, em que os discentes se demonstraram mais participativos.

Ao trabalhar com a construção de paródias como forma de discutir temas ambientais e sociais no ensino médio, Carvalho (2022) identificou que a música se mostra pertinente, especialmente quando vinculada ao cotidiano dos estudantes e aos gêneros musicais de sua preferência, especialmente no contexto de temas transversais como sexualidade, saúde, diversidade e meio ambiente.

Silva (2019), Carlos (2020) e Ramos (2020) apresentam outra perspectiva, nos três estudos, a composição de músicas

autorais foi utilizada como forma de expressão para ensinar biologia. Silva (2019) propôs a escrita no estilo rap. Com raízes nas periferias urbanas e forte apelo entre os jovens, o autor evidencia que ao utilizar estilos musicais alinhados às preferências dos estudantes, o professor favorece a adoção de uma linguagem acessível que promova a articulação de temas sociais com aspectos do cotidiano.

Carlos (2020) também conduziu uma pesquisa abordando uma experiência relacionada à composição, na qual realizou a aplicação de uma sequência didática investigativa sobre o sistema muscular. Considerando a presença cada vez mais marcante das redes sociais na vida dos adolescentes e a busca por padrões corporais idealizados, o estudo destaca a importância de se trabalhar o tema dos músculos de forma crítica e científica.

Observações feitas durante anos de docência no Colégio Naval revelaram que o interesse dos estudantes por esse conteúdo é significativo quando articulado a questões práticas de performance física. A sequência culmina com a produção musical, permitindo que sejam recriadas ou modificadas as canções propostas, exercitando, assim, tanto a criatividade quanto a alfabetização científica (Carlos, 2020).

Por fim, quanto ao ensino de biologia, Ramos (2020) descreve a dificuldade dos estudantes de compreender temas que envolvam nomenclaturas complexas. Para enfrentar esse desafio, desenvolveu um projeto que une música e investigação científica, a partir de questionários aplicados a alunos do ensino médio. Os temas mais votados — genética, respiração celular aeróbia, botânica e ecologia — foram transformados em canções com elementos discursivos próprios da linguagem musical, como metáforas, inferências e argumentações. As letras resultantes foram analisadas e os registros audiovisuais foram posteriormente disponibilizados online, acompanhados de um e-book com orientações didáticas.

Ao realizarmos a análise dos trabalhos voltados ao ensino de física, notamos que a vertente de estudo se difere das pesquisas destinadas ao componente curricular de biologia. Abordando temas relacionados à acústica, French (2005), Vilão e Melo (2014), Lérias (2016), Silva (2017), Soares (2018), Araujo Filho (2018), Silva (2020) e Moraes (2022) exploraram o uso de instrumentos musicais para ilustrar conceitos relacionados ao tema principal.

French (2005, p. 47, traduzido pelas autoras) afirma que “os conceitos de vibração e acústica às vezes são difíceis de entender porque não parecem ser intuitivos”, o que justifica o uso de instrumentos musicais como o violão e a guitarra para tornar esses conteúdos mais tangíveis. Nesse mesmo sentido, Vilão e Melo (2014, p. 1, traduzido pelas autoras), ao estudarem sobre o berimbau-de-barriga, ressaltam que “a simples física das vibrações da corda e da massa de ar no interior da cabaça” permite aproximar fenômenos acústicos de aspectos culturais brasileiros, enriquecendo o ensino contextualizado.

Ao explorarem as interações em sala de aula mediadas por instrumentos musicais, as pesquisas revelam que “a discussão

e o manuseio de instrumentos musicais em pequenos grupos fizeram com que os alunos interagissem entre si e com o professor, favorecendo a construção do conhecimento” (Silva, 2017, p. 6). Além disso, Soares (2018) argumenta que a proposta “foi muito bem recepcionado por grande parte da turma na qual foi aplicado, e além de motivá-los a aprender mais sobre acústica” (Soares, 2018, p. 7).

De forma semelhante, ao propor uma sequência de ensino investigativa (SEI) voltada ao estudo das cordas vibrantes utilizando violão, Araujo Filho (2018) destaca que “a experiência vivenciada apontou a viabilidade na busca da aprendizagem significativa no contexto das cordas vibrantes”. O autor ressalta ainda que a fase de problematização “gera inquietações nos alunos” e que as atividades experimentais em grupo permitem a “passagem da representação abstrata do conhecimento à manipulação de conceitos e variáveis” (p. 6).

Por sua vez, Silva (2020) destaca que a acústica é tratada de forma superficial no ensino fundamental, argumentando que o conteúdo nessa etapa é visto “com pouca ou quase nada da contextualização necessária para a aprendizagem”, e os conteúdos relacionados ao som acabam restritos à intensidade sonora e aos seus efeitos sobre a audição. Com isso, propõe o uso da metodologia de ensino investigativo, a fim de “auxiliar o professor no ensino da acústica, bem como despertar o interesse do aluno sobre a relevância deste, sobretudo sua relação com a música e suas características” (Silva, 2020, p. 7).

Já Moraes (2022) desenvolve uma proposta centrada no uso do instrumento musical kalimba, estimulando o protagonismo dos alunos e explorando as relações entre o comprimento das lâminas da kalimba e a frequência de vibração, possibilitando assim que os conceitos de frequência e nota musical fossem compreendidos a partir da experiência direta.

A construção de instrumentos musicais no contexto do ensino de física representou mais uma vertente de abordagem pedagógica. O engajamento dos alunos na fabricação e manipulação de instrumentos, como cordas de violão, flautas ou transdutores rudimentares, permitiu que compreendessem os princípios físicos subjacentes, como acústica e ondulatória (Livério Junior *et al.*, 2015; Rauch, 2016; Silva, 2017; Andrade *et al.*, 2018; Silva, 2018; Purificação *et al.*, 2018; Rodrigues, 2016; Lourenço *et al.*, 2020; Gava, 2020; Barbosa, 2020; Rizzo, 2022;).

Além da utilização de instrumentos, as pesquisas destacaram outras abordagens sobre a música e a física. Dias (2012) propôs oficinas com música clássica, explorando o baixo contínuo, contraponto e harmonia tonal para promover o pensamento lógico. Carmo (2013) desenvolveu um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) abordando temas diversos relacionados ao som e à música. Costa (2018) utilizou jogos de tabuleiro como metodologia lúdica para interligar conhecimentos de música e de física. Lima (2020) enfatizou a transmissão de músicas em frequências adequadas, enquanto Fonseca (2020) introduziu paródias como recurso e Stoica, Moraru e Mirona

(2010) utilizam o software *Science of Music*, propondo a exploração da relação entre as leis físicas e os fenômenos musicais, traduzindo harmonias representadas em equações matemáticas.

Por sua vez, Vick (2010) utilizou uma atividade de digitalização dos sons, integrando tecnologia e a resolução de problemas pelos alunos, ensinando, por meio das atividades, conteúdos relacionados aos seguintes temas: ondas, som, óptica, reflexão total interna e fibras ópticas. De modo semelhante, Perrotta e Perrotta (2004) integraram conceitos do som e da série harmônica ao desenvolverem uma sequência didática voltada a aulas de física, matemática e música.

Visando aproximar os alunos dos conceitos da astronomia, Bacelar (2019) desenvolveu uma atividade utilizando uma canção chamada “Astronomia”, composição de Danielson, por meio da qual os participantes da pesquisa foram estimulados a escrever as compressões alcançadas. Corroborando essas ideias, Lima (2019) explorou a música como elemento para promover discussões e abordar temas como as fases da lua e explosões de estrelas, visando desenvolver as compreensões dos estudantes sobre o assunto.

Silva (2019) seguiu uma linha semelhante ao utilizar a música como material para promover discussões, explorando a história e o senso comum relacionados à queda livre dos corpos. Desse modo, os estudos demonstraram formas de integração da música no ensino de física, com estratégias voltadas principalmente à utilização e construção de instrumentos musicais, abordando diversos temas relacionados ao conteúdo de acústica, som, frequência, entre outros.

No escopo dos estudos que discutem sobre a música no ensino de química, as pesquisas utilizaram paródias como uma das estratégias. No estudo de Coutinho (2014), os alunos participaram da elaboração coletiva de uma paródia sobre modelos atômicos, processo que envolveu pesquisa, votação da música, construção da letra e apresentação em evento escolar, sendo posteriormente avaliado o impacto dessa metodologia por meio de questionários. Leão *et al.* (2014) propuseram a criação de paródias sobre os elementos químicos e a tabela periódica, com apresentações realizadas para a comunidade escolar, incentivando a criatividade, a expressão oral e o envolvimento dos estudantes. Torres (2017) se baseou na Teoria da Aprendizagem Significativa para desenvolver um trabalho com paródias abordando conceitos relacionados às ligações químicas, envolvendo também questionários avaliativos, entrevistas e a produção de uma videoaula, destacando a música como mediadora da compreensão conceitual.

Já Mendes (2020) desenvolveu uma proposta com seis turmas do primeiro ano do ensino médio baseada na construção de paródias e videocliques sobre a tabela periódica. A atividade foi dividida em cinco etapas, desde a elaboração da paródia — com pesquisa sobre o conteúdo — até a criação, apresentação e avaliação dos videocliques. Essa abordagem incentivou o uso da criatividade, do trabalho em grupo, da linguagem audiovisual e da tecnologia como mediadores do processo educativo. Santos

(2020) estruturou uma sequência de atividades em sete etapas com foco nas interações intermoleculares, promovendo o diálogo, a construção coletiva de conhecimento e o uso da música como linguagem integradora. A proposta incluiu momentos de diagnóstico prévio, estudo do conteúdo, orientação para criação de paródias, verificação conceitual e apresentações musicais.

Chaiben (2021) desenvolveu uma sequência didática (SD) com o intuito de “viabilizar a participação dos educandos de maneira ativa durante as aulas, de forma interdisciplinar e contextualizada” (p. 19). A proposta incluiu a criação de paródias nos dois primeiros trimestres e uma peça teatral no terceiro, com foco na temática da termoquímica. De maneira semelhante, Santos *et al.* (2021) utilizaram uma sequência de atividades para que os alunos, ao produzirem paródias musicais sobre interações intermoleculares, “pudessem associar o conceito científico ao ritmo musical” (Santos *et al.*, 2021, p. 687).

Integrando humor ao ensino, Eberhart (1995) destaca as contribuições de piadas e músicas bem escolhidas para tornar conteúdos relacionados à termodinâmica e à radioatividade acessíveis aos estudantes nas aulas de química. A integração da música ocorreu por meio da criação, do uso de paródias e de canções educativas relacionadas às leis da termodinâmica, estrutura atômica e cinética química. A estratégia didática se baseou na contextualização do conteúdo com o cotidiano dos estudantes, utilizando charges e canções que favoreceram um ambiente descontraído.

Silveira (2019) realiza uma abordagem semelhante para estimular os alunos a estudar o conteúdo de eletroquímica, apresentando canções autorais sobre o conteúdo, propondo ainda a produção de paródias. O pesquisador destaca que a atividade foi desafiadora para ambos, levando o professor a refletir sobre a sua prática, ao ser desafiado a compor, e os estudantes a refletirem sobre os conceitos na elaboração das paródias. Em relação à autoria de canções, outras pesquisas implementaram práticas análogas, abordando assuntos relacionados aos estudos de gases, química geral e introdução de conceitos químicos (Sousa, 2020; Paiva, 2019; Heid, 2011). Os autores ressaltam que o processo de criação desempenhou um papel significativo na apropriação dos novos conceitos pelos estudantes, favorecendo a reflexão crítica sobre os conteúdos abordados.

Nesse viés, Akkuzua e Akçay (2010) discutem sobre o emprego da música clássica como elemento para harmonizar o ambiente. Em suas aulas de química, os autores perceberam resultados positivos ao compararem salas que não faziam uso do recurso, notando então diferentes rendimentos e destacando as contribuições da música para acalmar os sujeitos. Ainda sobre obras eruditas, o estudo de André (2015) colabora para as discussões ao estabelecer relações entre ópera e química, conectando marcos históricos da disciplina por meio das músicas.

No contexto da análise de acervos e propostas de ensino, pesquisadores como Silva e Francisco Junior (2018), Camargo e Camargo (2018), Silva (2018), Ganhor (2019), Oliveira (2019),

Souza *et al.* (2020) e Manzano e Barbosa (2020) exploraram a integração de diferentes formas de expressão artística, como músicas, quadros e vídeos online no ensino de química. Os autores destacam a necessidade de se reconhecer o potencial educativo presente nas diversas formas de arte. A utilização desses materiais foi descrita nos estudos como uma estratégia pedagógica que possibilitou abordagens interdisciplinares, entrelaçando ciência e expressão criativa.

Mudando a perspectiva dos estudos, Cady (2014) utilizou cartões musicais para o desenvolvimento de sua proposta, na qual foi realizada a montagem de uma pilha, em que os cartões ao serem conectados tocavam canções conhecidas pelos estudantes, tais como “Jingle Bell” e “Parabéns para Você”, possibilitando que os envolvidos compreendessem conceitos básicos de oxidação, redução, ponte de salina, entre outros.

Finalizando, Garrido *et al.* (2020) ressaltam a diversidade de abordagens nesse campo, descrevendo a conversão de bandas de absorção no infravermelho de moléculas conhecidas em frequências audíveis, permitindo aos participantes “ouvirem” as vibrações moleculares. Ao terem sua criatividade estimulada, os estudantes foram orientados a produzir composições musicais baseadas nas moléculas sintetizadas.

Nesse contexto, foi estabelecida a integração entre a música e os conceitos de química por meio de abordagens utilizando paródias, composição de canções autorais, análise de canções juntamente a outros elementos artísticos ou experimentais, proporcionando experiências sensoriais, permitindo assim o enriquecimento do processo de ensino e de aprendizagem do componente curricular.

Indícios de aprendizagem e potencialidades apontadas pelos autores das produções científicas

Zabala (1998) define que conteúdo é “tudo quanto se tem de aprender para alcançar determinados objetivos que não apenas abrangem as capacidades cognitivas, como também incluem as demais capacidades” (Zabala, 1998, p. 30). A apreciação global ocorrerá ao estudarmos um período letivo completo, porém, o entendimento de um evento situacional ou de uma unidade de ensino é factível ao integrar dispositivos precisos, chamados de conteúdos de aprendizagem (Zabala, 1998).

Desse modo, citando Coll (1986), Zabala (1998) propõe o seguinte agrupamento dos conteúdos: conceituais, os quais envolvem fatos, conceitos e princípios que formam a base do entendimento em uma determinada disciplina ou área do conhecimento; procedimentais, aqueles relacionados aos processos, habilidades e estratégias que os alunos desenvolvem para adquirir, organizar e aplicar o conhecimento; e atitudinais, ligados às atitudes, valores e disposições que os alunos desenvolvem em relação ao conhecimento, ao aprendizado e à vida em geral. O autor indica que a classificação possibilita a compreensão e descrição precisa das diferentes aprendizagens alcançadas.

Segundo Zabala (1998), a intencionalidade de cada proposta de ensino permeia uma visão atribuída ao processo de ensino. Nesse contexto, algumas aprendizagens são valorizadas em detrimento de outras. Considerando essa ideia, nesta categoria nosso objetivo foi compreender quais aprendizagens de conteúdos conceituais e conteúdos atitudinais, na perspectiva de Zabala (1998), são evidenciadas pelos autores ao utilizarem a música na educação básica para ensinar sobre ciências da natureza.

Dentre as abordagens de conteúdos atitudinais destacados, percebemos que permeia a ênfase no engajamento e motivação frente às propostas que desenvolvem suas metodologias por meio das canções. Segundo Coutinho (2014), é “possível perceber que a música pode ser uma estratégia para o ensino aprendizagem em Química, pois motiva o estudante a se engajar no processo de construção do conhecimento” (Coutinho, 2014, p. 6). Nogueira (2017) explica que “a motivação para o trabalho com música fundamenta-se nas constatações de que trabalhar com grupos/pessoas para executar um projeto musical permite o desenvolvimento de habilidades interpessoais de grande valia para a formação humana” (Nogueira, 2017, p. 14).

Araujo Filho (2018) descreve que a motivação de aprender e buscar saber pode ser um dos caminhos para uma sociedade consciente. O estudo motivador, inovador, significativo e crítico das cordas oscilantes fixas em música pode ser uma porta aberta à possibilidade de ampliar a visão dos estudantes, tornando-os mais aptos a interpretar o mundo em constante transformação. Desse modo, Rein (2018) explica que o uso de músicas contribuiu para melhor a concentração e o rendimento dos alunos, além de, em certos casos, até mesmo o controle da disciplina em sala.

Segundo Silva (2020), o som percorre diversas etapas em nosso cérebro antes que possamos avaliá-lo conscientemente. Ao longo desse percurso, ele desencadeia a liberação de hormônios, provoca emoções, estimula a motivação e influencia até mesmo o ritmo cardíaco, tudo isso ocorre antes que tenhamos qualquer percepção consciente sobre o que estamos ouvindo.

Nesse sentido, ao considerarem o impacto positivo da música no ambiente educacional, pesquisadores como Coutinho (2014), Silva (2017), Nogueira (2017), Lupinetti e Pereira (2017), Paiva (2019), Freitas (2019), Oliveira (2019), Fioravante e Guarnica (2019), Lima (2020) e Silva (2020) exploraram como esse estímulo sensorial atuou diretamente sobre as emoções dos estudantes. Os autores indicaram pesquisas relacionadas à neurociência e explicaram que a música ativa áreas do cérebro associadas à emoção, memória e recompensa, o que pode explicar a receptividade dos estudantes e a conexão emocional com o conteúdo apresentado.

Sobre os impactos da música, Batista (2016), Silva (2017), Costa (2018), Rein (2018), Araujo Filho (2018), Paixão (2019), Lima (2020) e Rizzo (2022) explicitam características relacionadas ao desenvolvimento da criatividade, atributo também relacionado aos conteúdos atitudinais. Lima (2020)

propôs “utilizar o rádio FM que vem instalado nos aparelhos celulares dos alunos para enviar, por exemplo, músicas através do circuito processador” (Lima, 2020, p.18), enquanto Rizzo (2022) apresentou a proposta de “construção de instrumentos musicais de baixo custo” (Rizzo, 2022, p. 7), descrevendo sobre a introdução de elementos de improvisação e experimentação musical e ressaltando a importância de desenvolver a criatividade dos alunos, atribuindo ao professor o papel de práticas que culminem no seu desenvolvimento.

Corroborando as ideias de Zabala (1998), ao evidenciar que uma forma de definir a intenção e o propósito da educação se dá por meio dos resultados almejados para os estudantes, compreendemos que se o objetivo é a formação integral do sujeito, tal escopo deve ser definido de imediato. Nesse sentido, educar significa formar cidadãos que não estejam divididos em seções, permitindo o seu desenvolvimento criativo, por meio da integração de desafios no decorrer das aulas de ciências da natureza.

Nessa perspectiva, Paixão (2019) descreveu a importância de se desenvolver a criatividade, explicando as potenciais contribuições da música. Ao trabalharem, por exemplo, com a criação de uma paródia, os estudantes passam por diferentes etapas: compreendem o conteúdo, escolhem uma música e adaptam a letra para incorporar os conceitos. Essa prática permite que os envolvidos reorganizem e reestruturam o conhecimento adquirido, já que, ao comporem uma nova letra para uma melodia familiar, precisam dar sentido ao conteúdo, articulando-o de forma coerente com a canção escolhida.

Assim, ao ser incorporada ao ensino de ciências da natureza, a música amplia as possibilidades de aprendizagem e enriquece o processo de formação dos envolvidos, preparando-os para enfrentar os desafios do mundo contemporâneo com criatividade, autonomia e resiliência (Lerias, 2016; Batista, 2016).

Com base na produção científica analisada, compreendemos que o desenvolvimento de habilidades cognitivas, emocionais e sociais de forma integrada contribui para uma educação que valorize a diversidade e as formas de expressão, promovendo a inclusão dos alunos. Além disso, a música proporciona experiências sensoriais únicas que estimulam a percepção e a sensibilidade dos alunos, favorecendo o desenvolvimento de uma consciência estética e crítica.

Segundo Zabala (1998), em seu exercício, o professor vislumbra dois caminhos: poder se distanciar, tornando-se apático e convencional ao ensinar, ou buscar entender e interceder no processo de desenvolvimento do aluno. Para isso, é necessário compreender o seu papel como docente no processo de desenvolvimento do aluno. Não se trata de uma tarefa simples, pois exige entender quais características devem ser potencializadas para que o aluno possa se desenvolver socialmente, exigindo que o professor “situe-se ideologicamente” (Zabala, 1998, p. 29). Nesse escopo, há uma aproximação com as ideias de Rodrigues (2016) e Silva (2017), ao abordarem a música como um recurso para a introdução da diversidade cultural nas aulas

de ciências. Os autores relatam que a abordagem não apenas enriquece a experiência de aprendizado, mas também possibilita um ambiente educacional que celebra a pluralidade, incentivando a troca de perspectivas e contribuindo para a formação de estudantes.

Portanto, por meio da leitura dos trabalhos citados, compreendemos que o impacto emocional da música no processo de ensino e de aprendizagem pode auxiliar na abordagem dos conteúdos atitudinais, os quais, segundo Zabala (1998), se referem aos aspectos emocionais, valores, atitudes e disposições que os alunos desenvolvem ao longo do processo de ensino e de aprendizagem.

Sobre os impactos na aprendizagem e no desenvolvimento cognitivo dos alunos, Silva (2019) e Silveira (2019) evidenciam que a combinação de elementos melódicos e rítmicos pode contribuir para o processo de apropriação dos conceitos. Ao se associarem informações a estímulos musicais, cria-se a capacidade de recordar assuntos posteriores (Stoica *et al.*, 2010; Akkuzua e Akçay, 2010; Vick, 2010). Essa abordagem não apenas torna o processo de aprendizado mais agradável, mas também confere uma dimensão sensorial adicional.

Considerando as compreensões elencadas no parágrafo anterior, relacionamos as ideias discutidas por Zabala (1998) em sua descrição dos conteúdos conceituais. Notamos que a integração da música na educação pode ser vista como uma forma de ampliar as estratégias pedagógicas disponíveis aos professores. Ao reconhecer o material como uma linguagem universal que perpassa barreiras culturais e estimula diferentes áreas do cérebro, o docente pode explorar formas de apresentar os conteúdos de ciências da natureza.

A música não proporciona apenas uma maneira criativa de apresentar os conteúdos conceituais, mas também possibilita oportunidades para se aprofundarem a compreensão e o desenvolvimento dos conteúdos atitudinais, aspecto que fica evidente nos estudos desta revisão. Desse modo, as análises de Eberhart (1995), Cady (2014), Eagle *et al.* (2017), Damascena *et al.* (2018) e Garrido *et al.* (2020) destacam a continuidade da pesquisa nesse campo, reforçando a importância de se considerar a música como material, no contexto educacional, que potencializa os processos de ensino e de aprendizagens de ciências da natureza.

Nesse sentido, ao descrevermos a potencialidade da música para ensinar teorias e princípios das ciências, percebemos que o objetivo de todas as pesquisas se relaciona ao desenvolvimento de conteúdos conceituais. Cada proposta, a seu modo, investe na articulação entre a vivência sonora, a experimentação e a construção teórica dos conceitos científicos.

Considerações finais

A partir do delineamento da RSL, realizamos a imersão em pesquisas que abordaram a música e o ensino de ciências da natureza na educação básica, buscando compreender a amplitude

dessas relações e seus impactos nas práticas pedagógicas. Para isso, exploramos as metodologias e implicações nos processos de ensino e aprendizagem nas disciplinas de biologia, ciências, física e química.

Inicialmente, lançamos um olhar sobre a influência da música nas metodologias de ensino, destacando como ela transcende o papel de veículo informativo para se tornar uma expressão artística da cultura dos estudantes. Ao explorarmos a literatura existente, identificamos que a música atua como um material que aproxima os conceitos científicos da realidade local dos participantes das pesquisas. Seja por meio da análise da flora com canções populares na caatinga ou da exploração da sexualidade por meio de manifestações artísticas, ela emerge como um material que aproxima a ciência e a vivência cotidiana dos envolvidos.

Além disso, os estudos analisados revelaram uma diversidade de abordagens, tais como criação de paródias, estudo do funcionamento e construção de instrumentos, composição de novas músicas, tradução de espectros moleculares, reflexões relacionadas às mensagens, entre outras possibilidades. Tudo isso permitiu o desenvolvimento de diferentes compreensões relacionadas ao seu uso nas aulas de ciências da natureza, demonstrando contribuir para o processo de ensino e de aprendizagem, permitindo a compreensão dos conceitos científicos e a contextualização dos conhecimentos.

No que diz respeito aos impactos percebidos quanto ao uso da música no desenvolvimento dos conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais, em sua maioria, reverberam as aprendizagens de conteúdos atitudinais. Por meio destes, os pesquisadores defendem que a música apresenta potencial didático de promover o engajamento e a motivação dos estudantes, aproximando o aprendizado dos conhecimentos científicos da realidade cultural vivida por eles. O impacto positivo se estende da criação de ambientes favoráveis à aprendizagem, ao desenvolvimento da criatividade, à diversidade cultural e até mesmo ao estímulo da memória cognitiva.

Por fim, a RSL contribui para uma educação que reconheça a necessidade de se incorporar abordagens interdisciplinares e culturalmente situadas no processo de ensino e de aprendizagem. Ainda, ao aproximarmos a harmonia musical da complexidade do ensino de conteúdos conceituais científicos, percebemos que a música foi definida pelos pesquisadores da área como um material que potencializou o processo de ensino e de aprendizagem, aproximando e interrelacionando os conceitos científicos da cultura, da arte e da vida dos estudantes.

Referências

- AKKUZU, N. e AKÇAY, H. The design of a learning environment based on the theory of multiple intelligence and the study its effectiveness on the achievements, attitudes and retention of students. *Procedia Computer Science*, v. 3, p. 1003-1008, 2011.
- ALMEIDA, E. F.; OLIVEIRA, E. C. e AQUINO, S. F. Proposta para o ensino de zoologia dos vertebrados a partir de paródias. *Revista de Estudos e Pesquisas Sobre Ensino Tecnológico*, v. 3, n. 6, 2017.
- ANDRADE, T. G. M.; VICENTE, Z. R. S.; LEITE, H. A. L.; CABRAL, A. P. C.; BALDOW, R.; ROCHA, N. e LEÃO, M. B. C. A robótica livre e o ensino de física e de programação: desenvolvendo um teclado musical eletrônico. *Texto Livre: Linguagem e Tecnologia*, v. 11, n. 3, p. 317-330, 2018.
- ANDRÉ, J. P. Viewing scenes of the history of chemistry through the opera glass. *Journal of Chemical Education*, v. 92, n. 1, p. 66-73, 2015.
- ARAUJO FILHO, J. V. *Sequência de ensino por investigação significativa no estudo das relações entre física e música em atividades experimentais envolvendo o oscilador de Melde*. Dissertação de Mestrado, Curso de Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.
- BACELAR, J. P. *Sequência didática como proposta para o ensino e aprendizagem da astronomia no ensino médio*. Dissertação de Mestrado, Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2019.
- BARBOSA, C. S. F. *A Interdisciplinaridade e a utilização de instrumentos musicais como Incentivo para o Ensino de Acústica: Estudo de caso do violão e do cavaquinho*. Dissertação de Mestrado, Curso de Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal do Semiárido Centro de Ciências Exatas, Mossoró, 2020.
- BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 2011.
- BATISTA, J. L. P. *Uma proposta de ensino de acústica a partir da análise dos timbres de instrumentos musicais do samba*. Dissertação de Mestrado, Curso de Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.
- CADY, S. G. Music Generated by a Zn/Cu electrochemical cell, a lemon cell, and a solar cell: a demonstration for general chemistry. *Journal of Chemical Education*, v. 91, n. 10, p. 1675-1678, 2014.
- CAMARGO, C. P.; CAMARGO, E. P. e SILVA, C. S. As relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade na Arte de Chico Buarque. *Revista Debates em Ensino de Química*, v. 4, n. 2 (esp), p. 73-94, 2018.
- CARLOS, M. C. *Sequência didática investigativa para o ensino de biologia: "Corpo Humano – A máquina impulsionada pelos músculos"*. Dissertação de Mestrado, Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional, UFRJ, Rio de Janeiro, 2020.
- CARMO, R. S. B. *Ambiente virtual de aprendizagem em ondas e acústica para auxiliar o processo ensino e aprendizagem da física no ensino médio*. Dissertação de Mestrado, Curso de Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.
- CARVALHO, E. S. *Paródia musical como recurso didático para o estudo da micologia no ensino médio*. Dissertação de Mestrado, Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Biologia, Universidade Estadual do Piauí, Teresina, 2022.

- COSTA, M. R. *Avaliação e Ensino de Ondulatória, Acústica e Movimento Harmônico Simples usando contexto musical e jogo de tabuleiro*. Dissertação de Mestrado, Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.
- COSTA, N. B. *Artivismo, gênero e sexualidade - Linn da Quebrada para o ensino de biologia*. Dissertação de Mestrado, Curso de Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.
- COUTINHO, L. R. *Integrando música e química: uma proposta de ensino e aprendizagem*. Dissertação de Mestrado, Curso de Programa de Pós-Graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- CHAIBEN, L. A. *Química e arte: uma sequência didática para o ensino/aprendizagem de química para a 2ª série do ensino médio*. Dissertação de Mestrado, Curso de Programa de Mestrado Profissional em Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2021.
- DAMASCENA, P. H. M.; CARVALHO, C. V. M. e SILVA, L. A. S. Estratégias didáticas no ensino de química: em foco o uso de paródias. *Multi-Science Journal*, v. 1, n. 13, p. 30–38, 2018.
- DECIAN, E. *O estudo da acústica a partir de unidades de ensino potencialmente significativas: contribuições para uma aprendizagem significativa*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Educação Matemática e Ensino de Física, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020.
- DIAS, A. M. M. *Laboratórios de aprendizagem: novas estratégias de ensino para oficinas de astronomia e física*. Dissertação de Mestrado, Curso de Mestrado Profissional – Ensino de Ciências na Educação Básica, Universidade do Grande Rio “Prof. José de Souza Herdy”, Duque de Caxias, 2012.
- EAGLE, F. W.; SEANEY, K. D. e GRUBB, M. P. Musical example to visualize abstract quantum mechanical ideas. *Journal of Chemical Education*, v. 94, n. 12, p. 1989-1994, 2017.
- EBERHART, J. G. Humor and Music in Physical Chemistry. *Journal of Chemical Education*, v. 72, n. 12, p. 1076, 1995.
- FIORAVANTE, V. C. e GUARNICA, T. P. B. O lúdico no ensino de biologia: o aluno como protagonista. *Educere et Educare*, v. 14, n. 31, 2019.
- FONSECA, R. A. *Paródias: uma sequência didática para termometria e dilatação térmica no ensino médio*. Dissertação de Mestrado, Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2020.
- FREITAS, C. G. *Ensino de química em espaços não formais. uma abordagem acerca da temática “energia e química ambiental”*. Dissertação de Mestrado, Curso de Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019.
- FRENCH, R. M. Mechanics of Vibro-Acoustics Series. Using guitars to teach vibrations and acoustics. Article 4: psychoacoustics and sound quality. *Experimental Techniques*, v. 29, n. 2, p. 47-48, 2005.
- GANHOR, J. P. O Rap na educação científica e tecnológica. *Ciência & Educação*, v. 25, n. 1, p. 163-180, 2019.
- GARRIDO, N.; PITTO-BARRY, A.; SOLDEVILA-BARREDA, J. J.; LUPAN, A.; BOYES, L. C.; MARTIN, W. H. C. e BARRY, N. P. E. The sound of chemistry: translating infrared wavenumbers into musical notes. *Journal of Chemical Education*, v. 97, n. 3, p. 703-709, 2020.
- GAVA, D. W. S. *O fenômeno do batimento e o princípio de indeterminação*. Dissertação de Mestrado, Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física, Universidade Federal do Acre, Santo André, 2020.
- HEID, P. F. Writing chemistry jingles as an introductory activity in a high school chemistry class. *Journal of Chemical Education*, v. 88, n. 10, p. 1394-1396, 2011.
- KITCHENHAM, B. e CHARTERS, S. *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*. Technical Report EBSE 2007-001, Keele University and Durham University Joint Report, 2007.
- LEÃO, M. F.; COSTA, M. M. O. J.; OLIVEIRA, E. C. e DEL PINO, J. C. O desenvolvimento de práticas musicais no ensino da química para a educação de jovens e adultos. *Revista Educação, Cultura e Sociedade*, v. 4, n. 1, 2014.
- LERIAS, W. R. *A física da música e a pluralidade didática/Washington Roberto Lérias*. Dissertação de Mestrado, Curso de Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.
- LIBÂNEO, J. C. *Adeus professor, adeus professora? Novas exigências educacionais e profissão docente*. 5ª ed. São Paulo: Cortez, 2001.
- LIMA, E. S. *Informação enviada através de ondas eletromagnéticas: estudo teórico-experimental e desenvolvimento de material didático*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2020.
- LIMA, F. A. S. *Manifestações artísticas como ferramentas para o ensino de astronomia*. Dissertação de Mestrado, Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física, Universidade Estadual do Ceará, Quixadá-Ceará, 2019.
- LIVÉRIO JUNIOR, A. C.; SANTOS, E. M.; TUFÁILE, A. P. B.; TUFÁILE, A.; MENDES, C. M. e IMBERNON, R. A. L. A construção de um litofone em uma abordagem interdisciplinar. *Terrae Didática*, v. 10, n. 3, p. 283, 2015.
- LORENÇÃO, G. S. *A herpetofauna na música brasileira: conservação em dueto com a educação ambiental crítica*. Dissertação de Mestrado, Curso de Departamento de Biologia Animal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2022.
- LOURENÇO, A. C. V.; MAIA, J. M. S. B. V. B.; COUTINHO, N. F.; PIUMBINI, C. K. e BUFFON, L. O. Aprendendo ondulatória a partir do violão. *Kiri-Kerê - Pesquisa em Ensino*, v. 1, n. 5, 2020.
- LUPINETTI, J. M. e PEREIRA, A. de S. A Composição de Paródias no Ensino de Química e Suas Contribuições no Processo de Aprendizagem. *Revista Debates em Ensino de Química*, v. 3, n. 2, p. 49-69, 2017.
- MANZANO, R. F. e BARBOSA, E. L. F. La Fragua. Ejemplo transversal de química, música y artes plásticas. *Educación química*, v. 31, n. 4, p. 2-8, 2020.

- MELO, T. F. T. e DIAS, M. A. S. Parodia musical como recurso educativo para estudar conceitos ambientais. *Revista Bio-Grafia Escritos Sobre La Biología y Su Enseñanza*, p. 1575, 2015.
- MENDES, A. N. F.; SILVA, C. D.; SOUZA, L. C.; ALVES, T. C. Ação do Pibid no ambiente escolar: a utilização do jogo balanceamento químico e a confecção de um videoclipe no processo de ensino e aprendizagem de química. *Kiri-Kerê - Pesquisa em Ensino*, v. 2, n. 5, p. 142-167, 2020.
- MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J. e ALTMAN, D. G. Principais itens para relatar revisões sistemáticas e metanálises: a recomendação PRISMA. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 24, n. 2, 335-342, 2015.
- MORAES, V. O. *Unidade de ensino potencialmente significativa para o estudo físico e musical da vibração de barras homogêneas por meio da análise experimental da kalimba*. Dissertação de Mestrado, Curso de Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2022.
- NOGUEIRA, F. H. F. *Acústica e música: abordando tubos sonoros numa oficina pedagógica*. Dissertação de Mestrado, Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física, Universidade Estadual do Ceará, Quixadá-Ceará, 2017.
- OKOLI, C. Guia para realizar uma revisão sistemática de literatura. *EaD em Foco*, v. 9, n. 1, 2019.
- OLIVEIRA, T. C. *A utilização do samba como motivador no ensino de química: a eletroquímica através de uma abordagem interdisciplinar*. Dissertação de Mestrado, Curso de Programa de Pós-Graduação em Química em Rede Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.
- PAGE M. J.; McKENZIE, J. E.; BOSSUYT, P. M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T. C.; MULROW, C. D. *et al.* A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 31, n. 2, e2022107, 2022.
- PAIVA, J. A. R. *Arte-educação e o ensino de química: o papel educativo da música*. Dissertação de Mestrado, Curso de Mestrado Profissional no Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.
- PAIXÃO, B. S. *O uso de paródias no ensino de biologia*. Dissertação de Mestrado, Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2019.
- PERROTTA, R. C. e PERROTTA, S. G. M. Articulação entre matemática, música e física. *Dialogia*, v. 3, p. 65-74, 2008.
- PURIFICAÇÃO, M. M.; CATARINO, E. M.; TEIXEIRA, M. F. R. e SANTANA, M. L. S. A Música como ferramenta pedagógica: relato de uma experiência nas aulas de física no ensino médio. *Id On Line Revista de Psicologia*, v. 12, n. 42, p. 249-260, 2018.
- RAMOS, S. C. W. *Biologia Mar“Cante”: Utilizando a música no ensino investigativo*. Dissertação de Mestrado, Curso de Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Biologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.
- RAUCH, L. A. *Elaboração de um conjunto de materiais de apoio e aparatos experimentais para o estudo de ondas mecânicas por meio de cordas*. Dissertação de Mestrado, Curso de Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2016.
- REIN, E. G. *UEPS para acústica: uma nova melodia de ensino*. Dissertação de Mestrado, Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2018.
- RIZZO, A. L. *Aprendizagem baseada em projetos no ensino de física: uma proposta de website como recurso potencialmente significativo no estudo de acústica*. Dissertação de Mestrado, Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tramandaí, 2022.
- ROCHA, M. R. *O encontro da música com o ensino de ciências da natureza: uma revisão sistematica de literatura*. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2022.
- RODRIGUES, E. V. *Atividades para o aprendizado de Acústica*. Dissertação de Mestrado, Curso de Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.
- SANTOS, I. F. *A música como instrumento lúdico na aprendizagem das interações intermoleculares dos compostos orgânicos*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.
- SANTOS, I. F.; BARROS, I. C. L.; ALMEIDA, C. V. A. e CARVALHO, L. S. Music as a ludic tool for learning intermolecular interactions of organic compounds. *Revista Virtual de Química*, v. 13, n. 3, p. 684-700, 2021.
- SILVA JUNIOR, J. A. *Transdisciplinaridade: abordagens significativas no ensino sobre sexualidade, gravidez na adolescência e infecções sexualmente transmissíveis no ensino médio*. Dissertação de Mestrado, Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.
- SILVA, D. K. *A física e os instrumentos musicais construindo significados em uma aula de acústica*. Dissertação de Mestrado, Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.
- SILVA, E. N. *Ensino de biologia: o uso de paródias na aprendizagem de microbiologia*. Dissertação de Mestrado, Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Biologia, Universidade Estadual do Piauí, Teresina, 2022.
- SILVA, E. M. S. e FRANCISCO JUNIOR, W. E. Arte na educação para as relações étnico-raciais: um diálogo com o ensino de química. *Química Nova na Escola*, v. 40, n. 2, p. 79-88, 2018.
- SILVA, M. G. *Ensinando cinemática e potência no ensino médio com o cálculo diferencial*. Dissertação de Mestrado, Curso de Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Tocantins, Araguaína, 2019.
- SILVA, T. J. S. *O rap como estratégia metodológica no ensino de biologia*. Dissertação de Mestrado, Curso de Submetida Ao Programa Pós Graduação Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional, UFRJ, Rio de Janeiro, 2019.

- SILVA, W. M. *A acústica no ensino fundamental: uma abordagem investigativa utilizando instrumentos musicais*. Dissertação de Mestrado, Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física, Unesp, Presidente Prudente, 2020.
- SILVEIRA, M. L. *A música como linguagem no processo de alfabetização científica nas aulas de química*. Dissertação de Mestrado, Curso de Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.
- SOARES, D. N. *O ensino de acústica através do uso de instrumentos musicais: uma proposta de ensino utilizando os 3 momentos pedagógicos*. Dissertação de Mestrado, Curso de Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto Federal do Espírito Santo, Cariacica, 2018.
- SOUZA, D. M. *Botânica na escola: produção de materiais didático pedagógicos visando a aprendizagem sobre a Caatinga em músicas populares*. Dissertação de Mestrado, Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Biologia, UFPB, João Pessoa, 2022.
- SOUZA, P. D. R. *Música e ensino de química: uma proposta com enfoque CTSA para o ensino dos gases*. Dissertação de Mestrado, Curso de Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2020.
- SOUZA, I. B. S.; PIRES NETO, J. P. e SILVA, T. P. A música como instrumento didático-pedagógico no ensino de eletroquímica. *Revista Areté | Revista Amazônica de Ensino de Ciências*, v. 14, n. 28, p. 16-28, 2020.
- STOICA, I.; MORARU, S. e MIRON, C. An argument for a paradigm shift in the science teaching process by means of educational software. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 2, n. 2, p. 4407-4411, 2010.
- TORRES, A. L. *Integrando música e química: uma proposta pedagógica alternativa de aprendizagem significativa*. Dissertação de Mestrado, Curso de Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Natureza, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.
- VICK, M. Digitizing sound: how can sound waves be turned into ones and zeros?. *The Physics Teacher*, v. 48, n. 7, p. 468-470, 2010.
- VILÃO, R. C. e MELO, S. L. S. Berimbau: a simple instrument for teaching basic concepts in the physics and psychoacoustics of music. *American Journal of Physics*, v. 82, n. 12, p. 1149-1156, 2014.
- ZABALA, A. *A prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

Área de Educação em Química: evolução nas regiões e instituições brasileiras em três décadas

Area of Chemistry Education: evolution in Brazilian regions and institutions over three decades

Daniela Marques Alexandrino e Salete Linhares Queiroz

Resumo: O Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ) propicia a ampla difusão de conhecimentos referente à área de Educação em Química. Este manuscrito tem como objetivo analisar 2552 trabalhos presentes nos anais do evento no período que inclui seu início em 1982 até completar a terceira década em 2010. Esses trabalhos foram investigados com relação aos seguintes aspectos: ano de apresentação, região geográfica brasileira e instituição de origem. Foram localizados trabalhos de todas as unidades da federação, porém a distribuição da produção é bastante irregular, com proeminência para a região Sudeste, que concentrou quase metade da produção analisada. A distribuição da produção das regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sul foram equiparadas. A produção da região Norte foi exígua, com apenas 2,5% do total da produção. Em relação às instituições de origem dos autores, um pouco mais da metade da produção concentra-se em catorze instituições, com destaque para a Universidade de São Paulo. Além disso, ocorreu disparidade com relação à produção da Universidade Federal do Ceará comparada à da Universidade Federal de Goiás, de modo que a produção da primeira vai ficando escassa ao longo do tempo, enquanto a segunda, que não apresentou trabalhos inicialmente, teve considerável produção na terceira década. Ficou também evidente a importância da realização das edições do ENEQ em diversas regiões do país, pois a participação dos autores está fortemente vinculada a esse fator. Os dados apresentados e discutidos neste manuscrito possibilitam a reflexão sobre a ampliação e delineamento de novas pesquisas e a proposição de ações visando o fortalecimento da área de Educação em Química em todo o território nacional.

Palavras-chave: ENEQ, educação em química, pesquisa educacional

Abstract: The Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ) promotes the wide dissemination of knowledge in the area of Chemistry Education. The aim of this manuscript is to analyze 2552 papers in the annals of the event from its beginnings in 1982 to its third decade in 2010. They were investigated in relation to the following aspects: year of presentation, Brazilian geographical region and institution of origin. Works from all Brazilian states were found, but the distribution of the production is quite uneven, with the Southeast region being the most prominent, concentrating almost half of the production analyzed. The distribution of output from the Northeast, Midwest and South regions was similar. Production in the North was small, with only 2.5% of total production. With regard to the authors' institutions of origin, just over half of the production is concentrated in fourteen institutions, with the University of São Paulo standing out. In addition, there was a disparity between the output of the Federal University of Ceará and that of the Federal University of Goiás, so that the output of the former became scarce over time, while the latter, which did not submit any work initially, had considerable output in the third decade. The importance of holding ENEQ editions in different regions of the country was also evident, as the participation of authors is strongly linked to this factor. The data presented and discussed in this manuscript makes it possible to reflect on the expansion and design of new research and to propose actions aimed at strengthening the area of Chemistry Education throughout the country.

Keywords: ENEQ, chemistry education, educational research

Daniela Marques Alexandrino (dalexandrino@uesb.edu.br) é doutora em Ciências pelo Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo. Atualmente é docente da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Vitória da Conquista, BA – BR. **Salete Linhares Queiroz** (salete@iqsc.usp.br) é doutora em Química pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Atualmente é docente do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, SP – BR.

Recebido em 22/09/2024; aceito em 13/06/2025

A seção "Cadernos de Pesquisa" é um espaço dedicado exclusivamente para artigos inéditos (empíricos, de revisão ou teóricos) que apresentem profundidade teórico-metodológica, gerem conhecimentos novos para a área e contribuições para o avanço da pesquisa em Ensino de Química.



Introdução

A partir de meados da década de 1970, acentua-se no Brasil a preocupação com relação ao ensino de Química e verifica-se a formação de uma comunidade disposta a caracterizar os problemas que o permeiam e a buscar soluções para mitigá-los. Essa comunidade, concomitante ao cumprimento de tais propósitos, passa a promover ações para minimizar o isolamento em que muitos dos seus membros se encontravam, fomentando a troca de ideias, a divulgação da área de pesquisa em Educação em Química e a sua consequente e necessária consolidação em nosso país (Alexandrino *et al.*, 2022). Nessa perspectiva, a Sociedade Brasileira de Química (SBQ), em 1982, considerou como uma importante atividade para sua 5.^a Reunião Anual, na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), a promoção do I Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ). Cabe destacar que o Encontro de Debates sobre o Ensino de Química (EDEQ) foi o primeiro evento dessa natureza realizado no Brasil, que em sua segunda edição contou com a presença da professora Roseli Pacheco Schnetzler, a qual nele encontrou inspiração para a proposição e organização do I ENEQ (Schnetzler, 2002).

No ano de 2016, a edição XVIII do ENEQ mostrou a robustez da área de Educação em Química, com a presença de 2300 participantes e submissão de 1594 trabalhos (ENEQ, 2016; Soares *et al.*, 2017), superando a marca de participação de todos os eventos anteriores. Até a presente data, ocorreram 22 edições, com destaque para a de 2018, na Universidade Federal Acre (UFAC), a primeira na região Norte, e para a de 2021, quando, devido ao período pandêmico, as atividades foram conduzidas pela primeira vez de forma *online* e organizadas pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Em 2024 o ENEQ retornou à região Norte do país, com edição sediada em Belém, Pará.

O ENEQ se consolidou como importante locus de disseminação de conhecimento, propiciando um ambiente de encontro de pesquisadores da área de Educação em Química, entre eles docentes de diferentes níveis de escolaridade, assim como discentes de graduação e pós-graduação que irão atuar nas diversas instituições de todo o país. Sua relevância repousa no fato de divulgar, além de resultados de pesquisas, relatos de experiências em sala de aula, a fim de melhorar situações vinculadas à docência e ao seu contexto pedagógico concreto (Pedrini, 2012). Os trabalhos divulgados nos ENEQ apresentam preocupações voltadas para o ensino de Química, tratando de temas diversos como a experimentação, formação inicial e continuada de professores, aprendizagem de conteúdos químicos, inovações didáticas e metodológicas, e reformulação de currículos.

Tendo em vista a relevância da produção acadêmica em questão, este artigo tem como objetivo analisar trabalhos presentes nos anais do evento no período que compreende sua

gênese, em 1982, até completar a terceira década, em 2010. Os trabalhos foram estudados com relação aos seguintes aspectos: ano de apresentação, região geográfica brasileira e instituição de origem. A investigação de tais aspectos ocorre em uma perspectiva ampla, sendo 2552 o número de trabalhos considerados, tendo, portanto, potencialidade para fornecer um panorama da evolução da área de Educação em Química nas diversas regiões do país. Em contraponto, o número elevado de trabalhos inviabiliza a análise em uma perspectiva de aspectos pontuais, como o nível de escolaridade e assunto neles abordados. De fato, usualmente os trabalhos reportados na literatura sobre os ENEQ buscam desvendar elementos vinculados especificamente a uma temática e abarcam um período mais restrito, por volta de uma década. A título de exemplo, citamos o artigo de autoria de Vieira *et al.* (2025), sobre a divulgação científica, o de Selbach *et al.* (2021), sobre o método de estudos de caso, e o de Alves *et al.* (2021), sobre as linhas temáticas do evento.

Metodologia

Primeira etapa da pesquisa

A primeira etapa consistiu na busca, obtenção, identificação e reunião dos anais do ENEQ, no período de 1982 a 2010. Cabe ressaltar que, nas suas primeiras edições, os anais eram impressos e poucos pesquisadores detinham tais documentos. Em 2004, os anais passaram a ser disponibilizados em *CD-ROM* e somente a partir de 2008 foram viabilizados nas páginas dos eventos na internet.

Segunda etapa da pesquisa

Nesta etapa foi estabelecida uma metodologia de trabalho com base na interação entre pesquisador e objeto de estudo. Isso implica em examinar o texto e classificá-lo com a maior clareza possível, identificando o objeto investigado no trabalho.

Nas edições de 1994 a 1998, foram considerados os trabalhos que haviam sido apresentados em outros eventos e foram reapresentados no ENEQ. Na edição de 1994, foram desconsiderados três resumos escritos na língua inglesa, uma vez que as versões traduzidas para a língua portuguesa também constam nos anais. Na edição de 1998, foram observadas duas peculiaridades: quatro trabalhos foram apresentados como vivências, com as mesmas características dos resumos, por isso foram considerados na análise; dez resumos foram selecionados e apresentados de forma ampliada e estas duas versões constam nos anais, com seus títulos aparecendo em duplicata, sendo assim, consideramos apenas o formato de resumo na análise.

Os descritores adotados foram os seguintes:

Ano de publicação: identificação dos trabalhos de acordo com ano de publicação. O período de investigação está delimitado entre os anos de 1982 e 2010. Por se tratar de um evento bienal com início em 1982, em cada década foram realizadas

cinco edições do ENEQ. O Quadro 1 ilustra os recortes temporais adotados neste trabalho.

Quadro 1: Delimitação dos períodos investigados, de acordo com as décadas.

PERÍODO	DEFINIÇÃO
Primeira década	Início em 1982 e término em 1990
Segunda década	Início em 1992 e término em 2000
Terceira década	Início em 2002 e término em 2010

Fonte: autoria própria.

Tipo de documento: identificação quanto ao número de páginas de cada documento. Como não havia inicialmente um *template*, nem a definição da quantidade mínima ou máxima de páginas a ser utilizada para os trabalhos, as categorias foram definidas conforme ilustra o Quadro 2.

Quadro 2: Tipos de trabalhos, de acordo com o número de páginas.

TIPO	DEFINIÇÃO
Resumo simples	Trabalhos que utilizavam entre meia a uma página
Resumo expandido	Trabalhos que utilizavam entre duas a quatro páginas
Trabalhos completos	Trabalhos que utilizavam cinco páginas ou acima, modalidade que passou a ser adotada de forma explícita a partir de 2006

Fonte: autoria própria.

Instituição de origem e região geográfica brasileira: a partir da identificação da Instituição de vínculo de cada autor, foi possível definir a região geográfica, assim como a categoria administrativa.

Categoria administrativa: as instituições brasileiras podem ser públicas ou privadas. As instituições públicas de ensino são aquelas mantidas pelo Poder Público, na forma (1) Federal,

(2) Estadual ou (3) Municipal, conforme ilustra o Quadro 3. Essas instituições são financiadas pelo Estado, e não cobram matrícula ou mensalidade (Brasil, 2010b).

Resultados e discussão

A produção e sua distribuição no tempo

No período investigado, foram reunidos 2552 documentos (1979 resumos e 573 trabalhos completos). A evolução da produção ao longo do tempo é observada, iniciando com 40 trabalhos em 1982 e alcançando 786 trabalhos em 2010. A Tabela 1 apresenta a distribuição absoluta e percentual dos documentos, evidenciando o significativo crescimento da área.

A Tabela 1 mostra que a primeira década dos ENEQ contou com 6,9 % do total da produção. Na segunda década, o percentual quase dobrou, passando a 13,2 %. Na terceira década, o número de trabalhos sextuplicou em relação à década anterior, concentrando a maioria dos trabalhos, ou seja, 79,9 %. É possível inferir que a primeira década foi o período de juventude do evento, quando os pesquisadores estavam trilhando novos caminhos. Já a segunda década foi o período de amadurecimento, com um aumento gradual na produção de trabalhos. A terceira década abarca o seu período de consolidação, com expressiva produção de trabalhos nas quatro últimas edições.

O crescimento e construção da identidade dos eventos na área de Ensino de Ciências passam por períodos semelhantes. Salem e Kawamura (2007), por exemplo, analisaram as atas dos Simpósios Nacionais de Ensino de Física (SNEF), no período de 1970 a 2005. Esse evento é similar ao ENEQ, sendo suas edições realizadas bianualmente e em regiões distintas do país. Foi observado que, durante o período de 1991 a 1999, houve uma clara consolidação do evento, com a produção média de 139 trabalhos. Já no período seguinte, de 2001 a 2005, o número

Quadro 3: Classificação das Instituições de acordo com as categorias administrativas.

CATEGORIA ADMINISTRATIVA	DEFINIÇÃO
Universidade Federal	Instituição mantida pelo Poder Público Federal, com gratuidade de matrículas e mensalidades.
Universidade Estadual	Instituição mantida pelo Poder Público Estadual, com gratuidade de matrículas e mensalidades.
Universidade Privada	São administradas por pessoas físicas ou jurídicas de direito privado, com ou sem finalidade de lucro.
Escola de Educação Básica Pública	São as instituições do Ensino Fundamental, Médio e de Educação Infantil mantidas pelo Poder Público.
Escola de Educação Básica Privada	São as instituições do Ensino Fundamental, Médio e de Educação Infantil mantidas e administradas por pessoas físicas ou jurídicas de direito privado.
Órgãos Administrativos	São centros de competência instituídos para o desempenho de funções estatais, por meio de seus agentes, cuja atuação é imputada à pessoa jurídica a que pertencem. Incluem secretarias de ensino, diretoria de ensino etc.
Instituto Federal	É uma autarquia federal que atua na formação básica, técnica e tecnológica (incluem CEFET e escolas agrícolas), oferecendo cursos de qualificação profissional, técnicos, de graduação e pós-graduação.
Universidade do Exterior	Instituições de outros países que mantêm cursos de graduação e pós-graduação.
Outros	Instituições de cunho não escolar. Incluem empresas, indústrias, associações, organizações não-governamentais (ONG), museus etc.

Fonte: autoria própria.

Tabela 1: Distribuição absoluta e percentual dos trabalhos apresentados (1982 a 2010).

	1982	1984	1986	1988	1990	Primeira década
N.º absoluto de documentos	40	16	52	50	19	177
Percentual de documentos (%)	1,6	0,6	2,0	2,0	0,7	6,9
	1992	1994	1996	1998	2000	Segunda década
N.º absoluto de documentos	22	42	67	66	140	337
Percentual de documentos (%)	0,9	1,6	2,6	2,6	5,5	13,2
	2002	2004	2006	2008	2010	Terceira década
N.º absoluto de documentos	181	267	334	460	786	2038
Percentual de documentos (%)	7,1	10,5	13,1	18,0	30,8	79,9

Fonte: autoria própria.

de submissões passou para uma média de 359 trabalhos, ou seja, um aumento de 158% na produção.

Primeira década: distribuição no tempo

A Figura 1 ilustra a distribuição dos trabalhos (resumos e resumos expandidos) apresentados na primeira década dos ENEQ. Durante esse período, não havia linearidade ou aumento crescente de publicações. Ao contrário disso, nota-se um significativo decréscimo da produção em 1984, no II ENEQ e, em 1990, no V ENEQ.

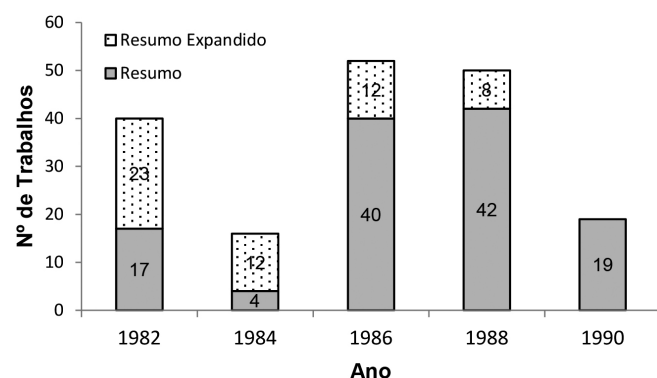


Figura 1: Distribuição de trabalhos apresentados durante a primeira década. Fonte: autoria própria.

Como mencionado, não havia uma padronização no formato de apresentação de trabalhos; sendo assim, nos anos de 1982 e 1984 foram privilegiados os trabalhos compreendidos em mais de uma página, aqui classificados como resumo expandido. Nos anos de 1986 a 1990 foram privilegiados os trabalhos compreendidos em até uma página, classificados como resumos.

Em relação ao primeiro decréscimo na produção, pode estar relacionado, historicamente, à acentuada recessão dos anos de 1980 a 1984, que veio aprofundar uma crise na universidade que perpassou toda a década de 1980, com limitações de recursos para a pós-graduação (Santos e Azevedo, 2009). Em 1984, foi intensificada a realização de um conjunto de manifestações por eleições diretas e isso incentivou a mobilização de grupos sociais e políticos (Bertoncello, 2009). Nessa perspectiva, a

Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), como entidade civil, desempenhou importante papel de resistência durante o regime de governo militar, especialmente sobre as intervenções nos sistemas educacional e científico que pudessem ferir a autonomia das universidades, além de se manifestar contrária às perseguições aos professores, pesquisadores e estudantes (SBPC, 2014). Sendo assim, existe a possibilidade de o decréscimo nesse ano estar vinculado à instabilidade política e econômica.

O segundo decréscimo ocorreu em 1990, ano marcado pela assunção do presidente Fernando Collor de Melo ao governo e ao anúncio de um programa de estabilização destinado a estancar a hiperinflação no Brasil (Pastore, 1991). Esse programa, caracterizado por apresentar reformas liberalizantes, prosseguiu nos governos seguintes, em meio a uma situação interna de hiperinflação e em um contexto mundial de esgotamento do modelo de desenvolvimento baseado na industrialização. Como parte do receituário neoliberal, foi adotada a estratégia de diminuir a participação do Estado no investimento em investigação científica e tecnológica (Lemos e Cário, 2013). Uma das medidas tomadas foi o confisco da poupança, existindo a possibilidade de, novamente, o contexto de instabilidade econômica e poucos recursos advindos do Estado, terem dificultado a participação dos interessados no evento. A queda na produção de trabalhos durante o ano de 1990 também foi apontada por Schnetzler (2002) com relação aos resumos apresentados nas Reuniões Anuais da SBQ (RASBQ).

Durante esse período, um ponto a destacar foi a criação do Grupo de Pesquisa em Educação Química (GEPEQ), em 1984, que se consolidou como grupo pioneiro na formação de professores, educadores, pesquisadores e divulgadores da Química (Alexandrino *et al.*, 2022). O GEPEQ possibilitou uma parceria entre pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP) e professores da Educação Básica, que contribuiu para produção de materiais didáticos, formação continuada de professores, divulgação científica e pesquisa no ensino de Química. Muitos trabalhos produzidos pelo grupo foram publicados nos ENEQ.

Outro marco importante foi a criação do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) em 1985, por meio do Decreto n.º 91.146, no qual foram alocados os órgãos relacionados

com a ciência e tecnologia, como o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) (Lemos e Cário, 2013). Apesar do cenário econômico desfavorável, no último ano do governo João Baptista de Oliveira Figueiredo (1979-1985), por intermédio do MCT, foi criado e vigorou no período entre 1985 e 1990 o Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT), que introduziu “novas normas e salientou a importância da ciência e tecnologia para o desenvolvimento do país” (Baumgarten, 2008, p. 121).

O Subprograma Educação para a Ciência (SPEC) do PADCT é tido como basilar para a formação da área de Ensino de Ciências e Matemática e da pesquisa nesse campo de conhecimento. Além disso, as sociedades científicas, estimuladas pela criação de seções e secretarias de ensino e suas diretorias, promoveram os primeiros eventos específicos nacionais, a exemplo dos ENEQ, fomentados pelo PADCT/SPEC para debater a questão do ensino. Esse programa contribuiu de maneira eficaz para a formação de recursos humanos, por meio de capacitação docente no exterior e constituição de grupos de pesquisa nacionais (Barolli e Villani, 2015; Nardi, 2014). Em relação à primeira década, muitos trabalhos do ENEQ mencionaram o apoio do SPEC/PADCT para suas realizações.

Como apontado por Bejarano e Carvalho (2000), se, no âmbito do Brasil, a década de 1970 representou o surgimento da pesquisa em Ensino de Ciências, a década de 1980 assinalou sua juventude.

Segunda década: distribuição no tempo

A Figura 2 ilustra a distribuição de trabalhos apresentados na segunda década dos ENEQ. Diferentemente da década anterior, pode-se observar o aumento no número total de trabalhos. Nos anos de 1992, 1994 e 1998 foram privilegiados os trabalhos no formato de resumo expandido. Nos anos de 1996 e 2000, ao contrário dos demais, não houve resumos expandidos, apenas resumos de até uma página.

Alguns fatores contribuíram para o fortalecimento do evento, como o de vinculação ao movimento emergente da

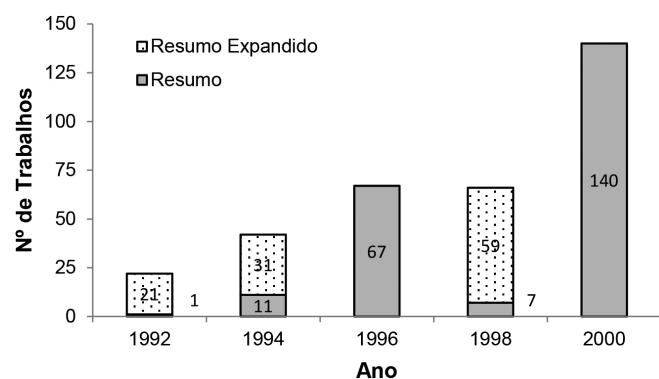


Figura 2: Distribuição de trabalhos apresentados durante a segunda década. Fonte: autoria própria.

pesquisa em Educação em Química, com a criação da revista *Química Nova na Escola* (QNEsc) em 1994, principal periódico na área, que oferece contribuições inestimáveis para iniciativas realizadas em sala de aula no país (Alexandrino *et al.*, 2022). Vale ressaltar que estava em vigor a segunda fase do PADCT/SPEC, que fomentou revistas para publicação de trabalhos na área, a exemplo da QNEsc. Ademais, em 1998 foram instituídos os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) para o Ensino Fundamental, e em 1999 os PCN para o Ensino Médio (PCNEM) (Brasil, 1998, 2000). Muitos trabalhos apresentados no ENEQ a partir dos anos 2000 relataram iniciativas na busca de adequação a esses Parâmetros.

Terceira década: distribuição no tempo

A Figura 3 ilustra a distribuição de trabalhos apresentados na terceira década dos ENEQ. Observa-se um crescimento substancial no número total de trabalhos produzidos em relação às décadas anteriores. A produção se manteve crescente e mais que quadruplicou do início, em 2002, para o final, em 2010, neste período.

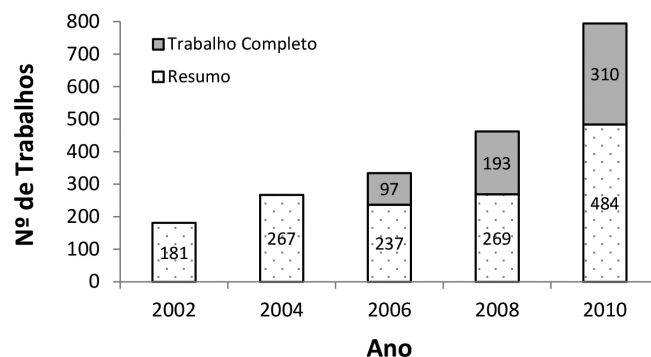


Figura 3: Distribuição de trabalhos apresentados durante a terceira década. Fonte: autoria própria.

A partir de 2002, foi proposto um *template* para os resumos, compreendidos em uma página, e a partir de 2006, os ENEQ passaram a aceitar trabalhos completos. O aumento é observado tanto no volume total de trabalhos, quanto de cada modelo em específico. Muitos pesquisadores se interessaram em enviar trabalhos completos, o que contribuiu para a consolidação do evento.

Na terceira década (2002-2010) dos ENEQ, foram realizadas estimativas de participação dos congressistas. Assim, nos anais do evento de 2006 a 2008, constam informações sobre a distribuição dos participantes por categorias. A distribuição mostrou que a categoria referente aos alunos de graduação correspondeu a mais da metade do total de participantes, sendo seguida pela categoria dos alunos de pós-graduação.

O que também pode justificar o salto quantitativo na produção dos ENEQ de 2008 para 2010 é o fato de, nesse período, terem sido criados os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia (IF), em 2008, por meio da Lei n.º 11.892. Os IF

oferecem cursos de formação de professores, principalmente nas áreas de Física, Química, Biologia e Matemática, em observância com as necessidades locais e regionais (Lima, 2016). Ademais, é necessário mencionar o papel do Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI), o qual, por intermédio de dotação orçamentária do Governo Federal, ampliou a educação superior pública com a implantação de novas universidades federais e fortalecimento de *campi* no interior do país (Gumiero, 2022).

A participação dos alunos de pós-graduação, com um número acentuado de trabalhos apresentados, pode ser atribuída à expansão de Programas de Pós-Graduação (PPG), principalmente na área de Ensino de Ciências e Matemática. Segundo Moreira (2007), dois anos após a criação da referida área, ela já apresentava claros sinais de consolidação e tendia a crescer. De fato, contando apenas com nove PPG no ano de 2001, a área não parou de crescer, até atingir a marca de 60 PPG no ano de 2010, distribuídos nas diversas regiões do país, ocorrendo um salto quantitativo e qualitativo (Agostini e Massi, 2023).

Em síntese, ao longo do tempo, houve um aumento considerável tanto no número de inscritos quanto no número de trabalhos apresentados, seja na forma de resumos ou de trabalhos completos. Entre 1982, data do primeiro ENEQ, até 2000, quando ocorreu a décima edição, a média foi em torno de 400 participantes, alcançando o patamar de 800 presentes em 2000, em Porto Alegre (Chassot, 2004; Soares *et al.*, 2017). A partir desse ponto, a média subiu consideravelmente para cerca de 1300 participantes.

Em consonância, o número de trabalhos publicados seguiu essa tendência de aumento. Na primeira década, a média foi de cerca de 35 trabalhos; na segunda década, esse valor quase dobrou e a média passou para 67 trabalhos, apresentados

apenas na forma de resumos. Já na terceira década, a média subiu drasticamente e atingiu em torno de 405 trabalhos, entre resumos e trabalhos completos, ou seja, um aumento em torno de 500%, ficando evidente a discrepância desse intervalo com os anteriores.

A produção e sua distribuição de acordo com as regiões brasileiras

Conforme mencionado anteriormente, o ENEQ é um evento bienal e cada edição é realizada em uma cidade distinta. O Quadro 4 apresenta os locais onde ocorreram o evento no período entre 1982 e 2010.

Durante o período analisado, foram realizadas quinze edições do ENEQ, seis edições na região Sudeste, quatro na região Sul, três na região Centro-Oeste, duas na região Nordeste e nenhuma na região Norte. Todas as regiões geográficas do país contribuíram com a produção. No entanto, não foi possível identificar a região geográfica de origem de três trabalhos: em 2002, *Química da caramelização de um pudim de casca de banana*; em 2004, *Desenvolvimento do CD-ROM de práticas de laboratório*; e, em 2006, *Curso de segurança em laboratórios: uma abordagem etnográfica na EMBRAPA Agroindústria Tropical*. Esses trabalhos não apresentam nem a instituição, nem o endereço dos autores.

Foram também desconsiderados quinze trabalhos de origem exclusivamente do exterior: seis trabalhos da Argentina, quatro de Portugal, dois do Chile, dois da Colômbia e um trabalho em parceria entre Portugal e Angola. Dessarte, dentre os trabalhos restantes que foram classificados, 74 apresentaram mais do que uma região geográfica e, por esse motivo, a somatória das porcentagens é superior a 100%. A Figura 4 ilustra a distribuição do número de trabalhos, assim como o percentual

Quadro 4: Locais de ocorrência dos ENEQ no período entre 1982 e 2010.

	ANO	CIDADE	ESTADO	REGIÃO
PRIMEIRA DÉCADA	1982	Campinas	SP	Sudeste
	1984	São Paulo	SP	Sudeste
	1986	Curitiba	PR	Sul
	1988	São Paulo	SP	Sudeste
	1990	Porto Alegre	RS	Sul
SEGUNDA DÉCADA	1992	São Paulo	SP	Sudeste
	1994	Belo Horizonte	MG	Sudeste
	1996	Campo Grande	MS	Centro-Oeste
	1998	Aracaju	SE	Nordeste
	2000	Porto Alegre	RS	Sul
TERCEIRA DÉCADA	2002	Recife	PE	Nordeste
	2004	Goiânia	GO	Centro-Oeste
	2006	Campinas	SP	Sudeste
	2008	Curitiba	PR	Sul
	2010	Brasília	DF	Centro-Oeste

Fonte: autoria própria.

da produção, de acordo com as regiões brasileiras, durante o período analisado (1982-2010).

Conforme ilustra a Figura 4, quase a metade dos trabalhos (45,9%) é proveniente da região Sudeste; na sequência, constam as regiões Nordeste (19,5%), Centro-Oeste (18,1%), Sul (16,9%) e Norte (2,5%). A produção da região Sudeste é mais do que o dobro, comparada à região Nordeste, que está em segundo lugar. A produção acentuada da região Sudeste também foi apontada por Francisco e Queiroz (2008), ao analisarem a produção do conhecimento sobre o ensino de Química, na seção de Educação das RASBQ, no período de 1999 a 2005.

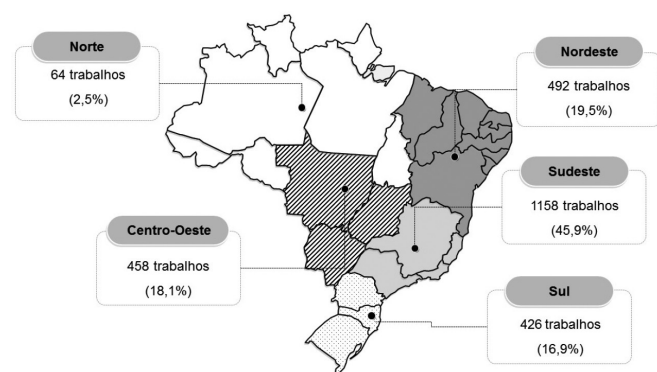


Figura 4: Distribuição de trabalhos apresentados de acordo com as regiões brasileiras (1982-2010). Fonte: autoria própria.

Não é surpreendente que a maior produção esteja concentrada na região Sudeste, pois esta é a que mais contribui, em termos percentuais, para os índices populacionais e industriais (IBGE, 2022). Além disso, as desigualdades regionais são marcantes no tocante à distribuição do número de Instituições de Ensino Superior (IES), PPG e grupos de pesquisa, tanto de modo geral, quanto na área de Educação em Química. Essa diferença influencia diretamente a produção acadêmica nacional e as perspectivas do crescimento regional, pois quanto mais PPG, desde que implantados com qualidade, maior será a produção de conhecimento e seu efeito no desenvolvimento local (Cirani *et al.*, 2015).

Nesse sentido, as políticas públicas voltadas para a expansão e a democratização da Educação Superior contribuem para um processo paulatino de descentralização, principalmente no que tange à pesquisa e aos PPG (Teixeira e Megid, 2011).

Primeira década: regiões brasileiras

A distribuição dos trabalhos apresentados nos ENEQ de acordo com as regiões geográficas durante a primeira década está representada na Figura 5. A região Sudeste foi a que teve maior produção de trabalhos em todas as edições e, na sequência, as regiões Sul, Nordeste e Centro-Oeste. Durante esse período, não houve apresentação de trabalhos originários da região Norte.

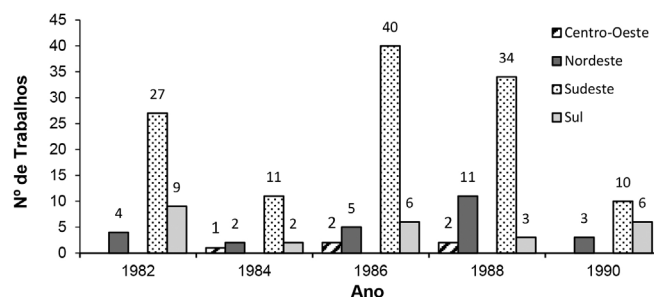


Figura 5: Distribuição de trabalhos de acordo com as regiões brasileiras durante a primeira década. Fonte: autoria própria.

Como mencionado anteriormente, dentre as cinco edições, três foram realizadas na região Sudeste e duas realizadas na região Sul. Em 1990, quando o evento ocorreu em Porto Alegre, observa-se que, apesar da região Sudeste ainda apresentar maior produção, a região Sul exibiu um montante de trabalhos que representa um pouco mais da metade em relação à região Sudeste.

Segunda década: regiões brasileiras

A distribuição dos trabalhos apresentados nos ENEQ de acordo com as regiões geográficas durante a segunda década está representada na Figura 6.

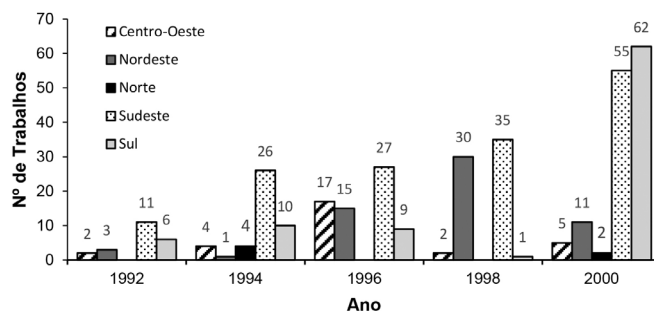


Figura 6: Distribuição de trabalhos de acordo com as regiões brasileiras durante a segunda década. Fonte: autoria própria.

A região Sudeste concentrou a maior produção também nesta década de realização do evento. Durante esse período, houve maior diversificação entre as regiões de ocorrências das edições: as duas primeiras foram realizadas na região Sudeste, a terceira foi realizada na região Centro-Oeste, a quarta na região Nordeste e a última na região Sul. Durante esse período houve apresentação de trabalhos originários da região Norte apenas nas edições de 1994 e 2000.

Na segunda década, pela primeira vez, a produção da região Sudeste foi ultrapassada por outra região, a região Sul, na edição do ano 2000, que ocorreu em Porto Alegre. Comparativamente, em 1996, quando a edição do evento ocorreu em Campo Grande, a proporção de distribuição da região Centro-Oeste foi aproximadamente 2/3 da produção correspondente à região Sudeste. Em 1998, quando a edição do evento foi realizada em Aracaju, a produção da região Nordeste quase se equiparou com a da região Sudeste.

Terceira década: regiões brasileiras

A distribuição dos trabalhos apresentados nos ENEQ de acordo com as regiões geográficas durante a terceira década está representada na Figura 7.

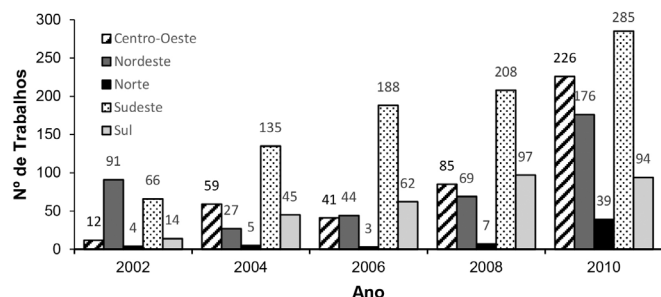


Figura 7: Distribuição de trabalhos de acordo com as regiões brasileiras durante a terceira década. Fonte: autoria própria.

A região Sudeste manteve-se em destaque e concentrou a maior parte da produção. Nessa década, pela primeira vez, foram registrados trabalhos originários de todas as regiões do país em todas as edições do evento.

No ano de 2002, a edição foi realizada em Recife e, pela primeira vez, a produção da região Nordeste foi maior que a da região Sudeste, cerca de 38%. Cabe destacar a produção da região Centro-Oeste, que foi ganhando notoriedade ao longo do tempo: na edição de 2004, realizada em Goiás, a sua produção correspondeu a 44% comparada à região Sudeste e, na edição de 2010, em Brasília, saltou para 79%. Na edição de 2008, realizada em Curitiba, foi significativa a produção da região Sul, que correspondeu a 47% da produção da região Sudeste.

Nessa perspectiva, é possível afirmar que o principal motivo para o elevado número de autores de um determinado grupo de instituições presentes no evento seja a sua proximidade do local de realização, o que ficou evidente nas distribuições por décadas. A realização de edições do evento em diferentes regiões do país colabora para que as pesquisas regionais sejam amplamente difundidas.

A produção e sua distribuição de acordo com as instituições de origem

Inicialmente, é necessário esclarecer que há uma diferença entre o número total de trabalhos por região geográfica e o número de instituições de vínculos dos autores. Nessa análise foram desconsiderados oito resumos, visto que apresentaram o endereço do pesquisador em vez de mencionar a instituição de origem, ou não faziam qualquer menção nesse sentido. Foram considerados os trabalhos provenientes do exterior, em parceria ou não com instituições brasileiras. Sendo assim, foi possível analisar um montante de 2544 trabalhos.

A Figura 8 ilustra a distribuição percentual da produção acadêmica por instituições, de acordo com a produção superior

a dois por cento ($\%T > 2,0$), no período entre 1982 e 2010. Sendo assim, foram destacadas catorze IES que estão apresentadas em ordem decrescente de produção.

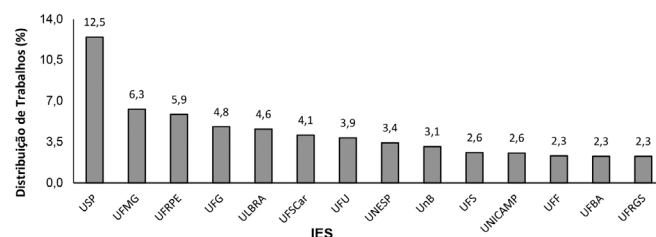


Figura 8: Distribuição percentual de trabalhos ($\%T > 2,0$) de acordo com as IES (1982-2010). Fonte: autoria própria.

Conforme ilustra a Figura 8, pouco mais da metade da produção (1299 trabalhos) está alocada em dez instituições. Dentre as instituições que se destacaram, a USP apresentou a maior parte da produção, ou seja, 317 trabalhos (12,5%), quase o dobro da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em segundo lugar. Esse resultado é a somatória dos esforços de grupos de pesquisas oriundos da Faculdade de Educação (FE) e Instituto de Química (IQ) do *campus* de São Paulo, e de um *campus* do interior, do Instituto de Química de São Carlos (IQSC).

Outras instituições também apresentaram essa característica. Os trabalhos produzidos pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) são provenientes de esforços de pesquisadores de distintas unidades em seus campi, distribuídos no estado de São Paulo; o montante relacionado à Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), por sua vez, é proveniente de duas regiões distintas, Sul e Centro-Oeste.

A Figura 9 ilustra a distribuição percentual dos trabalhos das dez instituições que se destacaram nas três décadas, a qual evidencia a dinâmica da produção das instituições que mais contribuíram com o evento, ao longo do tempo.

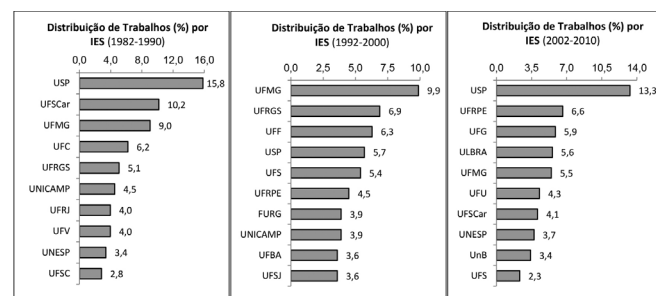


Figura 9: Distribuição percentual das dez instituições com maior produção por décadas (1982-2010). Fonte: autoria própria.

Na primeira década, as dez instituições que se destacaram foram: USP, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), UFMG, Universidade Federal do Ceará (UFC), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Universidade de Campinas (UNICAMP), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Federal de Viçosa (UFV), UNESP e Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Comparando a Figura 8 com a Figura 9, observa-se que seis IES que estão presentes na primeira década (USP, UFSCar, UFMG, UFRGS, UNICAMP e UNESP) também estão entre as catorze instituições de maior produção, considerando todo o período.

Em contraponto, a UFC, que teve produção significativa na primeira década, a *posteriori* não confirmou sua liderança no cenário da Educação em Química e o mesmo aconteceu com a UFRJ e a UFV, que também não mantiveram suas produções em destaque nas décadas posteriores. Durante o período em questão duas edições foram realizadas na USP, uma na UNICAMP e uma na UFRGS, ou seja, a regionalização das edições favoreceu a produção local.

Outro ponto a destacar é que, na primeira década, foi notável a participação das escolas de Ensino Fundamental e Médio públicas do estado de São Paulo, com suas produções em parcerias ou não com IES. Foram produzidos doze trabalhos (6,8%), seis apenas por autores de escolas públicas; dois em parceria entre escolas e a Secretaria de Educação do Estado de São Paulo (SEE-SP); um em parceria entre escolas públicas e privadas; um em parceria entre escolas públicas e a USP; um em parceria com a UFSCar e outro em parceria com a UNESP. O estabelecimento de vínculos entre as universidades e as escolas já era existente nas IES desde esse período, porém em apenas três trabalhos a colaboração foi concretizada. Cabe esclarecer que a pesquisa na área em questão encontrava-se em seus primórdios, de modo que a colaboração entre escola pública e IES se dava principalmente por atividades de formação continuada e não por pesquisas conjuntas.

Na segunda década, destacaram-se as instituições: UFMG, UFRGS, Universidade Federal Fluminense (UFF), USP, Universidade Federal de Sergipe (UFS), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Universidade Federal do Rio Grande (FURG), UNICAMP, Universidade Federal da Bahia (UFBA) e Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ). Comparando a Figura 8 com a Figura 9, observa-se que apenas a FURG não está presente também entre as catorze instituições de maior produção, considerando todo o período.

A produção das IES foi favorecida pelo local de realização das edições: uma realizada na USP; uma na UFMG; uma na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e uma na UFS. Esta última edição contribuiu significativamente para a produção das IES da região Nordeste, principalmente para UFS, UFBA e UFRPE.

Cumprе salientar que, na segunda década, foram produzidos dezesseis trabalhos (4,7%) referentes a escolas técnicas: dez são provenientes do Colégio Técnico (COLTEC) da UFMG, sendo sete desses em parceria com professores da mesma universidade; quatro são provenientes da Fundação Escola Técnica

Liberato Salzano Vieira da Cunha; um da Escola Técnica Estadual de São Paulo (ETEC); e um do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (CEETEPS).

Na terceira década, destacaram-se as instituições: USP, UFRPE, Universidade Federal de Goiás (UFG), ULBRA, UFMG, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), UFSCar, UNESP, Universidade de Brasília (UnB) e UFS. Comparando a Figura 8 com a Figura 9, todas estão presentes entre as catorze instituições de maior produção, considerando todo o período. Dentre as catorze IES, somente a USP e a UFMG se sobressaíram nas três décadas. Ambas são pioneiras na área de Educação em Química e com grupos de pesquisa bastante atuantes. A UNICAMP e UFRGS estão presentes tanto na primeira quanto na segunda década; a UFSCar e a UNESP estão presentes na primeira e na terceira década; a UFRPE e a UFS estão presentes na segunda e terceira década e a UFBA está presente na segunda década.

A realização das edições nas regiões onde estão situadas as IES contribuiu também para o destaque nas suas produções. No período em questão, uma edição foi realizada na UFRPE, uma na UFG, uma na UNICAMP, uma na Universidade Federal do Paraná (UFPR) e uma na UnB, ou seja, as instituições tiveram suas produções favorecidas ao sediar o evento, exceto a UFPR, que não acentuou sua produção.

A UFG, a ULBRA, a UFU e a UnB sobressaíram suas produções a partir da terceira década. A UFG, ao contrário do que ocorreu com a UFC, não apresentou nenhum trabalho na primeira década, teve cinco trabalhos na segunda e desponta no cenário nacional de Educação em Química na terceira década. Essa produção é o resultado de um grupo de pesquisadores que surge na área no final do período, porém com grande vigor. A produção da ULBRA é o resultado de esforços *multicampi*, de Itumbiara e de Canoas.

Neste artigo foram também consideradas as parcerias institucionais. Sendo assim, os trabalhos que foram realizados em parceria entre duas a seis instituições distintas foram computados para cada uma delas. A distribuição do número de trabalhos conforme o número de parcerias estabelecidas entre as instituições está ilustrado no Quadro 5.

Conforme ilustra o Quadro 5, houve ocorrência moderada de parcerias entre as instituições, ou seja, no montante de 2544 trabalhos analisados, um pouco mais de 1/4 dos trabalhos (26,3%) se caracterizaram como tal. Dentre eles, 550 trabalhos (21,6%) foram realizados em parceria entre duas instituições; 89 trabalhos (3,5%) foram realizados em parceria entre três instituições; dezenove trabalhos (0,8%) foram realizados em parceria entre quatro instituições; cinco trabalhos (0,2%) foram realizados em parceria entre cinco instituições; e três trabalhos

Quadro 5: Distribuição dos trabalhos de acordo com o número de parcerias entre as instituições no período entre 1982 e 2010.

N.º DE TRABALHOS	550	89	19	5	3
N.º DE INSTITUIÇÕES PARCEIRAS	2	3	4	5	6

Fonte: autoria própria.

(0,1%) foram realizados em parceria entre seis instituições.

Resultado semelhante foi apontado por Francisco (2006), ao analisar os resumos das RASBQ. Foi verificado que, no montante de 812 trabalhos analisados, 76 resumos (9,3%) foram realizados em parceria entre duas ou mais instituições, ou seja, uma porcentagem bem inferior à observada nos ENEQ. A realização de parcerias e de colaboração científica entre os pesquisadores pode favorecer, dentre outras vantagens, a mobilidade de docentes, o fortalecimento de PPG e de grupos de pesquisas, propiciando a promoção da melhoria na formação inicial e continuada de professores. Nessa perspectiva, o fomento à sua realização é premente.

As instituições de origem foram também categorizadas de acordo com suas categorias administrativas, com base nas seguintes denominações: Universidades Federais (UF), Universidades Estaduais (UE), Universidades Municipais (UM), Institutos Federais (IF), Instituições de Ensino Superior Privada (IESP); Instituições de Ensino Superior do Exterior (IESE); Escolas de Ensino Fundamental/Médio Públicas (EFMPb); Escolas de Ensino Fundamental/Médio Particulares (EFMPa); Órgãos Públicos de Gestão Educacional (OG), categoria que inclui as Secretarias de Educação Estaduais, Secretarias de Educação Municipais e outras instituições voltadas para Educação (*e.g.*, SENAI, SENAC); e Outros, categoria que reúne empresas, indústrias químicas, centros de pesquisas ou outras instituições que não se enquadram nas classificações anteriores (por exemplo, Comissão Nacional de Energia Nuclear [CNEN] e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [EMBRAPA]).

A Figura 10 apresenta a distribuição percentual de trabalhos de acordo com as categorias administrativas das instituições de vínculo dos autores. Notadamente, as universidades respondem quase que exclusivamente pela produção científica nacional. A maior representatividade provém das IES Públicas, destacando-se as Universidades Federais (56,9%) e as Universidades Estaduais (29,2%). Em seguida estão as IES Privadas (16,7%) e o montante correspondente às Escolas de Ensino Fundamental e Médio Públicas (11,8%). Em menor proporção (inferior a 5%) estão os Institutos Federais (4,7%), Escolas de Ensino

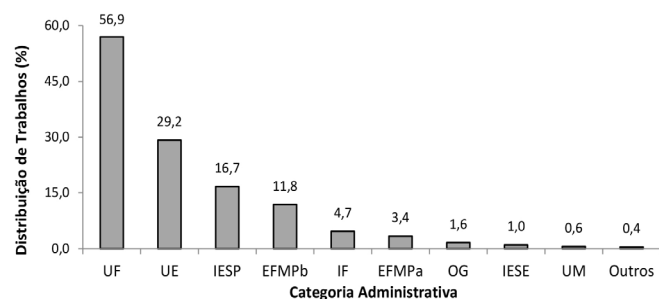


Figura 10: Distribuição percentual de trabalhos de acordo com as categorias administrativas (1982-2010). UF: Universidade Federal; UE: Universidade Estadual; IESP: Instituição de Ensino Superior Privada; EFMPb: Escola de Ensino Fundamental/Médio Pública; IF: Instituto Federal; EFMPa: Escola de Ensino Fundamental/Médio Privada; OG: Órgão Governamental; IESE: Instituição de Ensino Superior do Exterior; UM: Universidade Municipal. Fonte: autoria própria.

Fundamental e Médio Privadas (3,4%), IES provenientes de países do exterior (1,6%), Universidades Municipais (0,6%) e Outros (0,4%).

De acordo com os dados do Censo da Educação Superior de 2022, entre as 2.595 IES brasileiras, 312 (12,0%) pertencem ao setor público e 2283 (88,0%) são do setor privado. Em relação ao número de matrículas, as IES públicas são responsáveis por 22,0% do total, enquanto as IES do setor privado responsabilizam-se por 78,0% das matrículas da educação superior existentes no país (INEP, 2022). No entanto, apesar da educação superior ser um investimento garantido e profícuo, os dados expostos na Figura 10 indicam que as IES privadas impulsionam de forma pouco significativa a qualidade na produção do conhecimento na área de Educação em Química. Esse resultado não é surpreendente nem discrepante com relação a outras áreas do conhecimento, conforme análise divulgada sobre a pesquisa científica nacional pelo *Web of Science Group* no relatório denominado *A pesquisa no Brasil: promovendo a excelência* (Clarivate Analytics, 2019), a qual aponta somente universidades públicas como as mais ativas em produção científica no país.

Comparando a Figura 8 com a Figura 10, constata-se o predomínio de IES Federais e Estaduais como lócus da produção acadêmica. Além disso, treze, dentre as catorze IES com maior produção, são de natureza pública. Como ilustrado na Figura 10, as IESP, de natureza privada, ocuparam o terceiro lugar. Cabe salientar que a ULBRA se destacou, ocupando o quinto lugar nessa distribuição, perfazendo 4,6% da produção, ou seja, um terço da produção das IES privadas provém da ULBRA.

Diante disso, os dados corroboram o papel central das instituições públicas no desenvolvimento da produção do conhecimento no país, fato constatado também por outros autores nas demais áreas do Ensino de Ciências: Ensino de Biologia (Delizoicov *et al.*, 2013; Slongo e Delizoicov, 2006; Teixeira, 2008; Teixeira e Megid, 2006) e Ensino de Física (Nardi, 2015; Salem, 2012). Tais instituições, cada vez mais, incentivam os membros de sua comunidade, por meio da participação expressiva de estudantes de graduação e pós-graduação, a incrementarem sua produção científica, alicerçadas nas exigências das agências de avaliação e fomento da pesquisa científica, como a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e o CNPq (Silva *et al.*, 2021).

Cabe ressaltar a participação das Escolas, tanto as Públicas (EFMPb) quanto as Privadas (EFMPa), também de uma fração oriunda dos Institutos Federais (IF) que, mesmo em menor proporção, têm participado ativamente dos ENEQ. Isso corrobora o fato de o evento propiciar um espaço democrático do conhecimento, abrigando professores, gestores, alunos de graduação e pós-graduação, pesquisadores da área de Educação em Química, contribuindo efetivamente para uma integração mais ampla entre universidades, centros de pesquisa, escolas da rede pública e privada. Além disso, possibilita ampliar conhecimentos para fronteiras que transpõem o ambiente universitário.

Instituições de origem: região Sudeste

Em 2022, a região Sudeste concentrava 1098 IES, correspondentes a 42,3% do total de IES no Brasil (INEP, 2022). No período investigado, foi identificada a produção de documentos em 83 instituições distintas. A Tabela 2 ilustra a distribuição dos trabalhos de acordo com as instituições de origem da região Sudeste e o número de trabalhos (NT).

Na região Sudeste, destacam-se as IES: USP, UFMG, UFSCar, UFU, UNESP, UNICAMP e a UFF. A USP apresenta a maior produção acadêmica, tanto na região Sudeste quanto no Brasil, e sua produção representa 98,1% a mais que a UFMG, na sequência.

O destaque na produção da USP corrobora as pesquisas realizadas na área de Educação em Química por outros autores: Alexandrino e Queiroz (2020), sobre o Ensino de Química;

Silva e Queiroz (2016, 2017), sobre a formação de professores de Química; Gonçalves e Marques (2012) e Souza *et al.* (2021), ambos sobre a experimentação no Ensino de Química.

Foram classificadas 83 instituições distintas e sete blocos nos quais foram reunidas as escolas de Ensino Fundamental e Médio e empresas (Tabela 2). A produção dentro da faixa de número de trabalhos $NT \geq 100$ está concentrada em três instituições (3,6%). Na produção dentro da faixa de $100 > NT \geq 50$ estão classificadas quatro instituições (4,8%) e com produção dessa ordem estão as escolas particulares. Na produção dentro da faixa de $50 > NT \geq 10$ estão classificadas onze instituições (13,2%) e nessa amplitude também estão as escolas públicas de Minas Gerais, de São Paulo, e do Rio de Janeiro, respectivamente. Dentro da faixa de $10 > NT \geq 4$ estão classificadas dezessete instituições (20,5%), também os blocos das escolas públicas do Espírito Santo e as empresas.

Tabela 2: Distribuição dos trabalhos de acordo com as instituições de origem da região Sudeste.

INSTITUIÇÕES	NT	INSTITUIÇÕES	NT	INSTITUIÇÕES	NT
USP	317	UFABC	4	EE Mauá	1
UFMG	160	UNIESP	4	EMBRAPA	1
UFSCar	104	UNINCOR	4	FACAMP	1
UFU	98	UNIPLI	4	FEMA	1
UNESP	87	IFES	3	FIMI	1
UNICAMP	65	UNESA	3	FUNEC	1
UFF	59	UNIFAL	3	IFF	1
UFRJ	31	UNIFEB	3	PUC-Camp	1
UFSJ	25	UNIFEI	3	SEE-RJ	1
UFV	22	UNIMONTES	3	SENAC	1
IFRJ	19	FACCAMP	2	UBM	1
UNILAVRAS	19	IF Norte MG	2	UFVJM	1
UNIMEP	18	IF Sudeste MG	2	UIT	1
FSA	15	IME	2	UNIBAN	1
UFRRJ	14	PUC-RJ	2	UNIFRAN	1
FASB	13	SENAI	2	UNIMINAS	1
UERJ	11	UFLA	2	UNIP	1
UFES	11	UNIANCHIETA	2	UNISAL	1
UEMG	7	UNICSUL	2	UNISO	1
PUC-SP	6	UNIDERP	2	UNIVERSO	1
SEE-SP	6	UNIFEG	2	USF	1
UENF	6	UNIFIA	2		
URJF	6	UNIPAM	2	Escola Particular	53
CEFET-RJ	5	UNISEPE-SCelisul	2	Escola FM Pública - MG	41
FASF	5	UNIS-FEMVA	2	Escola FM Pública - SP	40
ANHANGUERA	4	CECERJ	1	COLTEC	27
FIOCRUZ	4	CECISP - SP	1	Escola FM Pública - RJ	20
IFMG	4	CEETEPS	1	Escola FM Pública - ES	4
IFTM	4	CESUBE	1	Empresa	4
Mackenzie	4	CNEN	1		
SEBRAE	4	CUML	1		

Fonte: autoria própria.

Já na faixa $4 > NT \geq 1$ concentra-se a maioria das instituições, 48 no total (57,8%).

É digna de nota a participação das escolas de Ensino Fundamental e Médio da região Sudeste nos ENEQ, seja na categoria administrativa pública ou privada.

Instituições de origem: região Nordeste

Em 2022, a região Nordeste concentrava 611 IES, o que correspondia a 23,5% do total de IES no Brasil (INEP, 2022). No período investigado foi identificada a produção de documentos em 43 instituições distintas. A Tabela 3 ilustra a distribuição dos trabalhos de acordo com as instituições de origem da região Nordeste e o número de trabalhos.

Na região Nordeste, são apontadas quatro instituições com maior produção, a saber: UFRPE, UFS, UFBA e UFPE. A instituição de maior produção foi a UFRPE, que representa 125,7% a mais do que a UFS, na segunda posição. Foram classificadas 43 instituições distintas e cinco blocos nos quais foram reunidas as escolas de Ensino Fundamental e Médio da região Nordeste (Tabela 3). A faixa de número de trabalhos $NT \geq 100$ contém apenas uma instituição (2,3%). Na produção dentro da faixa de $100 > NT \geq 50$ estão classificadas duas instituições (4,6%). Na produção dentro da faixa de $50 > NT \geq 10$ estão classificadas oito instituições (18,6%) e nessa amplitude também estão as escolas públicas de Pernambuco, de Sergipe e da Bahia, assim como as escolas particulares, respectivamente. Dentro da faixa de $10 > NT \geq 4$ estão classificadas doze instituições (27,9%). A faixa $4 > NT \geq 1$ concentra a maioria das instituições, vinte no total (46,5%), e o bloco dos colégios técnicos.

A participação das escolas de Ensino Fundamental e Médio da região Nordeste também foi bastante significativa.

Instituições de origem: região Centro-Oeste

Em 2022, a região Centro-Oeste concentrava 289 IES, o que correspondia a 11,1% do total de IES no Brasil (INEP, 2022). No período investigado foi identificada a produção de documentos em 24 instituições distintas. A Tabela 4 ilustra a distribuição dos trabalhos de acordo com as instituições de origem da região Centro-Oeste e o número de trabalhos.

Na região Centro-Oeste, também são apontadas quatro instituições com maior produção: UFG, ULBRA, UnB e UFMT. A instituição de maior produção foi a UFG, que representa 17,3% a mais que a ULBRA, que está na segunda posição. Foram classificadas 24 instituições distintas e cinco blocos nos quais foram reunidas as escolas de Ensino Fundamental e Médio da região Centro-Oeste (Tabela 4).

A faixa de número de trabalhos $NT \geq 100$ concentra duas instituições (8,3%). Na produção dentro da faixa de $100 > NT \geq 50$ está classificada apenas uma instituição (4,2%). Na produção dentro da faixa de $50 > NT \geq 10$ estão classificadas seis instituições (25,0%) e as escolas públicas de Goiás. Dentro da faixa de $10 > NT \geq 4$ está apenas uma instituição (4,2%), também estão as escolas públicas do Distrito Federal, Mato Grosso, assim como as escolas particulares. A faixa $4 > NT \geq 1$ concentra a maioria das instituições, catorze no total (58,3%) e o bloco das escolas públicas do Mato Grosso do Sul.

Vale ressaltar que a participação das escolas de Ensino Fundamental e Médio da região Centro-Oeste também foi bastante significativa.

Tabela 3: Distribuição dos trabalhos de acordo com as instituições de origem da região Nordeste.

INSTITUIÇÕES	NT	INSTITUIÇÕES	NT	INSTITUIÇÕES	NT
UFRPE	149	PIO DÉCIMO	6	Área 1	2
UFS	66	UNICAP	6	FSLF	1
UFBA	58	UPE	5	IFAL	1
UFPE	43	IFRN	4	SEE-BA	1
UESC	32	IFS	4	SEE-PB	1
UFRN	24	UEFS	4	UFERSA	1
IFMA	23	UESPI	3	UFMA	1
UFC	17	EBM	2	UFRB	1
UFPB	17	FAFIRE	2	UVA	1
UNEB	13	FAFOPST	2		
FAMASUL-FACIP	10	FAINTVISA	2	Escola FM Pública - PE	40
IFPB	9	FSM	2	Escola FM Pública - SE	22
UEPB	9	IFBA	2	Escola FM Pública - BA	17
UESB	9	IF Baiano	2	Escola Particular	10
SEE-PE	7	IFPE	2	COLTEC	1
UFCG	7	UFAL	2		
UFPI	7	UNP	2		

Fonte: autoria própria.

Tabela 4: Distribuição dos trabalhos de acordo com as instituições de origem da região Centro-Oeste.

INSTITUIÇÕES	NT	INSTITUIÇÕES	NT	INSTITUIÇÕES	NT
UFG	122	IF Goiano	3	UFGD	1
ULBRA	104	FACGAMA	3	COLTEC	1
UnB	79	IFMT	3	MEC	1
UFMT	45	UNIANA	2	UCDB	1
UFMS	32	SEE-MS	2		
IFG	19	UNEMAT	2	Escola FM Pública - GO	20
UEG	16	CEFAPRO	2	Escola Particular	9
UCB	11	SEE-TO	1	Escola FM Pública - DF	8
UEMS	11	SEE-DF	1	Escola FM Pública - MT	7
PUC-GO	9	UNIFASC	1	Escola FM Pública - MS	3

Fonte: autoria própria.

Instituições de origem: região Sul

Em 2022, a região Sul concentrava 396 IES, o que correspondia a 15,2% do total de IES no Brasil (INEP, 2022). No período investigado foi identificada a produção de documentos em 38 instituições distintas. A Tabela 5 ilustra a distribuição dos trabalhos de acordo com as instituições de origem da região Sul e o número de trabalhos.

Destacam-se na região Sul as instituições: UFRGS, Universidade de Passo Fundo (UPF), UFSC e UNIJUI. A instituição de maior produção foi a UFRGS, que representa 34,9% a mais que a UPF, que está na segunda posição. Foram classificadas 38 instituições distintas e cinco blocos nos quais foram reunidas as escolas de Ensino Fundamental e Médio da região Sul (Tabela 5). Na produção dentro da faixa de $100 > NT \geq 50$ está classificada apenas uma instituição (2,6%). Na produção dentro da faixa de $50 > NT \geq 10$ está classificada grande parte das instituições, treze no total (34,2%), e também estão as escolas

públicas do Paraná, do Rio Grande do Sul, assim como o bloco das escolas particulares. Dentro da faixa de $10 > NT \geq 4$ estão sete instituições (18,4%), também as escolas públicas de Santa Catarina, e os blocos das escolas particulares e do COLTEC, respectivamente. Já na faixa $4 > NT \geq 1$ concentra-se a maioria das instituições, dezessete no total (44,8%). Também é bastante significativa a participação das escolas de Ensino Fundamental e Médio da região Sul.

Instituições de origem: região Norte

Em 2022, a região Norte concentrava 201 IES, o que correspondia a 7,7% do total de IES no Brasil (INEP, 2022). No período investigado, identificamos a produção de documentos em treze instituições distintas. A distribuição dos trabalhos de acordo com as instituições de origem da região Norte consta na Tabela 6.

Destacam-se, na região Norte, a Universidade Estadual do

Tabela 5: Distribuição dos trabalhos de acordo com as instituições de origem da região Sul.

INSTITUIÇÕES	NT	INSTITUIÇÕES	NT	INSTITUIÇÕES	NT
UFRGS	58	UNIPAMPA	6	IFSC	1
UPF	43	FURB	5	Positivo	1
UFSC	41	UNICENTRO	5	UDESC	1
UNIJUI	36	IFRS	4	UnC	1
UEM	34	UNESPAR	4	UNIDAVI	1
UNIOESTE	32	UTFPR	4	UNIVALI	1
FURG	29	IF Catarinense	2	UNIVATES	1
UEL	25	PUC-PR	2	URI	1
UFPR	18	SEE-PR	2		
UFPEL	16	UNESC	2	Escola FM Pública - PR	21
UEPG	13	UNILASALLE	2	Escola FM Pública - RS	12
ULBRA	13	UNISC	2	Escola Particular	10
UCS	10	UNOPAR	2	Escola FM Pública - SC	9
UFSM	10	FACEAR	1	COLTEC	6
PUC-RS	8	FDRH-RS	1		

Fonte: autoria própria.

Tabela 6: Distribuição dos trabalhos de acordo com as instituições de origem da região Norte.

INSTITUIÇÕES	NT	INSTITUIÇÕES	NT	INSTITUIÇÕES	NT
UEPA	16	IFPA	2	EMBRAPA	1
UFPA	12	SEE-PA	2		
UNIR	10	UFT	2	Escola FM Pública - RR	2
UFRR	8	SEE-TO	1	Escola FM Pública - PA	1
UFAC	7	UEA	1	Escola FM Pública - RO	1
UFAM	5	UERR	1		

Fonte: autoria própria.

Pará (UEPA) e a Universidade Federal do Pará (UFPA). Foram classificadas treze instituições distintas e três blocos nos quais foram reunidas as escolas de Ensino Fundamental e Médio da região Norte (Tabela 6). Na produção dentro da faixa de $50 > NT \geq 10$ estão classificadas três instituições (23,1%). Dentro da faixa de $10 > NT \geq 4$ também estão três instituições (23,1%). Na faixa $4 > NT \geq 1$ concentra-se a maioria das instituições, sete no total (53,8%), e também estão os blocos das escolas públicas de Roraima, do Pará e de Rondônia.

Essa baixa produtividade na produção acadêmica na região Norte corrobora os resultados apontados por outros autores (Alexandrino *et al.*, 2022; Silva, 2013; Teixeira, 2008). Na última década, apesar do recebimento de incentivos, aumento do número de instituições de ensino, formação de grupos de pesquisa, PPG específicos na área, essa região ainda conta com produção acadêmica incipiente.

Embora a necessidade da descentralização da pesquisa em Educação em Química recorrentemente seja apontada por autores que analisaram de maneira semelhante a produção acadêmica brasileira na área em investigações similares, entende-se que a sua concretização exigiria uma distribuição mais igualitária de IES e, por conseguinte, de PPG nas diversas regiões, o que demanda um planejamento estratégico na tentativa de alcançar tal objetivo. Cabe destacar ainda a importância da regionalização das edições de eventos com caráter similar ao do ENEQ, como demonstrado nos resultados deste trabalho.

Considerações finais

Durante a primeira década do ENEQ, a produção mostrou-se bastante irregular, com o mínimo de dezesseis trabalhos em 1984, e o máximo de 52 trabalhos em 1986. Na segunda década, a produção começa a se estabilizar, mostrando-se moderadamente crescente, com o mínimo de 22 trabalhos em 1992, e encerra a década com o máximo de 140 trabalhos. Já na terceira década, o aumento da produção foi significativo, com grande expansão, principalmente nas duas últimas edições. Foi observado o mínimo de 181 trabalhos em 2002, e finalizado o período com o máximo de 786 trabalhos em 2010.

A crescente participação da comunidade pode estar vinculada ao processo de expansão tanto no nível de graduação, por

meio dos cursos de Licenciatura em Química, quanto no nível de pós-graduação, com os cursos específicos voltados para a Educação em Química. Isso implica no ascendente interesse pela área, assim como sua consolidação. Além disso, com relação ao evento em si, esse aumento pode ser creditado ao aporte de financiamento, via agências de fomento, principalmente as federais CAPES e CNPq, por intermédio de programas específicos voltados para a área de Ciências como o SPEC-PADCT, Pró-Ciências e PIBID.

Foram localizados trabalhos de todas as unidades da federação, porém a distribuição da produção é bastante irregular, com proeminência para a região Sudeste, que concentrou quase metade da produção analisada. A distribuição da produção das regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sul foram equiparadas. A produção da região Norte foi exígua, com apenas 2,5% do total da produção. Esse fato, em parte, correlaciona-se com a baixa densidade de cursos de graduação e de pós-graduação dessa região. Algumas ações para a descentralização da pesquisa na área foram apontadas no Plano Nacional de Pós-Graduação (PNPG) 2005-2010, visando minimizar essa disparidade.

A vultosa concentração de trabalhos oriundos da região Sudeste também foi apontada por pesquisadores que realizaram trabalhos do tipo estado da arte na área de Educação em Ciências, e obtiveram resultados semelhantes quanto ao protagonismo dessa região. Por isso, fica evidente a importância da itinerância na realização das edições do ENEQ entre as diversas regiões do país, abarcando todas as unidades da federação. Os resultados mostraram que a participação dos autores está fortemente vinculada com a proximidade do local de realização do evento, e isso contribui para que as pesquisas regionais sejam amplamente difundidas na comunidade científica.

Em relação às instituições de origem dos autores, especificamente em termos quantitativos, pouco mais da metade da produção concentra-se em catorze instituições, com destaque para a USP, e essa notoriedade corrobora as pesquisas desenvolvidas na área de Educação em Ciências. Porém, quando observada a distribuição da produção por décadas, é constatada uma dinâmica no *ranking* entre as dez IES que mais contribuíram com trabalhos nos ENEQ. É o caso da UFMG, cuja produção na segunda década destacou-se em primeiro e a da USP em quarto lugar.

Além disso, ocorreu um antagonismo entre a produção da UFC comparada à da UFG, de modo que a produção da primeira vai ficando escassa ao longo do tempo, enquanto a segunda, que não apresentou trabalhos inicialmente, teve considerável produção na terceira década. Nessa perspectiva, é possível destacar a importância da contratação de professores com linhas de pesquisa específicas na área, que reforçaram o corpo docente da UFG, mas o mesmo não ocorreu com a UFC.

No que tange à categoria administrativa, apesar das instituições privadas concentrarem a maioria das matrículas nas IES, enquanto as públicas são responsáveis por menos de um quarto de matrículas da educação superior existentes no país, ocorre o predomínio de IES Federais e Estaduais como locus da produção acadêmica. Tomando como base o recorte de catorze IES com maior produção nos ENEQ, treze são de natureza pública, ou seja, as IES privadas impulsionam de forma pouco significativa a produção nesse campo de conhecimento.

A presente pesquisa teve o intuito de disponibilizar ao leitor um panorama das produções científicas publicadas nos anais dos ENEQ, no período de 1982 a 2010, no que tange à distribuição geográfica e institucional. Embora não tenha sido incorporada toda a produção acadêmica brasileira acerca da Educação em Química, essa pesquisa pode contribuir, de maneira sistematizada, para evidenciar o que já foi produzido, apontando as tendências e os silenciamentos. Além disso, amparados no arcabouço teórico apresentado, faz-se possível a reflexão sobre a ampliação e delineamento de novas pesquisas e a proposição de ações visando fortalecer esse campo de conhecimento, tendo em vista que o ENEQ propicia um espaço democrático do conhecimento, abrigando professores, gestores, alunos de graduação e pós-graduação e pesquisadores.

Agradecimentos

Ao Professor Paulo Sérgio Bretones (*in memoriam*) por disponibilizar os anais da primeira década dos ENEQ para a realização da análise apresentada neste artigo.

Referências

- AGOSTINI, G. e MASSI, L. Área 46 na CAPES: origem, mudanças e consolidação como “Ensino” no campo acadêmico-científico. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 28, n. 2, p. 65-91, 2023.
- ALVES, M. C.; PACHECO, V. F.; CEDRAN, J. C. e KIOURANIS, N. M. M. Encontros Nacionais de Ensino de Química: mapeando as linhas temáticas dos ENEQ's de 2006 a 2018. *Revista Insignare Scientia*, v. 4, n. 3, p. 227-241, 2021.
- ALEXANDRINO, D. M.; BRETONES, P. C. e QUEIROZ, S. L. Anais dos ENEQ: o que nos dizem sobre a área de educação em química no Brasil? *Química Nova*, v. 45, n. 2, p. 249-261, 2022.
- ALEXANDRINO, D. M. e QUEIROZ, S. L. Pesquisas do tipo estado da arte sobre o ensino de química no Brasil (2000-2016). *Revista*

- Electrónica de Enseñanza de las Ciencias (REEC)*, v. 19, n. 3, p. 638-655, 2020.
- BAROLLI, E. e VILLANI, A. A formação de professores de ciências no Brasil como campo de disputas. *Revista Exitus*, v. 5, n. 1, p. 72-90, 2015.
- BAUMGARTEN, M. *Conhecimento e sustentabilidade: políticas de ciência, tecnologia e inovação no Brasil contemporâneo*. Porto Alegre: UFRGS/Sulina, 2008.
- BEJARANO, N. R. R. e CARVALHO, A. M. P. A educação química no Brasil: uma visão através das pesquisas e publicações da área. *Educación Química*, v. 11, n. 1, p. 160-167, 2000.
- BERTONCELO, E. R. E. Eu quero votar para presidente: uma análise sobre a campanha das diretas. *Lua Nova*, v. 76, p. 169-196, 2009.
- BRASIL. Ministério da Educação (MEC). Secretaria de Educação Fundamental. *Parâmetros Curriculares Nacionais*. Ciências Naturais, v. 4. Brasília: MEC/SEF, 1998.
- BRASIL. Ministério da Educação (MEC). *Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio: bases legais*. Brasília: MEC, 2000.
- CHASSOT, A. I. *Para que(m) é útil o ensino?*. 2ª ed. Canoas: ULBRA, 2004.
- CIRANI, C. B. S.; CAMPANARIO, M. A. e SILVA, H. H. M. A evolução do ensino da pós-graduação senso estrito no Brasil: análise exploratória e proposições para pesquisa. *Avaliação*, v. 20, n. 1, p. 163-187, 2015.
- CLARIVATE ANALYTICS. *A pesquisa no Brasil: promovendo a excelência*. Análise preparada para a CAPES pelo grupo *Web of Science*. Filadélfia (EUA): Clarivate Analytics, 2019.
- DELIZOICOV, D.; SLONGO, I. I. P. e LORENZETTI, L. Um panorama da pesquisa em educação em ciências desenvolvida no Brasil de 1997 a 2005. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias (REEC)*, v. 12, n. 3, p. 459-480, 2013.
- ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA (ENEQ), 14, Campinas. *Anais [...]*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2006.
- FRANCISCO, C. A. *A produção do conhecimento sobre o ensino de química no Brasil: um olhar a partir das Reuniões Anuais da Sociedade Brasileira de Química*. Dissertação de Mestrado em Química, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.
- FRANCISCO, C. A. e QUEIROZ, S. L. A produção do conhecimento sobre o ensino de química nas Reuniões Anuais da Sociedade Brasileira de Química: uma revisão. *Química Nova*, v. 31, n. 8, p. 2100-2110, 2008.
- GONÇALVES, F. P. e MARQUES, C. A. Pesquisas e publicações acerca da experimentação no ensino de química. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 12, n. 1, p. 181-204, 2012.
- GUMIERO, R. G. Expansão e interiorização do ensino superior na Universidade Federal da Grande Dourados-MS: uma avaliação do REUNI. In: MACEDO, F. C.; MONTEIRO NETO, A.; VIEIRA, D. J. (Org.). *Universidade e Território: ensino superior e desenvolvimento regional no Brasil do século XXI*. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2022.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Demográfico 2022*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama>, acesso em mar. 2024.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA (INEP). *Sinopses estatísticas da educação superior: graduação (2022)*. Brasília: INEP. Recuperado de <https://www.gov.br/inep/pt-br/acesso-a-informacao/dados-abertos/sinopses-estatisticas/educacao-superior-graduacao>
- LEMOS, D. C. e CÁRIO, S. A. F. A evolução das políticas de ciência e tecnologia no Brasil e a incorporação da inovação. In: *Latin American Network for Economics of Learning, Innovation and Competence Building Systems*, v. 1. Rio de Janeiro, 2013. p. 1-21.
- LIMA, M. F. B. *A expansão das licenciaturas no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo: percursos e características*. Dissertação de Mestrado em Educação, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2016.
- MOREIRA, M. A. A área de ensino de ciências e matemática na CAPES: em busca de qualidade e identidade. In: Nardi, R. (Org.). *A Pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil: alguns recortes*. São Paulo: Escrituras, 2007. p. 19-39.
- NARDI, R. Memórias do ensino de ciências no Brasil: a constituição da área segundo pesquisadores brasileiros, origens e avanços da pós-graduação. *Revista do IMEA UNILA*, v. 2, n. 2, p. 13-46, 2014.
- NARDI, R. A pesquisa em ensino de ciências e matemática no Brasil. *Ciência e Educação*, v. 21, n. 2, p. i-v, 2015.
- PASTORE, A. C. A reforma monetária do plano Collor. *Revista Brasileira de Economia*, v. 45, p. 157-174, 1991.
- PEDRINI, C. R. D. *A educação química no Rio Grande do Sul: os EDEQS como instância de formação, inovação e qualificação de professores*. Dissertação de Mestrado em Educação, Faculdade de Educação, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2012.
- SALEM, S. *Perfil, evolução e perspectivas da pesquisa em ensino de física no Brasil*. Tese de Doutorado em Ensino de Ciências, Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- SALEM, S. e KAWAMURA, M. R. D. Simpósios nacionais de ensino de física: uma sistematização. In: *Anais do 17º Simpósio Nacional de Ensino de Física*. São Luís-MA, 2007.
- SANTOS, A. L. F. e AZEVEDO, J. M. L. A pós-graduação no Brasil, a pesquisa em educação e os estudos sobre a política educacional: os contornos da constituição de um campo acadêmico. *Revista Brasileira de Educação*, v. 14, n. 42, p. 534-550, 2009.
- SCHNETZLER, R. P. A pesquisa em ensino de química no Brasil: conquistas e perspectivas. *Química Nova*, v. 25, n. 1, p. 14-24, 2002.
- SELBACH, A.; DANIEL, D. P.; RIBEIRO, D. C. A. e PASSOS, C. G. O método de estudos de caso na promoção da argumentação no ensino superior de química: uma revisão bibliográfica. *Química Nova na Escola*, v. 43, n. 1, p. 38-50, 2021.
- SILVA, M. R.; HAYASHI, C. R. M. e HAYASHI, M. C. P. I. Análise bibliométrica e cientométrica: desafios para especialistas que atuam no campo. *InCID: Revista de Ciência da Informação e Documentação*, v. 2, n. 1, p. 110-129, 2011.
- SILVA, O. B. *Mapeamento da pesquisa no campo da formação de professores de Química no Brasil (2000-2010)*. Tese de Doutorado em Química, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.
- SILVA, O. B. e QUEIROZ, S. L. Produção acadêmica sobre a formação de professores de química no Brasil: focos temáticos das dissertações e teses defendidas no período de 2001 a 2010. *Alexandria*, v. 10, p. 271-304, 2017.
- SILVA, O. B. e QUEIROZ, S. L. Mapeamento da pesquisa no campo da formação de professores de química no Brasil. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 21, p. 62-93, 2016.
- SLONGO, I. I. P. e DELIZOICOV, D. Um panorama da produção acadêmica em ensino de biologia desenvolvida em programas nacionais de pós-graduação. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 11, n. 3, p. 323-341, 2006.
- SOARES, M. H. F. B.; MESQUITA, N. A. S. e REZENDE, D. B. O ensino de química e os 40 anos da SBQ: o desafio do crescimento e os novos horizontes. *Química Nova*, v. 40, n. 6, p. 656-662, 2017.
- SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA (SBPC). *História: 50 anos do golpe: ditadura nunca mais!* São Paulo: SBPC, 2014.
- SOUZA, R. F.; CABRAL, P. F. O. e QUEIROZ, S. L. Experimentação no ensino de química: focos temáticos das dissertações e teses defendidas no Brasil no período de 2004 a 2013. *Alexandria*, v. 14, p. 197-223, 2021.
- TEIXEIRA, P. M. M. *Pesquisa em ensino de Biologia no Brasil: um estudo baseado em dissertações e teses*. Tese de Doutorado em Educação, Faculdade de Educação, Universidade de Campinas, Campinas, 2008.
- TEIXEIRA, P. M. M. e MEGID NETO, J. Investigando a pesquisa educacional. Um estudo enfocando dissertações e teses sobre o ensino de biologia no Brasil. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 11, n. 2, p. 261-282, 2006.
- TEIXEIRA, P. M. M. e MEGID NETO, J. Pós-graduação e pesquisa em ensino de biologia no Brasil: um estudo com base em dissertações e teses. *Ciência e Educação*, v. 17, n. 3, p. 559-578, 2011.
- VIEIRA, B. G. E.; MENDONÇA, R. B.; PASTORIZA, B. S. e SOARES, A. C. Uma revisão bibliográfica sobre a divulgação científica em eventos da área de ensino de química. *Química Nova na Escola*, v. 47, n.1, p. 61-74, 2025.

Preparação dos Manuscritos

Os trabalhos deverão ser digitados em página A4, espaço duplo, tipo Times Roman, margens 2,5, devendo ter no máximo o número de páginas especificado para a seção da revista à qual são submetidos. Na primeira página deverá conter o título do trabalho e um resumo do artigo com, no máximo, 1000 caracteres (espaços inclusos) e a indicação de três palavras-chave, seguidos de suas traduções para a linha inglesa, incluindo o título.

Não deve haver indicação dos autores no documento com o manuscrito e nenhum dado ou marcas em qualquer parte do texto que conduzam à sua identificação, durante a avaliação como, por exemplo: nome e filiação institucional; nomes de projetos e coordenadores de projetos (quando não são indispensáveis); referências e citações (utilizar “Autor1, ano”, “Autor2, ano”... para manter o anonimato); local, título ou local de defesa de mestrado ou doutorado; agradecimentos etc. Os autores devem eliminar auto-referências. As informações dos autores devem estar descritas na carta de apresentação aos editores, e esta deverá conter o título do trabalho, o(s) nome(s) do(s) autor(es), sua(s) formação(ões) acadêmica(s), a instituição em que trabalha(m) e o endereço completo, incluindo o eletrônico. Verifique as propriedades do documento para retirar quaisquer informações.

As referências citadas devem ser relacionadas ao final do texto, segundo exemplos abaixo:

- **Para livros** referência completa (citação no texto entre parênteses):

AMBROGI, A.; LISBÔA, J. C. e VERSOLATO, E. F. *Unidades modulares de química*. São Paulo: Gráfica Editora Hamburg, 1987. - (Ambrogi et al., 1987).

KOTZ, J. C. e TREICHEL Jr., P. *Química e reações químicas*, vol. 1 Trad. J. R. P. Bonapace. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. - (Kotz e Treichel Jr., 2002).

- **Para periódicos** referência completa (citação no texto entre parênteses):

TOMA, H. E. A nanotecnologia das moléculas. *Química Nova na Escola*, n. 21, p. 3-9, 2005. - (Toma, 2005).

ROSINI, F.; NASCENTES, C. C. E NÓBREGA, J. A. Experimentos didáticos envolvendo radiação microondas. *Química Nova*, v. 26, p. 1012-1015, 2004. - (Rosini et al., 2004).

- **Para páginas internet** referência completa (citação no texto entre parênteses):

<http://qnesc.sbq.org.br>, acessada em Março 2008. – (Revista Química Nova na Escola, 2008).

Para outros exemplos, consulte-se número recente da revista. Os autores devem, sempre que possível, sugerir outras leituras ou acessos a informações e reflexões a respeito dos temas abordados no texto, para serem incluídos em “Para Saber Mais”.

As legendas das figuras devem ser colocadas em página à parte, ao final, separadas das figuras. A seguir devem ser

colocadas as figuras, os gráficos, as tabelas e os quadros. No texto, apenas deve ser indicado o ponto de inserção de cada um(a).

Os autores devem procurar seguir, no possível, as normas recomendadas pela IUPAC, inclusive o Sistema Internacional de Unidades.

Política Editorial da QNEsc para Preprints

1) Aceitação de Preprints

A QNEsc aceita a submissão de manuscritos previamente depositados em servidores de *preprints*.

2) Publicação Prévia ou Simultânea

É permitida a submissão de trabalhos já publicados ou simultaneamente publicados em plataformas de *preprints*.

3) Versões Revisadas durante Avaliação

Não é autorizada a postagem de versões revisadas do manuscrito em servidores de *preprints* durante o processo de avaliação por pares.

4) Informação Obrigatória na Submissão

O uso de repositório de *preprint* deve ser informado na *Cover Letter*.

É obrigatório incluir o **link** e o **DOI** do preprint.

5) Citação do Preprint

O DOI (e link) do *preprint* deve constar na lista de **referências bibliográficas** do manuscrito submetido à QNEsc.

6) Atualização após Aceite

Em caso de aceitação do artigo pela QNEsc, o *preprint* deve ser atualizado com o **link para a versão final publicada**.

7) Responsabilidade dos Autores

Os autores devem verificar se a **licença escolhida** no servidor de *preprint* é compatível com a política de *copyright* da QNEsc.

8) Consistência de Autoria

A QNEsc alerta que, para determinados tipos de licença de *preprint*, é obrigatório que a **autoria** seja a mesma tanto no repositório quanto no artigo publicado.

Condições para Submissão dos Artigos

1) Os manuscritos submetidos não devem estar sendo analisados por outros periódicos.

2) Os autores são responsáveis pela veracidade das informações prestadas e responsáveis sobre o conteúdo dos artigos.

3) Os autores devem seguir as recomendações das Normas de Ética e Más Condutas constantes na página da revista <http://qnesc.sbq.org.br/pagina.php?idPagina=17>.

4) Os autores declaram que no caso de resultados de pesquisas relacionadas a seres humanos eles possuem parecer de aprovação de um Comitê de Ética em pesquisa.

5) No caso de envio de imagens, os autores devem enviar cópia do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

assinado pelo(s) sujeito(s) (ou seus responsáveis), autorizando o uso da imagem.

- 6) Os autores declaram a inexistência de conflito de interesses na submissão do manuscrito.
- 7) É responsabilidade dos autores garantirem que não haja elementos capazes de identificá-los em qualquer parte do texto.

Submissão dos Artigos

Química Nova na Escola oferece aos autores a submissão on line, que pode ser acessada por meio do registro de Login e Senha. É possível registrar-se em nossa página na internet (<http://qnesc.sbq.org.br>) usando a opção Novo Usuário. Usuários das plataformas do JBCS e QN já estão cadastrados na base, devendo utilizar o mesmo Login e Senha. Após estar cadastrado no sistema, o autor pode facilmente seguir as instruções fornecidas na tela. Será solicitada a submissão de um único arquivo do manuscrito completo, em formato PDF. Está disponível uma ferramenta para gerar o arquivo .pdf, a partir de arquivo .doc ou .rtf, com envio automático para o endereço eletrônico do autor. Tão logo seja completada a submissão, o sistema informará automaticamente, por correio eletrônico, o código temporário de referência do manuscrito, até que este seja verificado pela editoria. Então será enviada mensagem com o número de referência do trabalho.

Se a mensagem com código temporário de submissão não for recebida, por algum motivo, a submissão não foi completada e o autor terá prazo máximo de 5 (cinco) dias para completá-la. Depois desse prazo, o sistema não permite o envio, devendo ser feita nova submissão.

O autor poderá acompanhar, diretamente pelo sistema, a situação de seu manuscrito.

Ao fazer a submissão, solicita-se uma carta de apresentação, indicando a seção na qual o artigo se enquadra, que deverá ser digitada no local indicado, sendo obrigatória a apresentação dos endereços eletrônicos de todos os autores.

Manuscritos revisados

Manuscritos enviados aos autores para revisão devem retornar à Editoria dentro do prazo de 30 dias ou serão considerados como retirados.

A editoria de Química Nova na Escola reserva-se o direito de efetuar, quando necessário, pequenas alterações nos manuscritos aceitos, de modo a adequá-los às normas da revista e da IUPAC, bem como tornar o estilo mais claro - respeitando, naturalmente, o conteúdo do trabalho. Sempre que possível, provas são enviadas aos autores, antes da publicação final do artigo.

Todos os textos submetidos são avaliados no processo de duplo-cego por ao menos dois assessores. Os Editores se reservam o direito de julgar e decidir sobre argumentos divergentes durante o processo editorial.

Seções / Linha Editorial

Química Nova na Escola (Impresso)

Serão considerados, para publicação na revista Química Nova na Escola (impresso), artigos originais (em Português) que focalizem a área de ensino de Química nos níveis fundamental, médio ou superior, bem como artigos de História da Química, de pesquisa em ensino e de atualização científica que possam contribuir para o aprimoramento do trabalho docente e para o aprofundamento das discussões da área.

Química Nova na Escola (On-line)

Serão considerados, para publicação na revista Química Nova na Escola (on-line), além dos artigos com o perfil da revista impressa, artigos inéditos (empíricos, de revisão ou teóricos) em Português, Espanhol ou Inglês que apresentem profundidade teórico-metodológica, gerem conhecimentos novos para a área e contribuições para o avanço da pesquisa em Ensino de Química. Estes artigos deverão atender aos critérios da seção "Cadernos de Pesquisa".

Os artigos são aceitos para publicação nas seguintes seções:

● QUÍMICA E SOCIEDADE

Responsável: Roberto Ribeiro da Silva (UnB)

Aspectos importantes da interface química/sociedade, procurando analisar as maneiras como o conhecimento químico pode ser usado - bem como as limitações de seu uso - na solução de problemas sociais, visando a uma educação para a cidadania. Deve-se abordar os principais aspectos químicos relacionados à temática e evidenciar as principais dificuldades e alternativas para o seu ensino.

Limite de páginas: 20

● EDUCAÇÃO EM QUÍMICA E MULTIMÍDIA

Responsável: Bruno Silva Leite (UFRPE)

Visa a aproximar o leitor das aplicações das tecnologias da informação e comunicação no contexto do ensino-aprendizado de Química, publicando resenhas de produtos e artigos/notas teóricos e técnicos. Deve-se explicitar contribuições para o processo de ensino-aprendizagem.

Limite de páginas: 15

● ESPAÇO ABERTO

Responsável: Luciana Massi (Unesp)

Divulgação de temas que igualmente se situam dentro da área de interesse dos educadores em Química, de forma a incorporar a diversidade temática existente hoje na pesquisa e na prática pedagógica da área de ensino de Química, bem como desenvolver a interface com a pesquisa educacional mais geral. Deve-se explicitar contribuições para o processo de ensino-aprendizagem.

Limite de páginas: 20

● **CONCEITOS CIENTÍFICOS EM DESTAQUE**

Responsável: Marcia Borin da Cunha (UNIOESTE)

Discussão de conceitos básicos da Química, procurando evidenciar sua relação com a estrutura conceitual da Ciência, seu desenvolvimento histórico e/ou as principais dificuldades e alternativas para o ensino.

Limite de páginas: 20

● **HISTÓRIA DA QUÍMICA**

Responsável: Paulo Porto (USP)

Esta seção contempla a História da Química como parte da História da Ciência, buscando ressaltar como o conhecimento científico é construído. Deve-se apresentar dados históricos, preferencialmente, de fontes primárias e explicitar o contexto sociocultural do processo de construção histórica.

Limite de páginas: 15

● **ATUALIDADES EM QUÍMICA**

Responsável: Edvaldo Sabadini (Unicamp)

Procura apresentar assuntos que mostrem como a Química é uma ciência viva, seja com relação a novas descobertas, seja no que diz respeito à sempre necessária redefinição de conceitos. Deve-se explicitar contribuições para o ensino da Química.

Limite de páginas: 15

● **RELATOS DE SALA DE AULA**

Responsável: Nyuara Araújo da Silva Mesquita (UFG)

Divulgação das experiências dos professores de Química, com o propósito de socializá-las junto à comunidade que faz educação por meio da Química, bem como refletir sobre elas. Deve-se explicitar contribuições da experiência vivenciada e indicadores dos resultados obtidos.

Limite de páginas: 20

● **ENSINO DE QUÍMICA EM FOCO**

Responsável: Rafael Cava Mori (UFABC)

Investigações sobre problemas no ensino da Química, explicitando os fundamentos teóricos, o problema, as questões ou hipóteses de investigação e procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, bem como analisando criticamente seus resultados.

Limite de páginas: 25

● **O ALUNO EM FOCO**

Responsável: Edênia Maria Ribeiro do Amaral (UFRPE)

Divulgação dos resultados das pesquisas sobre concepções de alunos e alunas, sugerindo formas de lidar com elas no

processo ensino-aprendizagem, explicitando os fundamentos teóricos, o problema, as questões ou hipóteses de investigação e procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, bem como analisando criticamente seus resultados.

Limite de páginas: 25

● **EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA**

Responsável: Mara Elisa Fortes Braibante (UFMS)

Divulgação de experimentos que contribuam para o tratamento de conceitos químicos no Ensino Médio e Fundamental e que utilizem materiais de fácil aquisição, permitindo sua realização em qualquer das diversas condições das escolas brasileiras. Deve-se explicitar contribuições do experimento para a aprendizagem de conceitos químicos e apresentar recomendações de segurança e de redução na produção de resíduos, sempre que for recomendável.

Limite de páginas: 10

● **CADERNOS DE PESQUISA**

Responsável: Ana Luiza de Quadros (UFMG)

Esta seção é um espaço dedicado exclusivamente para artigos inéditos (empíricos, de revisão ou teóricos) que apresentem profundidade teórico-metodológica, gerem conhecimentos novos para a área e contribuições para o avanço da pesquisa em Ensino de Química. Os artigos empíricos deverão conter revisão consistente de literatura nacional e internacional, explicitação clara e contextualização das questões de pesquisa, detalhamento e discussão dos procedimentos metodológicos, apresentação de resultados e com conclusões que explicitem contribuições, implicações e limitações para área de pesquisa em Ensino de Química. Os artigos de revisão deverão introduzir novidades em um campo de conhecimento específico de pesquisa em Ensino de Química, em um período de tempo não inferior a dez anos, abrangendo os principais periódicos nacionais e internacionais e apresentando profundidade na análise crítica da literatura, bem como rigor acadêmico nas argumentações desenvolvidas. Os artigos teóricos deverão envolver referenciais ainda não amplamente difundidos na área e trazer conclusões e implicações para a pesquisa e a prática educativa no campo do Ensino de Química, apresentando profundidade teórica, bem como rigor acadêmico nas argumentações desenvolvidas. Para esta seção, o resumo do artigo deverá conter de 1000 a 2000 caracteres (espaços inclusos), explicitando com clareza o objetivo do trabalho e informações sobre os tópicos requeridos para o tipo de artigo. Poderão ser indicadas até seis palavras-chaves.

Limite de páginas: 30 a 40.