

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
INSTITUTO DE QUÍMICA DE ARARAQUARA

Gabriella Oliveira Hernandez

ELETROQUÍMICA NO ENSINO SUPERIOR: QUAIS AS REFERÊNCIAS? DISCUSSÃO
DOS CONCEITOS DE ELETROQUÍMICA E LEVANTAMENTO DOS PRINCIPAIS LIVROS
RECOMENDADOS NOS CURSOS DE QUÍMICA DAS UNIVERSIDADES PÚBLICAS DO
BRASIL

Araraquara
2024

GABRIELLA OLIVEIRA HERNANDEZ

ELETROQUÍMICA NO ENSINO SUPERIOR: QUAIS AS REFERÊNCIAS? DISCUSSÃO
DOS CONCEITOS DE ELETROQUÍMICA E LEVANTAMENTO DOS PRINCIPAIS LIVROS
RECOMENDADOS NOS CURSOS DE QUÍMICA DAS UNIVERSIDADES PÚBLICAS DO
BRASIL

Dissertação apresentada ao Instituto de Química,
Universidade Estadual Paulista, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Mestre em
Química.

Orientador: Denis Ricardo Martins de Godoi
Coorientador: Vagner Antonio Moralles

Araraquara
2024

H557e Hernandez, Gabriella Oliveira

Eletroquímica no ensino superior : quais as referências? Discussão dos conceitos de eletroquímica e levantamento dos principais livros recomendados nos cursos de Química das universidades públicas do Brasil / Gabriella Oliveira Hernandez. -- Araraquara, 2024

104 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Química, Araraquara

Orientador: Denis Ricardo Martins de Godoi

Coorientador: Vagner Antonio Moralles

1. Eletroquímica. 2. Checklist. 3. Levantamentos. 4. Química - Estudo e ensino. 5. Livros Didáticos. I. Título.

Impacto Potencial desta Pesquisa

Esse trabalho visou disponibilizar ao professor e ao aluno um instrumento para ser utilizado na análise de livros didáticos do ensino superior, com a finalidade de contribuir com o processo de ensino e aprendizagem dos conceitos que envolvem eletroquímica.

O objetivo desta pesquisa foi ao encontro ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas, pois teve como intenção promover uma educação de qualidade, considerando que não há um programa nacional que analise a qualidade dos livros utilizados no ensino superior.

Potential Impact of this Research

This work aimed to provide teachers and students with an instrument to be used in the analysis of higher education textbooks, with the purpose of contributing to the teaching and learning process of concepts involving electrochemistry.

The objective of this research was in line with the Sustainable Development Goal of the 2030 Agenda of the United Nations, as it was intended to promote quality education, considering that not a national program that analyzes the quality of books used in higher education.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: "ELETROQUÍMICA NO ENSINO SUPERIOR: QUAIS AS REFERÊNCIAS? DISCUSSÃO DOS CONCEITOS DE ELETROQUÍMICA E LEVANTAMENTO DOS PRINCIPAIS LIVROS RECOMENDADOS NOS CURSOS DE QUÍMICA DAS UNIVERSIDADES PÚBLICAS DO BRASIL"

AUTORA: GABRIELLA OLIVEIRA HERNANDEZ

ORIENTADOR: DENIS RICARDO MARTINS DE GODOI

COORIENTADOR: VAGNER ANTONIO MORALLES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Química, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. DENIS RICARDO MARTINS DE GODOI (Participação Virtual)
Departamento de Química Analítica, Físico-Química e Inorgânica / Instituto de Química - Unesp/Câmpus de Araraquara

Profa. Dra. PATRICIA HATSUE SUEGAMA (Participação Virtual)
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas - UFGD - Dourados

Dra. LUCIANA NATALIA CIVIDATTI BRAGUETE (Participação Virtual)
Departamento de Química / Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP - Catanduva - SP

Araraquara, 06 de setembro de 2024

DADOS CURRICULARES

IDENTIFICAÇÃO

Nome: Gabriella Oliveira Hernandez

Nome em citação: HERNANDEZ, G. O.

FORMAÇÃO ACADÊMICA/TITULAÇÃO

Licenciada em Química pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Química de Araraquara.

ATIVIDADES ACADÊMICAS RELEVANTES

HERNANDEZ, G. O.; GODOI, D. R. M.; MORALLES, V. A. Eletroquímica no ensino superior: quais as referências? Identificação dos principais livros recomendados nos cursos de química das universidades públicas do Brasil. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ELETROQUÍMICA E ELETROANALÍTICA (SIBEE)*, 2023, Porto Alegre. **Anais...** Lajeado: Editora Univates, 2024, p. 274.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, pelo apoio, carinho e paciência infinita.

Dedico especialmente ao Vagner, por toda paciência, compreensão, companheirismo e por acreditar em mim até nas vezes em que eu não acreditava.

Dedico ao Denis, pela compreensão, conselhos de vida e por me apoiar em todos os sentidos.

Eu não poderia ter tido uma orientação melhor, e mais paciente, do que tive nesse trabalho. Minha admiração por esses dois professores sempre foi e sempre será imensa.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos iniciais vão para a UNESP (Universidade Estadual Paulista) e ao Instituto de Química de Araraquara, por terem me proporcionado um ensino de qualidade e gratuito. Um agradecimento especial ao *LEEN (Laboratory of Environmental Electrochemistry and Nanotechnology)*, o qual teve contribuição fundamental nos conhecimentos eletroquímicos abordados neste trabalho.

Meu muito obrigada ao Prof. Dr. Denis Ricardo Martins de Godoi, pela paciência, ensinamentos e conversas durante o trabalho. Ele mudou minha visão sobre a físico-química, especialmente sobre a Eletroquímica. Além de ser uma pessoa muito inteligente, é compreensivo e tem uma forma de trabalhar muito acolhedora com todo o grupo de pesquisa.

Este trabalho não teria acontecido sem o Dr. Vagner Antonio Moralles. Ele foi um fator decisivo para a escolha do tema e a razão para esse trabalho ser finalizado. Obrigada por não ter me deixado desistir.

Gostaria de agradecer à minha banca de qualificação, Prof. Dr. Amadeu Moura Bego e Prof. Dr. Leonardo Luiz Okumura, pelas contribuições que foram fundamentais para o desenvolvimento do trabalho. E para finalizar, um agradecimento especial à minha banca de defesa. À Profa. Dra. Patricia Suegama e à Profa. Luciana Cividatti, por aceitarem o convite para estar presente neste dia tão importante para mim.

“Devemos manter a nossa certeza de que depois dos dias
ruins, os bons virão novamente”
Marie Skolodowska-Curie

RESUMO

A eletroquímica está muito presente em nosso dia a dia devido à grande difusão de dispositivos que exigem a utilização de pilhas e baterias, como celulares, relógios digitais, meios de transporte elétricos, computadores, entre outros. No entanto, é muito corriqueiro, no dia a dia de sala de aula, ouvir professores e alunos reclamarem da dificuldade do entendimento dos conteúdos relacionados aos conceitos de eletroquímica. Investigações da literatura, que se debruçaram a estudar o processo de ensino e aprendizagem dessa área da química, supõe que as origens dessas dificuldades podem estar relacionadas ao alto grau de abstração desses conteúdos; a necessidade de interrelacionar várias áreas do conhecimento; o exagerado foco em aspectos quantitativos; erros conceituais, concepções alternativas e obstáculos epistemológicos presente nas falas dos professores e no próprio livro didático. Mais alarmante ainda, é que alguns estudos apontam que mesmo em livros direcionados para o ensino superior, esses erros são frequentes. Dentre esses múltiplos fatores para as dificuldades no processo de ensino e aprendizagem de eletroquímica, essa pesquisa se baseou sobre o problema do livro didático do ensino superior, uma vez que, não existe um programa governamental para analisar e recomendar os livros a serem utilizados em cursos de química ou áreas afins. A proposta foi desenvolver um *checklist* que permita que professores analisem os livros que vão utilizar e encontrem o melhor material ou uma composição de materiais para esse conteúdo. Outro ponto orientador deste trabalho foi desenvolver um mapeamento dos principais livros utilizados em cursos do ensino superior de química, para ensinar eletroquímica. Esse mapeamento pode auxiliar os professores a selecionarem os livros nos quais o *checklist* será operacionalizado, possibilitando verificar se os livros mais indicados abrangem os conceitos necessários para o aprendizado dos conceitos de eletroquímica. Para cumprir os objetivos deste trabalho foi escolhido o método misto de pesquisa, com vista a analisar os dados tanto de um viés qualitativo, quanto quantitativo. Como fontes de informação foram utilizados documentos e sujeitos. Os documentos foram os projetos político-pedagógicos, as ementas e planos das disciplinas dos cursos de química das universidades públicas do Brasil. Já os sujeitos foram seis professores do ensino superior que se portaram como juízes para validar o *checklist* proposto. Dentre esses estão três professores especialistas da área de ensino de química e três especialistas da área de eletroquímica. O mapeamento revelou que no ensino de eletroquímica em nível superior são utilizados livros de físico-química, química geral, química analítica, química inorgânica, química ambiental, entre outros. Como perspectivas para essa pesquisa estão a operacionalização do *checklist* nos livros mais utilizados no ensino superior para trabalhar a eletroquímica. Ademais, pretende-se desenvolver outros *checklist* para abordar outras temáticas da química.

Palavras-chave: Eletroquímica; Checklist; Mapeamento; Ensino de Química; Livros Didáticos.

ABSTRACT

Electrochemistry is very present in our daily lives due to the widespread use of devices that require the use of batteries, such as cell phones, digital watches, electric transportation, computers, among others. However, it is very common in the classroom to hear teachers and students complain about the difficulty in understanding content related to electrochemistry concepts. Research in the literature, which has focused on studying the teaching and learning process in this area of chemistry, suggests that the origins of these difficulties may be related to the high degree of abstraction of these contents; the need to interrelate various areas of knowledge; the exaggerated focus on quantitative aspects; conceptual errors, alternative conceptions and epistemological obstacles present in the speeches of teachers and in the textbooks themselves. Even more alarming is that some studies indicate that even in books aimed at higher education, these errors are frequent. Among these multiple factors that contribute to difficulties in the teaching and learning process of electrochemistry, this research was based on the problem of higher education textbooks, since there is no government program to analyze and recommend books to be used in chemistry courses or related areas. The proposal was to develop a checklist that allows teachers to analyze the books they will use and find the best material or a composition of materials for this content. Another guiding point of this work was to develop a map of the main books used in higher education chemistry courses to teach electrochemistry. This map can help teachers select the books in which the checklist will be operationalized, making it possible to verify whether the most recommended books cover the concepts necessary for learning the concepts of electrochemistry. To achieve the objectives of this work, the mixed research method was chosen, with a view to analyzing the data from both a qualitative and quantitative perspective. Documents and subjects were used as sources of information. The documents were the political-pedagogical projects, the syllabuses and plans of the disciplines of chemistry courses at public universities in Brazil. The subjects were six higher education professors who acted as judges to validate the proposed checklist. Among these are three professors who are experts in the area of chemistry teaching and three who are experts in the area of electrochemistry. The mapping revealed that in the teaching of electrochemistry at the higher education level, books on physical chemistry, general chemistry, analytical chemistry, inorganic chemistry, environmental chemistry, among others, are used. The perspectives for this research are the operationalization of the checklist in the books most used in higher education to work on electrochemistry. Furthermore, it is intended to develop other checklists to address other chemistry topics.

Keywords: Electrochemistry; Checklist; Mapping; Teaching Chemistry; Textbooks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação de uma célula eletrolítica em equilíbrio.	25
Figura 2. Representação de uma célula eletrolítica em funcionamento no modo galvânico.	27
Figura 3. Representação de uma célula eletrolítica em funcionamento no modo eletrolítico.	28
Figura 4. Imagem da plataforma e-Mec.	49
Figura 5. Critérios de exclusão utilizados.	59
Figura 6. Livros mais indicados.	60
Figura 7. Livros de físico-química com maior recorrência.	61
Figura 8. Livros de química geral com maior recorrência.	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Extratos de concepções alternativas na área de eletroquímica (EM: Ensino Médio / ES: Ensino Superior).	34
Quadro 2. Pré-requisitos fundamentais para a compreensão da Eletroquímica.	51
Quadro 3. Contextualização histórica da Eletroquímica.	52
Quadro 4. Conceitos Fundamentais da Química Geral para a Eletroquímica.	52
Quadro 5. Relação da Eletroquímica com a Eletricidade e a Termodinâmica Química.	53
Quadro 6. Conceitos relacionados às Células Eletroquímicas	54
Quadro 7. Problemas relacionados às ilustrações e esquemas	56
Quadro 8. Obstáculos epistemológicos e concepções alternativas.....	57
Quadro 9. <i>Checklist</i> reformulado para os conceitos da área de Eletroquímica.	70
Quadro 10. Universidades, cursos e disciplinas obtidos por meio da plataforma e-MEC e os projetos políticos-pedagógicos dos cursos, ementas e grades curriculares.	78
Quadro 11. Livros utilizados para trabalhar os conteúdos de eletroquímica e recorrência.	94
Quadro 12. DECA (Dificuldade, Equívoco e Concepção Alternativa).....	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC – Base Nacional Comum Curricular

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

ddp - Diferença de potencial

DEQ – Divisão de Eletroquímica e Eletroanalítica

IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry

MEC - Ministério da Educação

Nox - Número de oxidação

PNLD - Programa Nacional do Livro e do Material Didático

PNLEM - Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio

Redox - Reação de óxido-redução

SBQ – Sociedade Brasileira de Química

SBEE – Sociedade Brasileira de Eletroquímica e Eletroanalítica

SIBEE – Simpósio Brasileiro de Eletroquímica e Eletroanalítica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 APORTES TEÓRICOS	17
2.1 BREVE INTRODUÇÃO DOS ASPECTOS FUNDAMENTAIS DA HISTÓRIA DA ELETROQUÍMICA SEGUNDO A LITERATURA.....	17
2.3 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE ELETROQUÍMICA	22
2. 2 PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM DE ELETROQUÍMICA.....	29
2.3 CONSEQUÊNCIAS PARA O PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM	41
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	43
3.1 JUSTIFICATIVA, PROBLEMA E QUESTÕES DE PESQUISA.....	43
3.2 NATUREZA DA PESQUISA	44
3.3 FONTES DE INFORMAÇÃO.....	45
3.4 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DOS DADOS	46
3.5 VALIDAÇÃO DO INSTRUMENTO.....	47
3.6 LEVANTAMENTO DOS DADOS	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1 RECONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DO <i>CHECKLIST</i>	50
4.2 LEVANTAMENTO DOS LIVROS QUE ABORDAM CONTEÚDOS DE FÍSICO-QUÍMICA MAIS UTILIZADOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR.....	58
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIAS.....	65
APÊNDICE A – <i>CHECKLIST</i> PROPOSTO.....	70
APÊNCIDE B – UNIVERSIDADES RETORNADAS SEGUNDO OS FILTROS UTILIZADOS NA PLATAFORMA E-MEC	78
APÊNCIDE C - LIVROS INDICADOS NAS EMENTAS DE DISCIPLINAS TEÓRICAS QUE ABORDAM ELETROQUÍMICA	94
ANEXO A- DECA.....	103

1 INTRODUÇÃO

É comum, no dia a dia de salas de aulas de química, ouvir alunos e professores reclamarem sobre as dificuldades de entender conteúdos de eletroquímica. Nesse ponto se expõe uma característica intrínseca do próprio conhecimento químico, que é a necessidade de um alto grau de abstração e imaginação (BARRETO, 2020; SILVA *et al.*, 2016; CAMEL; PACCA, 2011; SANJUAN *et al.*, 2009; OGUDE; BRADLEY, 1996; SANTOS *et al.*, 2018).

Em um levantamento na literatura especializada relacionado à visão de quais são os focos de interesse da química, como área de pesquisa, frequentemente são encontradas concepções semelhantes com o recorte a seguir (CHRISPINO, 1998, p. 7):

A química é a ciência que estuda a transformação da matéria, a energia consumida ou produzida nesta transformação, bem como a estrutura da matéria.

Sinteticamente, o conhecimento químico se desenvolve em um tripé que interrelaciona propriedades, constituição e transformações da matéria, tendo com eixo orientador as substâncias e os materiais (LEAL, 2009). A proposta majoritariamente reconhecida, na área de ensino de química, para trabalhar essa elevada complexidade do conhecimento químico é desenvolver uma abordagem que interrelacione três grandes aspectos do conhecimento químicos, a se citar: *I*) o fenomenológico: toda informação, direta ou indireta, que pode ser obtida do fenômeno de interesse, a partir dos sentidos humanos ou de instrumentos de medida (macroscópico); *II*) o simbólico: a linguagem própria da química, que envolve representação próprias e simbologias; *III*) o teórico: o conhecimento químico propriamente dito, historicamente desenvolvido e validado. É uma interpretação dos fenômenos macroscópicos que se desenvolve, na maioria das vezes, em nível submicroscópico (MORTIMER; MACHADO; ROMANELLI, 2000).

Esse último aspecto do conhecimento químico, o teórico, que causa grandes dificuldades no processo de ensino e aprendizagem de química, pois exige trabalhar em uma dimensão da matéria que não pode ser acessada diretamente, os níveis atômico ou subatômico. Para trabalhar nesses níveis é necessário um alto grau de abstração e imaginação, pois esse é interpretado, essencialmente, por meio de modelos. O ensino de química apresenta algumas respostas parciais para essa

dificuldade, que é trabalhar com analogias, modelagens, entre outras estratégias (SILVA; DANTAS; FARIAS, 2017).

Além dessa dificuldade própria do conhecimento químico, autores que estudam o ensino de conteúdos de físico-química e eletroquímica apontam como principais dificuldades para o processo de ensino e aprendizagem: *I)* o entendimento dos conteúdos de eletroquímica exige uma série de outros conceitos que antecedem o estudo desse ramo, como: átomos, elétrons, íons, cátions, ânions, corrente elétrica, entre outros; *II)* requer a compreensão de outras áreas do conhecimento, como a física e a matemática; *III)* muitas vezes, as aulas são construídas com um foco exagerado em processos quantitativos; *IV)* utilização de termos próprios da área de forma inadequada pelos professores; *V)* a presença de concepções alternativas e obstáculos epistemológicos na fala do próprio professor e nos livros didáticos; *VI)* o fato de, na grande maioria das vezes, o conhecimento ser tratado de forma ahistórica e de crescimento linear. Ou seja, a construção do conhecimento sobre eletroquímica é trabalhada sem discutir as dificuldades e as teorias que foram abandonadas e/ou modificadas até se alcançar o atual entendimento químico vigente. Ademais, pouco se fala sobre pesquisas que foram essenciais e basilares para o desenvolvimento das teorias aceitas mais conhecidas (WHARTA; REZENDE, 2011; BARKE *et al*, 2009; SANGER; GREENBOWE, 1999; SILVERSTEIN, 2011; FERREIRA; GONÇALVES; SALGADO, 2021; MORTIMER; AMARAL, 1998).

Como pode ser visto no parágrafo acima, as dificuldades associadas ao processo de ensino e aprendizagem de conteúdos de físico-química não apresentam um foco único, sendo um processo multifocal, complexo e orgânico. Tentar estudar todas essas variáveis associadas pode exigir uma grande equipe de trabalho e um período de tempo excessivamente longo. Uma alternativa para viabilizar esse estudo é particionar o problema em grandes blocos e, posteriormente, articulá-los em busca de inferências consistentes e fundamentadas. Dentro desses blocos analíticos, esse trabalho se propôs a analisar especificamente o ensino de eletroquímica e focar nas problemáticas associadas ao livro didático, particularmente, a livros utilizados no ensino superior, que não apresentam nenhum mecanismo de controle em nível de política de Estado.

A eletroquímica, entendida como componente da química que tem como função estudar as interrelações entre a eletricidade e as reações químicas, com foco tanto em processos espontâneos e não-espontâneos, foi selecionada como base

dessa pesquisa, por ser uma área muito visada pelo atual desenvolvimento tecnológico. Cada dia mais, dispositivos que fazem uso de pilhas e baterias (recarregáveis ou não) vem ganhando grande destaque e difusão no meio social, a se citar: *notebooks*, celulares, relógios, agendas eletrônicas, carros elétricos, entre outros (BROWN *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2018). Entender esses dispositivos e se posicionar criticamente na sociedade frente ao seu uso e produção exige, essencialmente, o conhecimento sobre conceitos básicos da eletroquímica, principalmente, o funcionamento de células galvânicas e eletrolíticas.

Dessa forma, essa pesquisa teve o intuito principal de refinar um instrumento, que pode ser utilizado de forma autônoma tanto pelo docente quanto pelo discente, para avaliar os livros de eletroquímica de nível superior, em busca de escolher o melhor material que permita dirimir as principais dificuldades e problemas encontrados no ensino e/ou aprendizado dessa área do conhecimento.

O instrumento refinado nesse trabalho, chamado de *checklist*, foi reformulado em quadros que organizam, de forma didática, os principais pontos que devem ser avaliados antes de selecionar um livro para estudo: quadro 1 - pré-requisitos fundamentais para a compreensão da eletroquímica; quadro 2 - contextualização histórica da eletroquímica; quadro 3 - conceitos fundamentais de química geral para a eletroquímica; quadro 4 - relação da eletroquímica com a eletricidade e a termodinâmica química; quadro 5 - conceitos relacionados às células eletroquímicas; quadro 6 - problemas relacionados às ilustrações e esquemas; quadro 7 - obstáculos epistemológicos e concepções alternativas.

Para a reconstrução do *checklist* foi desenvolvido, inicialmente, um aprofundamento teórico tanto em relação aos conteúdos de eletroquímica, como ao ensino de eletroquímica. Esse estudo é apresentado nos aportes teóricos e também tem a função de servir de fonte de consulta e, devido a isso, os tópicos foram apresentados de forma minuciosa, sendo utilizadas um grande número de fontes de informação. Todo o conteúdo dessa seção foi avaliado por dois especialistas da área, um de eletroquímica e outro de ensino de química.

Para que o instrumento proposto apresente validade e consistência para a área do conhecimento, além de ser avaliado pela pesquisadora, pelo orientador e coorientador, o mesmo foi submetido a uma análise de especialistas das áreas, com propósito de refinamento e validação. Os especialistas, três da área de eletroquímica e três da área de ensino de química, verificaram a pertinência e correção das

assertivas de cada quadro. Ademais, os especialistas propuseram cortes, acréscimos e reestruturações no instrumento.

Ademais todo processo de reconstrução do *checklist*, com o propósito de instrumentalizar o docente ou discente em suas escolhas, foi desenvolvida uma pesquisa documental para explicitar quais são os principais livros utilizados para trabalhar os conteúdos de eletroquímica no ensino superior nas instituições públicas brasileiras. Como critérios de inclusão, foram selecionadas instituições que apresentam cursos de química, na modalidade presencial, e que estavam cadastradas no Ministério da Educação no ano de 2024.

A importância dessa pesquisa, portanto, está na possibilidade de apresentar um rol dos livros mais utilizados em cursos de ensino superior, para, a partir desses, o docente ou discente operar o *checklist*, selecionando o melhor livro ou uma composição de livros que podem ser utilizados no seu planejamento e que contribuam para dirimir as principais problemáticas associadas ao ensino e aprendizado de eletroquímica. O fato do *checklist* apresentar a versatilidade de ser utilizado em quadros distintos, permite que o usuário faça suas escolhas fundamentadas nas especificidades que o mesmo necessitar no momento.

A execução de toda proposta ocorreu por meio de uma pesquisa enquadrada na perspectiva mista, ou seja, em uma interrelação orgânica e complexa entre métodos quali e quantitativos de pesquisa.

Nas próximas seções estão descritos todo o percurso de pesquisa, relatado de forma resumida, nessa introdução.

2 APORTES TEÓRICOS

2.1 Breve introdução dos aspectos fundamentais da história da eletroquímica segundo a literatura.

Para compreender os eventos relacionados ao desenvolvimento histórico da eletroquímica é necessário, primeiro, investigar como o conhecimento sobre a eletricidade evoluiu ao longo dos anos. A proposta foi traçar uma linha histórica que tem início desde perspectivas filosóficas até o atual conhecimento científico consensual da área.

Séculos antes da descoberta da eletricidade, o filósofo pré-socrático Tales de Mileto (636 - 546 a.C.) descreveu a atração que o âmbar¹ exercia sobre materiais, como o papel e a cortiça, após ser atritado com a lã. Somente no século XVI, William Gilbert (1540 - 1603) identificou que materiais compostos por uma matriz vítrea e enxofre apresentavam comportamento semelhante ao âmbar quando atritados (OKI, 2000).

Estudos sobre a eletricidade foram impulsionados no século XVII, com a construção das máquinas eletrostáticas desenvolvidas por Otto von Guericke (1602 - 1686). Uma versão modificada da máquina eletrostática de Guericke foi desenvolvida no início do século XVIII por Francis Hauksbee (1660-1713) que, em 1705, construiu uma máquina eletrostática capaz de gerar grandes fagulhas elétricas. Esta versão ficou conhecida como máquina de Hauksbee e foi utilizada em experimentos por Stephen Gray (1666 - 1736) em 1729 (SOUZA FILHO; BOSS; CALUZI, 2007).

Gray realizou experimentos com pessoas demonstrando que corpos eletrizados atraíam outros materiais, como papel ou penas. Por meio das observações realizadas, o cientista classificou os materiais em condutores e não-condutores. Contudo, Gray não conseguia armazenar a eletricidade gerada (SANTOS, 2015).

Ainda no século XVIII surgiu a proposta do físico Charles Dufay (1692 - 1739) de que a eletricidade poderia ser resinosa ou vítrea, sendo que objetos portadores da mesma eletricidade teriam a propriedade de se repelir (resinosa-resinosa ou vítrea-vítrea), enquanto objetos com eletricidades diferentes teriam a propriedade de se atrair (resinosa-vítrea). Em 1746, durante um experimento, Pieter van Musschenbroek (1692 - 1761) conseguiu armazenar as cargas elétricas em um recipiente, que recebeu o nome de Garrafa de Leyden, em homenagem a uma cidade da província da Holanda do Sul, na qual Musschenbroek fez sua descoberta. Na literatura, a Garrafa de Leyden é considerada a precursora do capacitor moderno (OKI, 2000). No final do século XVIII, a rivalidade entre Luigi Galvani (1737 - 1798) e Alessandro Volta (1745 - 1827) foi determinante para o desenvolvimento sobre a teoria da eletricidade. Galvani era conservador e tinha interesse no uso da eletricidade para tratamentos de saúde. Defendia que o corpo era movido por uma chamada “eletricidade animal” (OKI, 2000).

Ele percebeu que ao encostar no nervo da perna do sapo um fio de cobre ligado a uma máquina de Hauskbee, ela se mexia. Esse fenômeno era explicado como

¹ Uma resina de árvore fossilizada, muito utilizada para produzir joias.

uma energia chamada de “eletricidade animal”, que seria inerente aos seres vivos (OKI, 2000).

Já Alessandro Volta era a favor do pensamento racional e da busca do conhecimento por meio da ciência. Para ele, o experimento com o sapo poderia ser explicado por meio do entendimento da eletricidade produzida artificialmente, oriunda da máquina de Hauksbee (OKI, 2000).

Para confrontar as ideias de Galvani, Volta construiu uma pilha com placas de diferentes metais empilhadas e intercaladas com papéis embebidos com soluções aquosas ácidas. A construção da pilha demonstrou que era possível gerar eletricidade de forma contínua e sem a presença de um animal, constituindo assim as primeiras concepções sobre corrente elétrica (OKI, 2000).

Os resultados obtidos por Volta estimularam vários pesquisadores a desenvolver novos experimentos com a eletricidade oriunda da pilha. Ao testar o efeito da eletricidade sobre a água, Anthony Carlisle (1768 - 1840) e William Nicholson (1753 - 1815) verificaram que um fluxo constante de carga elétrica decompunha a água em oxigênio e hidrogênio gasoso (TOLENTINO; ROCHA-FILHO, 2000).

A descoberta da eletricidade contínua possibilitou o aperfeiçoamento da eletrólise e o desenvolvimento de algumas áreas da química e da física. Como forma de homenagear Volta por sua descoberta, seu nome foi atribuído à uma unidade de medida física, o Volt, utilizado para mensurar tensão e potencial elétrico (SANTOS, 2019).

Inspirado na pilha criada por Volta, Humphry Davy² (1778 - 1829) desenvolveu um equipamento para gerar eletricidade em grandes quantidades, composto por pilhas de ácidos e metais. O equipamento foi o maior já criado, com cerca de oitocentas pilhas voltaicas em série, capaz de gerar uma descarga elétrica contínua e de brilho intenso (SANTOS, 2019).

Por volta de 1820, Michael Faraday (1791 - 1867), assistente de Humphry Davy, produziu a indução da corrente elétrica por meio da rotação contínua de ímãs em torno de fios condutores (FARADAY, 2003). Este experimento é considerado o primeiro da história a converter corrente elétrica em movimento contínuo, isto é, o primeiro protótipo do motor elétrico.

² Davy foi responsável, também, por isolar diversos metais, entre eles potássio, bário, magnésio, sódio e cálcio (DOS SANTOS, 2019).

Entre os séculos *XVII* e *XIX* acreditava-se que existiam vários tipos de eletricidade, como por exemplo: *I*) comum, proveniente da máquina eletrostática; *II*) animal, oriunda dos músculos dos animais; *III*) voltaica, proveniente da pilha de Volta; *IV*) magnética, gerada por uma máquina de imãs. Desconfiado de que os tipos de eletricidade tratavam da mesma coisa, Faraday propôs uma série de experimentos, para demonstrar que a eletricidade era a mesma independente da fonte (SANTOS; PORTO; KIOURANIS, 2020).

A pesquisa mais importante de Faraday para a eletroquímica deu origem à Primeira e à Segunda Lei de Faraday, também chamadas de Leis da Eletrólise. Por meio de experimentos envolvendo a eletrodecomposição, Faraday propôs que, durante o processo de eletrólise, a massa de uma substância liberada por um eletrodo é diretamente proporcional à quantidade de eletricidade que passa na célula eletrolítica, originando a Primeira Lei da Eletrólise (PILLA, 2010).

Faraday observou, também, que a quantidade de eletricidade envolvida na eletrodecomposição e as massas dos produtos formados são proporcionais, sendo que esses produtos apresentam massas proporcionais às suas massas equivalentes. Esta observação deu origem à Segunda Lei da Eletrólise (SANTOS, 2019; SANTOS; PORTO; KIOURANIS, 2020).

As contribuições de Faraday para a eletroquímica foram tão importantes, que a unidade de capacitância recebeu seu nome. A constante de Faraday corresponde à carga relacionada a um mol de elétrons e equivale a, aproximadamente, $96485 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$ (MAHAN; MYERS, 1995).

Em 1876, a partir dos estudos de eletrólise realizados por Faraday, Friedrich Kohlrausch (1840 - 1910) desenvolveu um método para determinar a condutividade. Kohlrausch estabeleceu, assim, a Lei da Migração Independente dos Íons, na qual cada íon em migração possui uma condutividade molar específica (GAMA; AFONSO, 2007).

Quatro anos depois, em 1880, Friedrich Ostwald (1853 - 1932) e Svante Arrhenius (1859 - 1927) escreveram a teoria da dissociação eletrolítica. De acordo com a teoria, espécies que produzem íons hidrogênio (H^+) em soluções aquosas, apresentam propriedades ácidas. Desta forma, Arrhenius limitou a definição de ácido apenas às espécies que geram íons hidrogênio em solução aquosa, e designou base às espécies que geram íons hidroxilas (OH^-) em soluções aquosas (SOUZA; ARICÓ, 2017).

Em 1923, aproximadamente 50 anos após a proposição de ácido e base de Arrhenius ser estabelecida, outras definições começaram a se destacar, como as de Johannes Nicolaus Brønsted (1879 - 1947), Thomas Martin Lowry (1874-1935) e Gilbert Newton Lewis (1875 - 1946) (SOUZA; ARICÓ, 2017).

Em seus trabalhos, Brønsted discutiu a formação de ácidos doadores de íons hidrogênio (H^+) e suas bases conjugadas³, enquanto Lowry associou a definição de ácido e base à liberação ou aceitação de prótons. Como as definições eram as mesmas, a teoria ficou conhecida como Brønsted-Lowry, na qual os ácidos são definidos como doadores de H^+ , e as bases como receptoras de íons hidrogênio. Em solução aquosa, o H^+ não é encontrado na forma livre, sendo representado na sua forma hidratada pelo íon hidrônio, H_3O^+ (ATKINS; JONES, 2012; SOUZA; ARICÓ, 2017).

A teoria de Brønsted-Lowry é centralizada na transferência de prótons, enquanto a de Lewis é focada no compartilhamento de pares de elétrons. Lewis definiu os ácidos como espécies que aceitam pares de elétrons e as bases como espécies que doam pares de elétrons (ATKINS; JONES, 2012).

Em síntese, é perceptível que o desenvolvimento da eletroquímica está intrinsecamente relacionado à história da eletricidade. As primeiras máquinas eletrostáticas criadas instigaram os outros cientistas a estudar formas de armazenar e produzir eletricidade em grande quantidade.

Um dos resultados do confronto entre as ideias de Galvani e Volta foi a pilha de Volta, intercalada com as soluções ácidas. Essas soluções influenciaram cientistas como Arrhenius, Brønsted, Lowry e Lewis a estudar a formação de ácidos e bases, a fim de compreender qual era a relação entre a estrutura dos compostos e a condutividade elétrica.

Com base na discussão acima, é possível verificar que estudos relacionados à eletricidade foram precursores para as pesquisas relacionadas à eletroquímica. O desenvolvimento da eletroquímica no Brasil é discutido na próxima seção.

2.2 Desenvolvimento histórico da Eletroquímica no Brasil

Como visto na seção anterior, os estudos sobre eletricidade tiveram maior interesse no século *XVII*, sendo que a eletroquímica, propriamente dita, foi introduzida

³ Base conjugada é a espécie produzida quando o ácido doa um próton (ATKINS; JONES, 2012).

no final século XVIII com os estudos de Galvani e Volta. No Brasil o desenvolvimento da eletroquímica ocorreu no século XX, quase 50 anos após o surgimento da teoria de ácidos e bases de Brönsted-Lowry.

A implantação da pesquisa em eletroquímica no Brasil teve início no final da década de 60, com trabalhos envolvendo o desenvolvimento de técnicas e construção de aparelhos. Entretanto, a Divisão de Eletroquímica e Eletroanalítica (DEQ) da Sociedade Brasileira de Química (SBQ) foi criada somente em 1990, durante a 13ª Reunião Anual da SBQ e implantada em 1993 (AVACA; TOKORO, 2002).

Antes da criação da DEQ, os trabalhos desenvolvidos na área eram apresentados no Encontro Nacional de Corrosão e Eletroquímica, organizados pela Associação Brasileira de Corrosão e, a partir de 1978, no Congresso Brasileiro de Energia. Em 1978 ocorreu também o I Simpósio Brasileiro de Eletroquímica e Eletroanalítica (SIBEE), que continua a ser realizado bianualmente (AVACA; TOKORO, 2002).

Entre 2013 e 2015 foi criada a Sociedade Brasileira de Eletroquímica e Eletroanalítica (SBEE), sendo efetivada em 2016, após o SIBEE ter se tornado um importante fórum de discussão, com um número expressivo de trabalhos. Vale ressaltar que os SIBEE e a criação da DEQ desempenharam papel importante na disseminação da Eletroquímica e da Eletroanalítica no Brasil (Zanoni *et al*, 2017).

Zanoni e colaboradores realizaram uma análise da produção científica da área no Brasil no período de 1980 a 2016, utilizando a base de dados *InCites*, da *Web of Science*. No período de 2006 - 2015 houve um aumento de 40% na produção científica no Brasil, sendo acompanhado de um crescimento mundial de publicações na área de eletroquímica e eletroanalítica, que atingiu cerca de 112 mil artigos (ZANONI *et al*, 2017).

Após a abordagem dos conceitos históricos do desenvolvimento da eletroquímica, e do início de sua pesquisa no Brasil, aborda-se, na próxima seção, os principais conceitos de eletroquímica.

2.3 Conceitos fundamentais de eletroquímica

Considerando que a complexidade da eletroquímica se deve à relação entre conceitos de diferentes áreas, como física, termodinâmica e química geral, nesta seção foram discutidos conceitos considerados fundamentais para o entendimento da

eletroquímica, com base nos livros didáticos utilizados no ensino superior, na tentativa de diminuir a complexidade dessa temática.

A eletroquímica envolve o uso de reações químicas espontâneas para produção de eletricidade e o uso de eletricidade para forçar reações não-espontâneas. Essas reações ocorrem por meio da transferência de elétrons, que são considerados carreadores de energia (ATKINS; JONES, 2012).

O elétron possui a mesma quantidade de carga elétrica que o próton, porém, tem 1836 vezes menos massa, apresentando assim grande mobilidade. De acordo com a *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC), a carga elétrica pode ser definida como a integral da corrente elétrica ao longo do tempo, sendo chamada de carga elementar da menor carga elétrica encontrada sozinha (ATKINS; JONES, 2012; IUPAC, 2014).

As transferências de elétrons ocorrem em reações ditas de oxidação e de redução, que compõem a reação ditas redox completa. Cada elemento químico possui um número de oxidação, comumente chamado de Nox (ATKINS; JONES, 2012). O número de oxidação pode ser definido como a carga que o átomo teria se todos os ligantes fossem removidos juntamente com seus pares de elétrons compartilhados. Ou seja, a carga que o átomo teria se participasse de uma ligação perfeitamente iônica. Vale ressaltar que o número de oxidação de um elemento na forma elementar é zero (IUPAC, 2014)

De modo geral, em uma reação redox, um átomo é oxidado enquanto outro é, necessariamente, reduzido. Isso porque ocorre transferência eletrônica, ou seja, o número de elétrons deve ser o mesmo nos reagentes e nos produtos. De acordo com o princípio da eletroneutralidade, em uma molécula os elétrons devem estar distribuídos de forma que a carga nos átomos se aproxime de zero. Na oxidação ocorre a perda de elétrons e, conseqüentemente, o aumento do número de oxidação. A reação de oxidação pode ser representada na forma de (ATKINS; JONES, 2012):



Na redução ocorre o ganho de elétrons, resultando na diminuição do número de oxidação. A reação de redução pode ser representada por (ATKINS; JONES, 2012):



Os processos eletroquímicos podem ser classificados em galvânicos (espontâneos no sentido em que a reação está escrita) e eletrolíticos (não-espontâneos no sentido em que a reação está escrita). O processo galvânico ocorre em um dispositivo, chamado de célula galvânica, composta por dois eletrodos (cátodo e ânodo) e um eletrólito (condutor iônico), sendo comumente utilizada a água (ATKINS; JONES, 2012).

Quando a célula galvânica está em funcionamento, o polo negativo é chamado de ânodo, e pode ser definido como o eletrodo no qual ocorre predominantemente a oxidação, que entrega elétrons ao circuito externo. O polo positivo, chamado de cátodo, é associado ao eletrodo no qual ocorre majoritariamente a redução, e que recebe os elétrons do circuito externo. Em um condutor iônico a corrente elétrica é estabelecida por meio do movimento dos íons (IUPAC, 2014; PILLA, 2010).

Durante o funcionamento da célula galvânica, também chamada de pilha, há um fluxo duplo de íons em direções opostas que resulta no acúmulo de cátions, no cátodo, e de ânions, no ânodo. Esse acúmulo de íons gera uma diferença de potencial (ddp), entre os potenciais dos eletrodos da esquerda e da direita. A diferença de potencial gerada pela junção de duas soluções eletrolíticas, de composição diferente, é chamada de potencial de junção líquida (IUPAC, 2014).

Para que ocorra o fluxo de íons é necessário que a pilha esteja em funcionamento, isto é, que o circuito esteja fechado com um fio condutor e um condutor iônico. O fluxo de elétrons pelo condutor externo, e o de íons pela solução, resultam na circulação de corrente elétrica, a qual pode ser utilizada para a geração de trabalho (PILLA, 2010).

Para fechar o circuito é utilizada uma ponte salina, um dispositivo que conecta os compartimentos da esquerda e da direita, sendo composta por uma solução contendo íons inertes⁴ que permitem a passagem de corrente elétrica sem afetar a reação. A ponte é composta, normalmente, por um tubo de vidro, no formato de U invertido, com solução salina, com cátions e ânions com mobilidade iônica semelhante (ATKINS; JONES, 2012; TEIXEIRA JUNIOR; SILVA, 2015).

As extremidades do tubo de vidro podem ser fechadas com lã de vidro, algodão, ágar-ágar ou outro material poroso que impeça a solução salina se misture com a solução dos compartimentos, mas que permita a troca de íons entre a ponte e as

⁴ Íons que não reagem com metais, nem com a solução (ATKINS; JONES, 2012, p. 841).

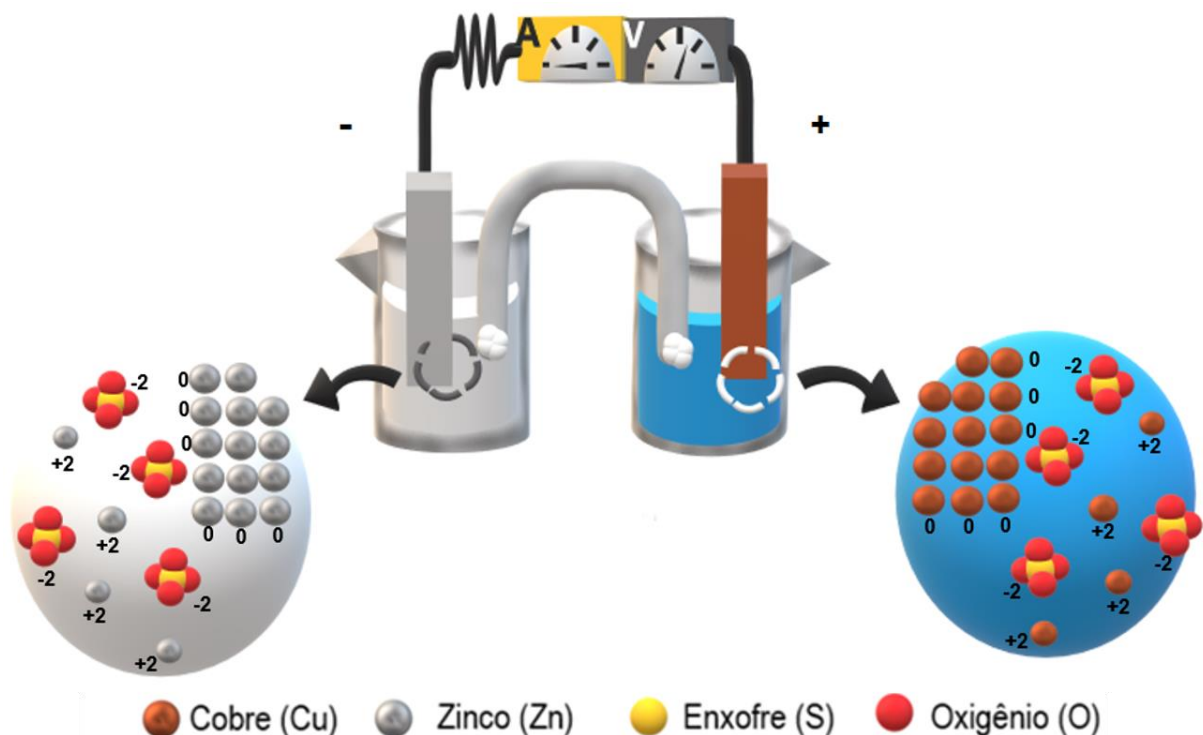
soluções eletrolíticas. A função da ponte salina é manter a neutralidade elétrica da célula, evitando o acúmulo de carga elétrica nos compartimentos da célula, o que impediria que a reação continuasse ocorrendo (ATKINS; JONES, 2012; TEIXEIRA JUNIOR; SILVA, 2015).

Quando a pilha está em funcionamento, a presença da ponte salina evita o aparecimento do potencial de junção líquida. Porém, se os íons da ponte salina estiverem em desequilíbrio, o potencial de junção líquida dificulta o funcionamento da célula (PILLA, 2010).

Nas células galvânicas, o movimento de elétrons no condutor eletrônico, ocorre no sentido do ânodo para o cátodo. No ânodo ocorre a liberação de elétrons e no cátodo o recebimento desses elétrons (ATKINS; JONES, 2012).

Na Figura 1 é possível visualizar uma representação esquemática da pilha de Daniell, na qual não ocorreria reação, conforme mostra o amperímetro. Isto porque o voltímetro bloquearia a passagem de corrente elétrica, visto que possui, idealmente, resistência infinita, o que manteria a célula galvânica em equilíbrio.

Figura 1. Representação de uma célula eletrolítica em equilíbrio.



Fonte: Elaboração própria.

Quando um fio condutor é adicionado à pilha, conforme mostrado na Figura 2, ocorreria a reação no modo galvânico, fato verificável por meio do amperímetro, que confirma a passagem de corrente. É possível observar na Figura 2 que a ddp medida

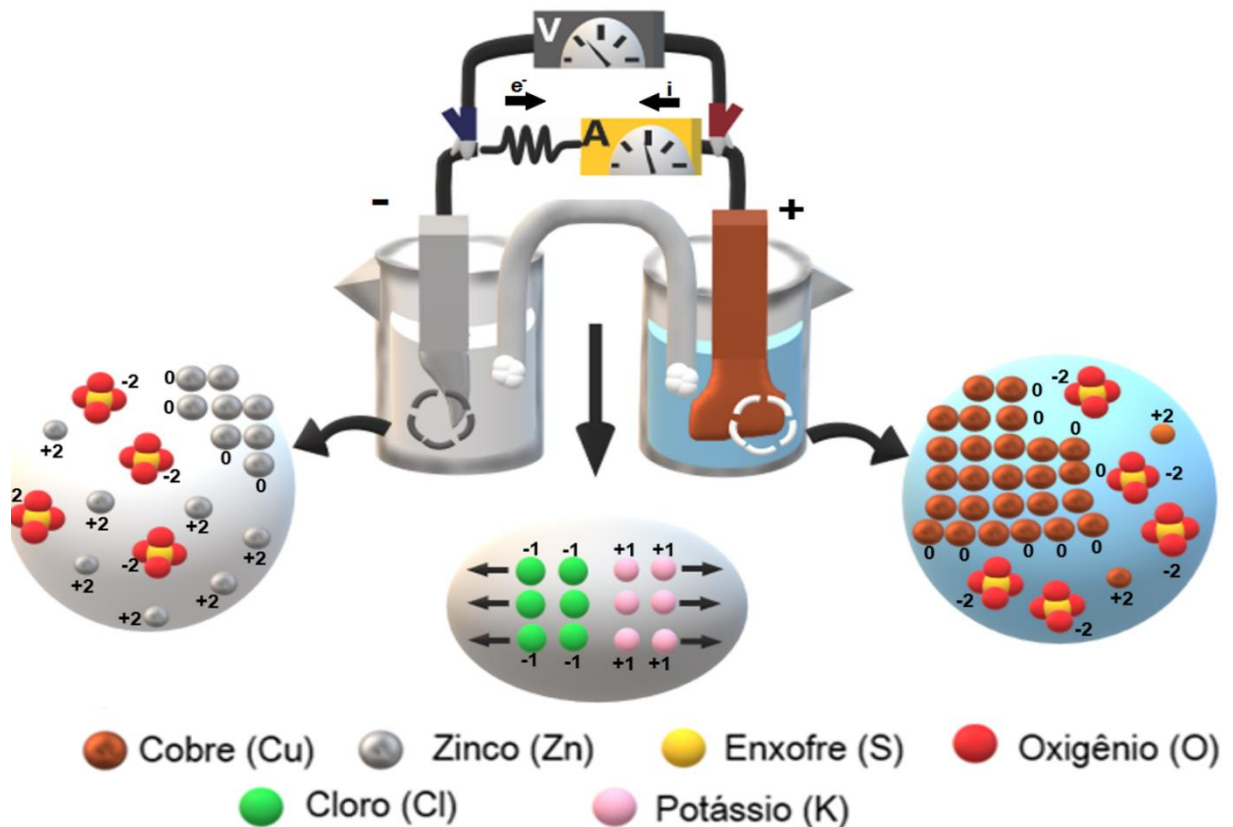
pelo voltímetro, diminui, quando comparada à Figura 1, pois os reagentes são consumidos conforme a reação ocorre, diminuindo assim a ddp da célula. O processo ilustrado na Figura 2 exemplifica o que ocorre durante o uso de uma bateria de celular, por exemplo.

Comparando as figuras 1 e 2 também é possível observar a mudança na coloração da solução de sulfato de cobre (CuSO_4), utilizada no cátodo. Esta mudança se deve ao fato de que a coloração azul é característica do íon $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$ em solução, sendo que conforme os íons $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$ transformam-se em $\text{Cu}^0_{(\text{s})}$ metálico, a coloração azul torna-se menos intensa. A coloração azul da solução se deve a transições eletrônicas propiciadas pela presença de íons cobre(II) hidratados. No entanto, ao reduzir o cátion de cobre para cobre metálico, essas transições responsáveis pela cor da solução não são mais possíveis. Dessa forma, quanto mais íons cobre(II) são convertidos para cobre metálico, menos intensa fica a cor azul da solução.

Outro detalhe importante da Figura 2 é o efeito da ponte salina na pilha. Conforme a reação se processa, cátions $\text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})}$ se acumulam no compartimento da esquerda, gerando um excesso de carga positiva. Se nada for feito, os elétrons passam a ser atraídos por essa carga positiva e a reação na pilha é interrompida. Por isso, é imprescindível a utilização da ponte salina. Os ânions presentes na ponte, no caso da figura o cloreto ($\text{Cl}^{-}_{(\text{aq})}$), se deslocam para o compartimento da esquerda balanceando o excesso de carga positiva, permitindo que os elétrons reduzam o $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$ no compartimento da direita.

O mesmo processo ocorre no compartimento da direita. Pois, ao reduzir $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$ a $\text{Cu}^0_{(\text{s})}$ é gerado um excesso de carga negativa. O balanceamento é feito pelo cátion da ponte salina, no caso da figura o cátion potássio ($\text{K}^{+}_{(\text{aq})}$).

Figura 2. Representação de uma célula eletrolítica em funcionamento no modo galvânico.



Fonte: Elaboração própria.

Na eletrólise, para que a reação ocorra, é necessário aplicar uma corrente elétrica por meio de uma fonte externa, como uma bateria. A fonte externa deve fornecer um sobrepotencial⁵, que pode ser representado por η , à célula galvânica para que a reação inversa se inicie. Diferentemente da célula galvânica, na célula eletrolítica, os eletrodos localizam-se, geralmente, no mesmo compartimento e, conseqüentemente, na presença de apenas um eletrólito. Assim como no processo galvânico, majoritariamente, a redução ocorre no cátodo e a oxidação no ânodo. Entretanto, nas células eletrolíticas, o ânodo é associado ao polo positivo enquanto o cátodo associa-se ao polo negativo (ATKINS; JONES, 2012).

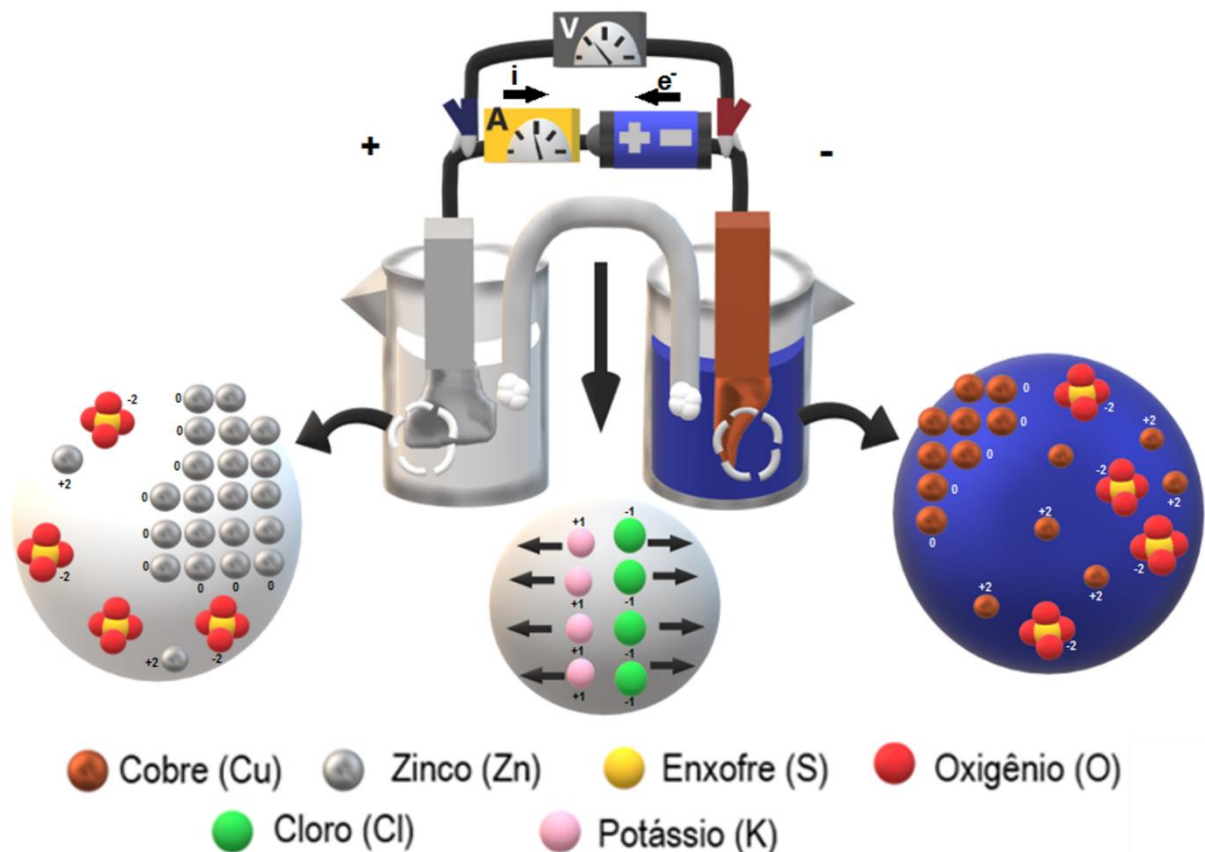
Na Figura 3 visualiza-se a mesma representação esquemática de uma célula de Daniell, porém funcionando no modo eletrolítico, isto é, em processo de eletrólise. A presença de uma fonte de tensão externa, que fornece o sobrepotencial, possibilita

⁵ O sobrepotencial representa a energia extra necessária para forçar a reação do eletrodo a prosseguir na taxa necessária (THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY, 2013).

a ocorrência da reação inversa da pilha, de modo que a corrente elétrica ocorre no sentido do cátodo para o ânodo.

A fonte de tensão externa possibilita que a reação ocorra, visto que a espontaneidade depende das condições nas quais a célula se encontra. Isto é, na ausência de uma fonte de tensão externa, a reação ocorre no modo galvânico, no sentido do ânodo para o cátodo. Já na presença da fonte, a reação se reverte, de forma que o sentido da corrente se altera, ocorrendo no sentido do cátodo para o ânodo, pois é fornecido o sobrepotencial para a reação ocorrer no sentido inverso. O processo ilustrado na Figura 3 é o que ocorre, por exemplo, ao se carregar a bateria do celular.

Figura 3. Representação de uma célula eletrolítica em funcionamento no modo eletrolítico.



Fonte: Elaboração própria.

No processo retratado na Figura 3 é possível observar que a solução de sulfato de cobre (CuSO_4) apresenta uma coloração azul mais intensa, comparada às soluções das figuras 1 e 2, proveniente da maior concentração de íons Cu^{2+} em solução. Por ser incolor, não é possível observar visualmente mudança na coloração

da solução de zinco, porém sua menor concentração pode ser verificada por um método analítico.

Por fim, é importante salientar que as cores escolhidas para os átomos e íons nas figuras não pode ser interpretada como as cores reais dessas entidades. A função das cores é, única e exclusivamente, de diferenciar os elementos. Ademais, essas foram escolhidas de modo aleatório.

2. 2 Processo de ensino e aprendizagem de eletroquímica

O processo de ensino e aprendizagem dos conteúdos de eletroquímica foi organizado em três grandes subseções, as concepções alternativas (subseção 2.2.1), os obstáculos epistemológicos (subseção 2.2.2) e as implicações dessas duas vertentes para a dinâmica de sala de aula.

2.2.1 Concepções alternativas

O ensino de química exige, normalmente, um alto nível de abstração para o entendimento dos conceitos e modelos. Entretanto, essa abstração pode gerar ou reforçar concepções alternativas, seja por erros conceituais, contextuais, falha na interpretação ou uso de analogias (VENTURI *et al.*, 2021).

Estudos da década de 1990 mostram que os estudantes são capazes de resolver questões quantitativas em eletroquímica, mas apresentam dificuldade nas questões qualitativas, que necessitam de maior conhecimento conceitual e envolvem relações entre os níveis macro e submicroscópico (OGUDE; BRADLEY, 1996).

As concepções sobre um determinado conceito científico que divergem das concepções científicas historicamente estabelecidas e validadas são conhecidas como concepções alternativas, que podem ser definidas como ideias, originadas no senso comum, que os alunos utilizam como ponto de ancoragem para acomodar um novo conceito. A concepção alternativa resulta, normalmente, da associação errônea de uma concepção prévia ao conhecimento científico e pode ocorrer, dentre outras formas, durante o processo de ensino e aprendizagem. Dessa forma, é possível inferir que as concepções alternativas são geradas não apenas pelo cotidiano dos alunos, como também por meio do ensino formal e/ou livros didáticos (SANMARTÍ, 2009; SILVA JÚNIOR; DANTAS; FARIAS, 2017).

As concepções alternativas podem ser caracterizadas, principalmente, por serem: *I*) estáveis e resistentes à mudança, podendo ser verificada em indivíduos que passaram por longos processos de escolarização; *II*) semelhantes entre pessoas de

diferentes: sexo, idade, formação ou país; *III*) implícitas e, geralmente, não verbalizadas; *IV*) fundamentas na utilidade prática, e não na consistência teórica. As concepções podem ser, ainda, classificadas como: sensorial, cultural e escolar. Na sensorial as explicações são atribuídas às atividades cotidianas, enquanto a cultural relaciona-se à natureza, ciência e tecnologia. Já a dimensão escolar está associada à explicação do professor e aos livros didáticos (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2013).

Nos assuntos relacionados à química, o nível de abstração necessário para entender teorias e modelos é elevado e as tentativas que o professor geralmente faz para simplificar o conteúdo, muitas vezes, é uma das fontes geradoras de concepções alternativas nos alunos, assim como os livros ou desenhos esquemáticos. Os conteúdos de eletroquímica requerem um raciocínio abstrato, principalmente na relação entre o macroscópico e o submicroscópico. Estudos como os discutidos no Quadro 1 buscam identificar quais as principais dificuldades, bem como as concepções alternativas e os obstáculos epistemológicos apresentados na literatura para alunos tanto no ensino médio quanto no ensino superior (VENTURI *et al.*, 2021; VIEIRA *et al.*, 2021). O quadro apresenta extratos de concepções alternativas de diversos trabalhos relacionados à área de eletroquímica.

Um dos fatores que influenciam na construção e/ou reforço dessas concepções é a linguagem utilizada pelos professores. Um exemplo é se referir aos eletrodos com os nomes dos metais, ou até mesmo por suas cargas (VENTURI *et al.*, 2021).

Outro fator é relacionado à abordagem dos conteúdos nos livros didáticos. Um estudo verificou que a abordagem e as ilustrações utilizadas no ensino de eletroquímica nos livros poderiam gerar algumas concepções alternativas, como por exemplo a atribuição de posições específicas para cátodo e ânodo durante o ensino de pilhas (VENTURI *et al.*, 2021).

Quando as concepções alternativas geradas não são desconstruídas, podem acompanhar o aluno da educação básica até o ensino superior, dificultando o entendimento de conceitos científicos de forma correta e impedindo-o de relacionar um conceito com os demais. No caso do ensino superior há uma preocupação ainda maior, visto que muitos graduandos se tornarão professores, que poderão trabalhar os conceitos de forma simplista, ou até mesmo equivocada, com seus alunos (VENTURI *et al.*, 2021).

Com a intenção de identificar as concepções alternativas presentes nos alunos, Caramel e Pacca (2011) propõem duas questões envolvendo pilhas e eletrólise, com três itens cada. Essas foram trabalhadas com alunos do 3º ano do ensino médio, e do 3º ano dos cursos de licenciatura e bacharelado em química no ensino superior. As respostas foram analisadas por meio de duas categorias: conservação de cargas e circulação da corrente (CAMEL; PACCA, 2011).

A categoria relacionada a conservação de cargas foi subdividida em: *I*) transferência de carga sem conservação: não se considera que em uma reação química redox ocorre o balanceamento de carga nos reagentes e nos produtos; *II*) dois efeitos inicialmente separados que se somam: não considera o processo de oxidação e redução como um único fenômeno, entende-se que a reação consiste soma das equações de oxidação e redução; *III*) transferência de cargas “marcadas”: a igualdade no número de elétrons cedidos e recebidos não é devidamente associada ao equilíbrio de cargas no sistema; *IV*) perda da natureza da espécie: alguns estudantes relacionam a redução da espécie com a diminuição no número de elétrons e não na carga da espécie. Não se reconhece que em uma reação de redução, enquanto a carga da espécie diminui ocorre um aumento no número de elétrons (CAMEL; PACCA, 2011).

A categoria sobre a circulação de corrente foi subdividida em: *I*) a “energia” do sistema flui em dois sentidos: movimento dos íons associado à carga dos eletrodos, e não à carga dos íons presentes na solução dos compartimentos; *II*) corrente unicamente de natureza iônica: consideram apenas os íons provenientes da reação de óxido-redução, não sendo considerados os íons da dissociação que ocorre no eletrólito; *III*) origem da circulação/eletrólito inativo: as cargas resultantes da dissociação e do eletrólito são ignoradas; *IV*) elétrons em movimento na solução: a condução eletrolítica é associada apenas ao movimento dos elétrons e não dos íons (CAMEL; PACCA, 2011).

O trabalho de Caramel e Pacca (2011), evidencia que as mesmas concepções alternativas são encontradas em diferentes níveis de conhecimento, desde o ensino médio até o superior. Foi observada a dificuldade dos alunos com conceitos químicos, nos níveis: descritivo, funcional, representacional e explicativo, considerando que os alunos apresentam dificuldades nas representações dos processos de óxido-redução, além de termos como oxidação, redução e íons serem utilizados com sentidos que divergem das definições científicas (CAMEL; PACCA, 2011).

Em outro trabalho, Pacca e colaboradores (2003) discutem as concepções alternativas dos alunos de ensino médio de uma escola sobre corrente elétrica, após observarem um experimento no qual uma lâmpada era acesa ao ser ligada à uma pilha por dois fios condutores. Os alunos foram convidados a desenhar a corrente elétrica de um trecho dos fios do experimento observado. Após análise dos desenhos, Pacca e colaboradores (2003) concluíram que nenhum dos desenhos demonstrava ser coerente com o modelo científico. Foram detectados termos utilizados em Física, porém sem a correta equivalência científica (PACCA *et al.*, 2003).

Para melhor análise dos desenhos, Pacca e colaboradores criaram categorias para conceituar as concepções de senso comum, sendo elas: I) energia, carga, força e eletricidade: termos usados indistintamente nas respostas dos alunos; II) duas correntes que se opõem: são atribuídas duas correntes, uma positiva e outra negativa, carregadas por fios diferentes; III) quebra de circuito: fluxo de cargas não inclui o filamento da lâmpada; IV) luz/faísca/curto-circuito: a luz é atribuída a uma faísca e/ou à uma descarga elétrica, sendo que de cada lado da lâmpada chega uma energia positiva e negativa que se equilibra, ou se anula, após um curto-circuito; V) expressões triviais sem significado aparente: termos científicos utilizados sem distinção, como força, eletricidade e energia, e utilização de palavras do cotidiano, como molinha, faísca e curto-circuito (PACCA *et al.*, 2003).

As categorias possibilitam localizar, especificamente, as falhas conceituais dos alunos, possibilitando assim maior enfoque do professor. Os materiais analisados demonstraram as dificuldades dos alunos em compreender a estrutura dos condutores, o interior da pilha e a circulação de energia elétrica, evidenciando as barreiras conceituais presentes na construção do conhecimento científico (PACCA *et al.*, 2003).

Barreto, Batista e Cruz (2017) desenvolveram uma pesquisa semelhante à de Pacca e colaboradores (2003), realizando experimentos de deposição química e eletrodeposição com alunos do ensino médio. Um dado importante nesse trabalho foi que, em uma entrevista realizada com os alunos, 92% afirmaram que seus conhecimentos são adquiridos durante a aula com o professor e que, apenas, 8% adquirem conhecimento químico por meio de livros didáticos. De acordo com os autores, os alunos têm dificuldade no exercício de abstração, de compreender além de uma visão macroscópica (BARRETO; BATISTA; CRUZ, 2017).

Já Venturi e colaboradores (2021) realizaram um trabalho com os alunos ingressantes no curso de licenciatura em química de uma universidade pública de Santa Catarina. Para o estudo, foi aplicado um questionário contendo quatro questões relacionadas à eletroquímica, para 25 alunos. Para análise de resultados foram utilizadas categorias baseadas em um levantamento sobre dificuldade, equívoco e concepção alternativa (DECA). A tabela utilizada pela autora foi compilada dos trabalhos de Garnett e Treagust (1992a; 1992b) e de Sanger e Greenbowe (1997a; 1997b) (VENTURI *et al.*, 2021).

Em uma parte adicional do questionário, na qual os estudantes podiam expressar suas opiniões, alguns alegaram que teriam receio quando fossem lecionar conteúdos relacionados à eletroquímica, dada a dificuldade em diferenciar conceitos, espécies oxidantes e redutoras, além de compreender a oxirredução. Essas dificuldades foram vivenciadas durante o aprendizado de eletroquímica, assim como problemas na interpretação de figuras e representações (VENTURI *et al.*, 2021).

O trabalho de Goes, Fernandez e Agostinho investigou as concepções alternativas presentes em um grupo de professores de química. Para a coleta de dados foi utilizado um questionário com onze questões dissertativas envolvendo conceitos como oxidante, redutor, eletrodo, pilha, célula eletrolítica, reações de oxirredução e ponte salina (GOES; FERNANDEZ; AGOSTINHO, 2016).

Foram identificadas concepções alternativas como, a necessidade do oxigênio para ocorrência da reação de oxirredução, sendo que existem oxidantes diferentes, como o cloro e o íon permanganato. Ademais, nem toda reação com oxigênio é uma reação de oxirredução, pode-se tratá-las como reações ácido-base. Outra concepção alternativa verificada no grupo de professores consiste na associação errônea de que a ponte salina auxilia o fluxo de elétrons, sendo que o fluxo na ponte salina é de cátions e ânions, e não de elétrons (GOES; FERNANDEZ; AGOSTINHO, 2016).

Quadro 1. Extratos de concepções alternativas na área de eletroquímica (EM: Ensino Médio / ES: Ensino Superior).

<u>Referência</u>	<u>Nível</u>	<u>Avaliação</u>	<u>Concepção alternativa</u>	<u>Exemplos de frases dos alunos que representam as concepções</u>
Caramel; Pacca (2011)	EM; ES	2 questões dissertativas com 3 itens cada	<p>“A energia é da pilha e está principalmente no pólo positivo. Alguns alunos também afirmam que é produto de uma reação química”</p> <p>“Não aparece a função de condutor de eletricidade ao longo de todo um circuito fechado”</p> <p>“O movimento de partículas, quaisquer que sejam elas, aparece interrompido quando encontra a lâmpada ou tem continuidade através do soquete metálico”</p> <p>“Um fio leva da pilha a energia positiva, que pode ser excesso de átomos, excesso de partículas e o outro fio leva a energia negativa, que pode ser excesso de elétrons, ou eventualmente leva menos partículas, menos energia”</p> <p>“O encontro das cargas que saem dos pólos de sinais opostos, que ocorre apenas no soquete, o qual faz a lâmpada acender”</p> <p>“O filamento da lâmpada não aparece como um fio condutor semelhante aos fios da ligação com a pilha; é o lugar em que, de algum modo, aparece luz”</p> <p>“As palavras força, eletricidade e energia estão presentes em todas as explicações, não transparecendo nenhuma distinção entre seus significados”</p>	<p>“O movimento das cargas é da esquerda para a direita”</p> <p>“Elétrons saem da parte negativa da bateria, atravessam a solução em direção à parte positiva”</p> <p>“A corrente elétrica é produzida através da passagem das cargas negativas de B (onde Ag está sofrendo redução) para A (onde Ni está sendo oxidado).</p> <p>“O pólo positivo sobe pelo fio do lado esquerdo da lâmpada e o pólo negativo sobe através do fio de cobre, pelo lado direito do fio da lâmpada; as duas se equilibram na molinha da lâmpada, fazendo-a acender (pólo positivo – prótons, pólo negativo – elétrons)”</p> <p>“Quando passa corrente, a lâmpada acende ou vai ocorrer uma radiação”</p>
Pacca et al. (2003)	EM	Desenhos após a realização de um experimento envolvendo eletricidade		<p>“Reação química faz eletricidade”</p> <p>“O positivo e o negativo, ao se encontrarem na lâmpada, causam um curto-circuito na molinha”</p> <p>“Acender a lâmpada é a energia que sai da pilha, uma “força” que vem de dentro”</p> <p>“É quando a energia negativa e a positiva se juntam, dão uma “descarga” na lâmpada e fazem com que ela acenda”.</p>

Barreto; Batista; Cruz (2017)	EM	Desenhos após a realização de um experimento.		Concepção alternativa macroscópica, na qual não são observadas as reações de óxido-redução, como a deposição do revestimento da prata no cobre e a condução do eletrólito.
Venturi <i>et al.</i> (2021) ⁶	ES	Questionário com 4 questões dissertativas, com subitens	<p>“Estado de oxidação de um elemento é o mesmo que a carga do íon monoatômico desse elemento”</p> <p>“A eletricidade na química e na física é diferente, porque o fluxo da corrente ocorre em direções opostas”</p> <p>“Em uma célula eletroquímica, a ponte salina fornece elétrons necessários para completar o circuito”</p> <p>“A lista de potencial padrão de redução coloca a reatividade dos metais em ordem decrescente de cima para baixo”</p> <p>“Uma diferença de potencial entre dois pontos é exclusivamente devido a diferente concentração de carga nesses pontos”</p> <p>“Elétrons entram na solução pelo cátodo, viajam pelo eletrólito (e/ou ponte salina) e emergem no ânodo para completar o circuito”</p>	As concepções alternativas identificadas foram classificadas de acordo com as categorias DECA.
Goes; Fernandez; Agostinho (2016)	Professores do EM	Questionário com 11 questões dissertativas	<p>“Necessidade do oxigênio para ocorrência da reação de oxirredução”</p> <p>“Ponte salina auxilia no fluxo de elétrons”</p>	As concepções alternativas verificadas foram destacadas separadamente da classificação das respostas, que foram categorizadas como certas, erradas ou parcialmente corretas.

Fonte: elaboração própria.

⁶ O quadro completo sobre Dificuldades, Equívocos e Concepções Alternativas (DECA) encontra-se nos Anexos.

Em uma revisão sistemática da literatura realizada por Vieira e colaboradores (2021) com enfoque na aprendizagem de conceitos em Eletroquímica, de estudantes do ensino médio, foram considerados como critérios de seleção: I) periódicos relacionados à área Química que tenham Qualis/CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) de A1 a B5 na avaliação do quadriênio 2013 a 2016; II) periódicos da área de Ensino que tenham Qualis/CAPES A1 e A2 na avaliação do quadriênio 2013 a 2016; III) periódicos que o escopo permite a abordagem de conceitos químicos, considerando o processo de ensino e aprendizagem (VIEIRA et al., 2021).

A partir dos critérios acima, foi realizado o levantamento em cinco periódicos: Química Nova, Química Nova na Escola, Caderno Brasileiro de Física, *Enseñanza de las Ciencias: Investigaciones Didácticas* e *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. Como descritores da busca foram utilizados termos como: aprendizagem, concepções alternativas, eletroquímica, ânodo, cátodo, pilhas, eletrólise, redox, oxirredução, ponte salina, reações químicas, Nox, íon, cátion, ânion, ddp, voltagem, corrosão, eletrodo, oxidação, redução, solução eletrolítica, redutor, oxidante, solução eletrolítica e condutividade elétrica (VIEIRA et al., 2021).

Foram selecionados 156 artigos, sendo realizada a leitura do resumo, fundamentação teórica, metodologia e discussão dos resultados. A partir dos critérios de inclusão/exclusão obteve-se um *corpus* de 19 publicações que abordavam aprendizagem, aquisição de conceitos e/ou apresentavam contribuições para a aprendizagem de conceitos eletroquímicos em sala de aula (VIEIRA et al., 2021).

Vieira e colaboradores (2021) apresentaram os resultados em duas categorias: dificuldades de aprendizagem e estratégias remediativas das dificuldades de aprendizagem. A primeira categoria inclui quatro subcategorias, das quais se destacam duas que se relacionam a este trabalho: inapropriação de conceitos químicos e incompreensão dos fenômenos (VIEIRA et al., 2021).

A subcategoria inapropriação de conceitos químicos inclui: I) uso inadequado de conceitos científicos e de vocabulário específico da eletroquímica; II) ausência dos conceitos necessários para interpretação; III) dificuldades de desenvolver argumentos para justificar suas respostas; IV) abordagem inadequada dos conceitos químicos em livros didáticos. Já a subcategoria de incompreensão de fenômenos relaciona-se com: V) limitação na explicação do comportamento dos materiais; VI) explicações

macroscópicas aos conceitos; VII) incompreensão do papel dos íons nas transformações químicas (VIEIRA *et al.*, 2021).

Em seu trabalho sobre erros conceituais, Uehara (2005) associa as dificuldades dos estudantes a um tratamento superficial do conteúdo presente no livro didático. Além dos estudantes não possuírem o nível de abstração necessário para o entendimento de conceitos científicos, a simplificação dos conteúdos, com a intenção de facilitar o aprendizado, acaba prejudicando o aprendizado (BERLOTTI, 2011; UEHARA, 2005).

Para Rosa e Schnetzler (1998) as concepções alternativas podem ser associadas à ausência de discussões aprofundadas nas aulas, à ênfase na visão empirista do conhecimento e à falta de uma relação explícita entre os níveis macroscópico e submicroscópico.

Com base nos trabalhos mencionados acima, verifica-se a dificuldade dos estudantes com a eletroquímica, tanto no ensino médio quanto no ensino superior. A presença de concepções alternativas pode ser atribuída, entre outros fatores, ao material didático utilizado. Na próxima seção são discutidos obstáculos epistemológicos, os quais também podem interferir no aprendizado dos estudantes.

2.2.2 Obstáculos epistemológicos

Gaston Bachelard, um filósofo do século XX, contribuiu para a ciência com a inclusão de termos como “fenomenotécnica” e discutiu os aspectos necessários para a formação do Novo Espírito Científico, nome do seu livro lançado em 1934. O filósofo introduziu também a noção de obstáculos epistemológicos, que se discute nessa seção (REIS, 2015).

Para Bachelard o conhecimento é construído a partir da ruptura com o conhecimento anterior, ou seja, é necessária uma ruptura entre o conhecimento comum para alcançar conhecimento científico. Durante esse processo pode ocorrer a chamada anti-ruptura, associada a formação de obstáculos epistemológicos, que impedem a transposição entre o conhecimento comum e o conhecimento científico (REIS, 2015).

Nos trabalhos desenvolvidos por Lopes (1992; 1993; 1996), foram realizadas pesquisas documentais sobre os obstáculos epistemológicos, baseada nos conceitos de Bachelard, presentes nos conteúdos de química dos livros didáticos. Lopes destaca que as teorias científicas têm caráter provisório, pois entende-se que a ciência

é um conhecimento humano, historicamente construído e validado que, pode ser revisto ou modificado sempre que um novo dado ou teoria são desenvolvidos. A construção de um novo equipamento, por exemplo, gera uma série de novas informações em nível fenomenológico que pode exigir a revisão de teorias vigentes (LOPES, 1996).

A autora argumenta, ainda, que existem alguns problemas na transposição do conhecimento científico para o conhecimento curricular. Muitas vezes, as especificidades do conhecimento científico são ensinadas sem a possibilidade de promover a resolução de problemas, sendo transmitida sem origem ou perspectiva histórica, de forma transcendente ao tempo. Ao retirar os conceitos científicos do contexto histórico, além de restringi-lo a definições simplistas, pode-se gerar uma série de obstáculos que limitam a compreensão desses conceitos (LOPES, 1996).

De acordo com Lopes (1992, p. 255), os obstáculos epistemológicos “são entendidos como entraves, inerentes ao próprio conhecimento científico, que bloqueiam seu desenvolvimento e construção”. Eles ocorrem quando o professor não entende por que o aluno não compreende determinado assunto. Nesses casos, os conhecimentos prévios do aluno não são considerados e a probabilidade de reafirmar os erros das concepções de senso comum é maior. Isso ocorre, pois na tentativa de simplificar o conhecimento científico e torná-lo acessível aos alunos, o professor pode distorcer-lo até não haver mais relação com a ciência (LOPES, 1992).

As principais classes de obstáculos epistemológicos são: animistas, realistas, verbais e substancialistas. Os obstáculos animistas são caracterizados pela atribuição de vontades e preferências, às espécies químicas, como por exemplo a “vontade” de receber elétrons, os “sentimentos” dos átomos e o “casamento” entre os elementos químicos (LOPES, 1992).

Já nos obstáculos realistas há uma supervalorização do objeto, ou seja, o conhecimento é atribuído às características superficiais e propriedades. Tais obstáculos são verificados quando o racionalismo é pouco desenvolvido. Como exemplo, pode-se citar a ligação metálica, na qual as interações não são consideradas, de forma que um átomo de alumínio é considerado igual ao alumínio presente em barras do metal, sendo desconsideradas que as propriedades dos materiais apresentam relação direta com a organização em nível submicroscópico (LOPES, 1992). O uso de termos científicos sem a devida distinção dos termos

comuns pode impedir a construção do conhecimento, além de formar conceitos errados, gerando assim obstáculos à abstração (LOPES, 1993).

Lopes (1996) discute os obstáculos verbais, mais especificamente ao obstáculo relacionado ao potencial padrão de redução e a eletronegatividade. A eletronegatividade é associada a capacidade que um átomo possui em atrair elétrons, enquanto o potencial padrão de redução é associado à atração por elétrons. Dessa forma, muitos autores de livros didáticos relacionam a ordem crescente de potenciais padrão de redução à eletronegatividade (LOPES, 1996).

Dificuldades como a descrita acima evidenciam o problema em retirar o conhecimento científico do contexto histórico, ao se ensinar a definição de eletronegatividade⁷, por exemplo, não é destacado que a tendência em atrair elétrons é estabelecida em uma situação de contorno específicas, ou seja, em uma ligação covalente, com uma única molécula isolada e no estado gasoso. Também não é ressaltado que a definição atual de eletronegatividade se aproxima da definição proposta por Linus Pauling, e não a proposta por Jöns Jacob Berzelius que se aproximava mais dos conceitos atuais de carga e dipolo (LOPES, 1996).

O mesmo ocorre no conceito de potencial padrão, quando não é realçado que se trata de uma propriedade macroscópica e no equilíbrio, de forma que os valores estão relacionados apenas às espécies envolvidas na reação redox, e não à sua eletronegatividade. Esses valores são obtidos indiretamente, por meio da extrapolação de um gráfico composto pelos valores de potenciais de eletrodo obtidos utilizando-se soluções diluídas da espécie em análise e, não por meio de uma medida experimental direta como afirmam diversos livros didáticos de Química (LOPES, 1996).

Os obstáculos substancialistas relacionam-se à qualidade superficial, ou seja, é associado um conjunto de propriedades à determinada substância. Dessa forma não são consideradas as relações entre as substâncias, nem as propriedades resultantes dessas relações. Como exemplo pode-se citar a cor amarela atribuída ao metal ouro,

⁷ De acordo com a IUPAC (2014), “o conceito de eletronegatividade foi introduzido por L. Pauling como a capacidade de um átomo numa molécula atrair elétrons”. Para os átomos A e B, a escala mais utilizada é baseada nas energias de dissociação (E_d) em eV, sendo definida apenas as diferenças entre as eletronegatividades, visto que os valores são adimensionais.

$$\chi_{r,A} - \chi_{r,B} = \sqrt{\frac{E_d(AB)}{eV} - \frac{1}{2} \frac{E_d(AA) - E_d(BB)}{eV}}$$

Onde χ_r representa a eletronegatividade definida por Pauling.

desconsiderando-se dessa forma a variação de cores que ocorre de acordo com a espessura da lâmina do metal, ou no tamanho de partícula (LOPES, 1993).

Em seu trabalho, Bocanegra (2010) analisa obstáculos epistemológicos presentes em livros didáticos de química aprovados Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM)⁸. O autor exemplifica o obstáculo verbal na análise do trecho de um livro:

O potencial elétrico de uma pilha é sua capacidade de deslocar elétrons através de um circuito fechado externo que pode realizar trabalho. Essa capacidade é denominada potência, ou diferença de potencial (ddp), entre os polos (SANTOS *et al.*, 2007, p. 654).

O uso inadequado do termo diferença de potencial como equivalente à potência elétrica dificulta a compreensão dos conceitos abordados no livro, mesmo que as definições corretas sejam discutidas posteriormente. No mesmo livro é possível encontrar outros obstáculos verbais, como em “No caso da palha de aço, o ferro passa do metal para a solução. Essa reação pode ser representada pela equação: $\text{Fe}_{(s)} \rightarrow \text{Fe}^{2+}_{(aq)} + 2 e^{-}$ ” (p. 650). Ao discutir o processo de oxidação da palha de aço em uma solução de sulfato de cobre (CuSO_4), não é enfatizado que são os elétrons que são transferidos para interface metal-solução, e não o ferro (BOCANEGRA, 2010).

Na análise de um outro livro didático, Bocanegra (2010) identifica um obstáculo verbal na abordagem do potencial das pilhas, como no trecho:

Para conhecermos os valores dos potenciais eletroquímicos dos diversos eletrodos, é importante a escolha de um eletrodo-padrão que possa ser comparado com os demais. [...] É necessário observar que o potencial obtido para o zinco é exatamente o potencial eletroquímico (E°) de oxidação do metal em questão (BIANCHI *et al.*, 2005, p. 492).

No trecho acima o termo potencial eletroquímico é associado como equivalente ao conceito de potencial de eletrodo. Não é discutido que o potencial químico atua no processo de difusão no transporte da espécie química, enquanto o potencial elétrico relaciona-se com o processo de condução da espécie em questão. Dessa forma, o potencial eletroquímico é composto pelos processos de difusão e condução das espécies químicas, no transporte das espécies carregadas. Isto é, os conceitos de potencial eletroquímico e potencial do eletrodo não são equivalentes (BOCANEGRA, 2010). Também não é discutido que os valores dos potenciais são relacionados às

⁸ Hoje em dia o PNLEM foi extinto, sendo suas premissas incorporadas no PNLN (Plano Nacional do Livro Didático).

espécies, e não ao eletrodo. O valor do potencial refere-se ao par redox metálico, isto é, de uma espécie quando associada à outra (LOPES, 1996).

Em relação aos obstáculos realistas, Bocanegra cita como exemplo os procedimentos de medida da diferença de potencial do eletrodo, nos quais é comumente utilizado um eletrodo-padrão ou o eletrodo padrão de hidrogênio (EPH), porém, não são discutidos os limites das medidas realizadas. Como por exemplo, pode-se citar o livro dos Santos *et al.* (2007, p. 656), uma imagem exemplifica a medição do potencial elétrico de uma pilha, utilizando-se um voltímetro. Entretanto, não é discutido que medição realizada se refere à, como é chamada no livro, força eletromotriz. Vale ressaltar que esse termo também pode ser considerado um obstáculo realista, visto que o conceito não representa uma força, sendo característico dos processos eletrolíticos que envolvem carga e descarga (BOCANEGRA, 2010).

Já o obstáculo substancialista é verificado quando é atribuída uma propriedade à espécie química, como no caso da água. No material analisado pelo autor, as propriedades são determinadas pelos átomos que compõem a água, hidrogênio e oxigênio, e não pela interação dos átomos entre si (BOCANEGRA, 2010).

Conforme discutido acima, na tentativa de facilitar o entendimento do conhecimento científico, obstáculos epistemológicos podem ser gerados por meio de simplificações, comparações sem o devido embasamento científico, personificação de objetos inanimados, entre outros. Os obstáculos epistemológicos, assim como as concepções alternativas, podem gerar consequências para o processo de ensino e aprendizagem em eletroquímica, conforme discutido na próxima seção.

2.3 Consequências para o processo de ensino e aprendizagem

O Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) tem como objetivo avaliar, comprar e destinar os materiais didáticos, de forma gratuita, às escolas das redes municipais, estaduais e federais. As escolas podem escolher os materiais que mais se adaptam a seu contexto de trabalho, com a restrição de que esses tenham sido aprovados nas avaliações pedagógicas desenvolvidas pela comissão técnica, organizada e instruída no PNLD, com gestão do MEC (BRASIL, 2023).

As avaliações são realizadas seguindo como referência os critérios comuns e específicos para os componentes curriculares especificados na Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Após aprovação na avaliação pedagógica, o livro didático

é analisado quanto seus atributos físicos, se estão em conformidade com as exigências do edital e da legislação vigente (BRASIL, 2023).

Para participar do programa, as obras são inscritas pelos autores, de acordo com os critérios do edital. O Guia Digital do PNLD é composto pelas obras aprovadas, e tem como objetivo auxiliar o corpo docente e diretivo das escolas na escolha do material a ser utilizado (BRASIL, 2023).

O programa abrange os quatro níveis de ensino: ensino infantil, anos iniciais do ensino fundamental, anos finais do ensino fundamental e ensino médio. O decreto nº 9.099, de 18 de julho de 2017, unificou as ações de compra e distribuição dos livros didáticos, além de ampliar o escopo, permitindo a incorporação de outros materiais didáticos, como *softwares*, jogos educacionais, materiais de reforço, entre outros (BRASIL, 2023).

Já em relação ao ensino superior não há um programa de avaliação para os livros didáticos utilizados, de forma que sua qualidade não é verificada por um comitê de especialistas como realizado nos outros quatro níveis de ensino. Assim, não há um guia de consulta para discentes e docentes utilizarem como referência na escolha dos livros a serem utilizados.

A ausência de um programa de análise da qualidade dos livros no ensino superior pode ser associada ao fato de que um dos objetivos do PNLD é analisar os livros didáticos que são distribuídos gratuitamente nas escolas públicas. No ensino superior, não ocorre essa distribuição. Os livros disponibilizados nas bibliotecas da instituição são escolhidos pela própria instituição.

Considerando as consequências da presença de concepções alternativas e obstáculos epistemológicos no processo de ensino e aprendizagem, além da abordagem equivocada de alguns conceitos químicos nos livros didáticos, esta pesquisa pretende contribuir com o desenvolvimento de um material de análise para escolha dos livros utilizados no ensino de eletroquímica. Esse material de análise envolve não apenas os principais conceitos de eletroquímica, como também a análise da presença de concepções alternativas e obstáculos epistemológicos.

No trabalho realizado por Freitas (2021), a autora desenvolveu e validou um *checklist* para analisar os principais conceitos de eletroquímica presentes nos livros didáticos do ensino superior. Este trabalho visa avançar nas discussões ao realizar uma atualização no *checklist* desenvolvido por Freitas (2021), a revalidação do instrumento, e o mapeamento dos principais livros didáticos recomendados como

referências bibliográficas básicas nos cursos de Química das universidades públicas do Brasil. A atualização visa incluir aspectos de ensino, como verificação da presença de concepções alternativas e obstáculos epistemológicos, além de rediscutir os conceitos de eletroquímica abordados inicialmente.

Dessa forma, uma das etapas da pesquisa consistiu em um levantamento das universidades públicas brasileiras que oferecem os cursos de química aprovados pelo MEC. Por meio deste, foi possível obter as referências mais utilizadas no ensino de eletroquímica no ensino superior brasileiro. Vale ressaltar que os conceitos da eletroquímica estão presentes não somente nos livros de eletroquímica, mas também nos livros de química geral, por exemplo, que constam nessa lista.

2.4 Objetivos de pesquisa

Considerando a ausência de um programa de análise dos livros didáticos utilizados no ensino superior e de um instrumento que auxilie docentes e discentes na escolha de um livro didático, este trabalho teve como objetivo geral: propor um instrumento para avaliar os conceitos de eletroquímica apresentados nos livros didáticos indicados como referências bibliográficas básicas para os cursos de Química das universidades públicas do Brasil.

A partir do objetivo geral, foi proposto dois objetivos específicos, com o intuito de orientar e operacionalizar a pesquisa, são eles: *I)* mapear os livros indicados como referências bibliográficas básicas no ensino de eletroquímica das universidades públicas do Brasil, reconhecidos pelo Ministério da Educação (MEC); *II)* desenvolver um instrumento de análise dos conceitos de eletroquímica apresentados nos livros didáticos utilizando como base um *checklist* adaptado da pesquisa de Freitas (2021).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Justificativa, problema e questões de pesquisa

O relato da dificuldade no processo de ensino e aprendizagem de assuntos relacionados a eletroquímica é muito frequente na fala de professores e alunos. Alguns autores da literatura especializada apontam como possíveis justificativas para essas dificuldades o fato de ser uma área que trabalha em uma fronteira que intersecciona conhecimentos de várias outras áreas como física, matemática, química

geral, entre outras. Ademais, exige o domínio prévio de teorias altamente abstratas, como os conceitos de átomos e elétrons, por exemplo.

Somados a essas duas grandes problemáticas intrínsecas da própria natureza do conhecimento de eletroquímica, estão abordagens em sala de aula extremamente quantitativas, focando apenas no conhecimento operacional de cálculos; um ensino de eletroquímica ahistórico e de crescimento linear; a presença de erros conceituais, concepções alternativas e obstáculos epistemológicos nas falas dos professores e no próprio material didático. O problema se torna ainda mais preocupante ao ser constado, na literatura especializada, que livros referências de ensino superior, que servem de fonte de conhecimento na formação de professores e pesquisadores da área, apresentam uma série de erros conceituais e várias lacunas a serem preenchidas em relação ao conhecimento de eletroquímica (WHARTA; REZENDE, 2011; BARKE *et al*, 2009; SANGER; GREENBOWE, 1999; SILVERSTEIN, 2011; FERREIRA; GONÇALVES; SALGADO, 2021; MORTIMER; AMARAL, 1998; FREITAS, 2021; BARRETO, 2020; SILVA *et al*, 2016; CAMEL; PACCA, 2011; SANJUAN *et al.*, 2009; OGUDE; BRADLEY, 1996; SANTOS *et al.*, 2018).

A discussão do parágrafo traz um panorama que sugere que os problemas no processo de ensino e aprendizagem de eletroquímica são multifatoriais. Em específico, essa pesquisa focou no fato livro didático do ensino superior, uma vez que, não há um programa governamental que analise os livros didáticos utilizados no ensino superior. Por conseguinte, essa pesquisa tem como objetivo auxiliar o professor do ensino superior a desenvolver, de forma autônoma, a escolha e análise dos melhores livros a serem utilizados em suas disciplinas de eletroquímica.

3.2 Natureza da pesquisa

Esta pesquisa seguiu os princípios teórico-metodológicos do método misto. Johnson, Onwvegbuzie e Turner (2007) definem o método misto como um estudo que combina conceitos e técnicas próprias das pesquisas quantitativas e qualitativas, com a finalidade de tornar a análise dos dados mais complexa e com menor falseabilidade. Para Tashakkori e Creswell (2007) a pesquisa de método misto pode ser definida como aquela na qual os dados são coletados e analisados, e suas inferências são extraídas por meio de métodos qualitativos e quantitativos em um único estudo.

Yin (2016) destaca como características da pesquisa qualitativa ser aplicada em um contexto real, tendo o mínimo de interferências dos processos de pesquisa, e

a ausência do controle de variáveis. A pesquisa qualitativa possibilita a coleta de dados aberta, ou seja, uma análise interpretativa.

A pesquisa qualitativa não exige que se tenha uma hipótese teórica a ser estudada e operacionalizada *a priori*. Ademais, não há uma preocupação de quantificação ou padronização das pesquisas. A proposta é analisar informações para produzir hipóteses explicativas e teorias. As generalizações são obtidas em um nível teórico (FLICK, 2013).

Já na pesquisa quantitativa a análise é estatística, isto é, uma teoria que se tem um ponto de partida a ser testado. A análise qualitativa pode ser generalizada em um sentido teórico, ao contrário da quantitativa que é orientada estatisticamente para a população (FLICK, 2013).

Uma característica fundamental da pesquisa quantitativa é a garantia de uma coleta de dados e uma análise que possa ser replicada e testada por outros pesquisadores, cumprindo critérios de confiabilidade, validade e objetividade (MOREIRA, 2011; FLICK, 2013). Dessa forma, o método misto apresenta características tanto da pesquisa qualitativa quanto quantitativa, tendo como uma de suas vantagens a combinação dos pensamentos indutivo e dedutivo em um único estudo (CRESWELL; CLARK, 2013).

A escolha do método misto nessa pesquisa se fundamenta pela possibilidade de trabalhar dados de diferentes naturezas com técnicas distintas. Dessa forma, os dados oriundos do mapeamento dos livros utilizados para trabalhar conteúdos de eletroquímica em cursos de ensino superior, registrados no MEC, foram tratados em uma perspectiva predominantemente quantitativa. Já os dados obtidos dos especialistas que permitiram refinar o checklist, focou essencialmente em uma perspectiva predominantemente qualitativa.

3.3 Fontes de informação

As fontes de informação utilizadas para a discussão dos conceitos fundamentais de eletroquímica foram documentos e sujeitos:

1) Os documentos consistiram em livros didáticos do ensino superior e artigos, que permitiram desenvolver os aportes teóricos sobre eletroquímica e sobre o ensino de eletroquímica (concepções alternativas e obstáculos epistemológicos). Ademais, para o levantamento dos livros didáticos indicados nos cursos de química, foram

consultados os projetos político-pedagógico e ementas das disciplinas, disponibilizados no sítio eletrônico das universidades ou obtidos solicitação, via *e-mail*.

II) Os sujeitos foram seis especialistas que avaliaram a precisão e validaram o *checklist*, esses são professores que ministraram aulas no ensino superior, constituído por três da área de eletroquímica e três da área de ensino de química.

3.4 Procedimentos de análise dos dados

O *checklist* é um instrumento de controle composto por um conjunto de itens ou tarefas, que devem ser executadas ou analisadas. Pode ser entendido como uma lista de verificação, com a finalidade de garantir a objetividade, credibilidade e reprodutibilidade da avaliação (FREITAS, 2021).

Neste trabalho o *checklist* utilizado foi baseado no instrumento de análise utilizado por Freitas (2021), que teve como referencial metodológico o trabalho de Leite (2002). Vale ressaltar que os dois trabalhos tratam da análise de livros didáticos.

Segundo Leite (2002), o *checklist* é um instrumento adequado para auxiliar e direcionar a análise do conteúdo de forma qualitativa, visto que indica os itens que devem ser verificados durante a análise. Dado o interesse do trabalho desenvolvido nesse projeto, as categorias do *checklist* tratam da análise dos conteúdos de eletroquímica nos principais livros didáticos indicados como bibliografia básica nos cursos de química do ensino superior.

Em seu trabalho, Freitas (2021) verificou que documentos como as Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química (BRASIL, 2001) e a Resolução CNE/CES 8, de 11 de março de 2002 (BRASIL, 2002), não especificam quais conceitos de eletroquímica devem estar presentes. Dessa forma, foram utilizados os livros *Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente* (ATKINS; JONES, 2012) e *Físico-química II: equilíbrio entre fases, soluções líquidas e eletroquímica* (PILLA, 2010), além do *Gold Book* da IUPAC, para embasamento teórico dos conteúdos de eletroquímica.

Relacionado ao instrumento de análise, o *checklist* foi construído com base no utilizado por Freitas (2021), porém além da redistribuição das categorias já existentes, foi inserida uma categoria adicional, relacionada aos obstáculos epistemológicos e concepções alternativas. Dessa forma, o *checklist* é composto pelas categorias: *I)* Contextualização Histórica da Eletroquímica; *II)* Conceitos Fundamentais de Eletricidade para a Eletroquímica; *III)* Conceitos Fundamentais da Química Geral para

a Eletroquímica; IV) Relação da Eletroquímica com a Eletricidade e a Termodinâmica Química; V) Conceitos relacionados às Células Eletroquímicas; VI) Problemas relacionados às ilustrações e esquemas; VII) Obstáculos epistemológicos e concepções alternativas.

Nas categorias de 1 a 6, os itens podem ser classificados como “abordado”, “necessita revisão” e “não abordado”. A última categoria é a única a apresentar classificação diferente das outras, sendo os itens classificados em “sim”, “não” e “necessita revisão”.

O objetivo da classificação dos itens é facilitar a visualização do quanto o livro didático atende aos conceitos analisados. Livros nos quais são predominantes as classificações “abordado” nas categorias de 1 a 6, e classificações “não” no item 7, seriam considerados como indicados para o estudo. Em contrapartida, livros com classificações predominantes de “não abordado” nas categorias de 1 a 6, e classificação “sim” na categoria 7, não seriam livros recomendados. Isso porque, além de não abordar os conceitos considerados fundamentais para o aprendizado de eletroquímica, ainda possibilita a admissão de concepções alternativas ao conhecimento.

3.5 Validação do Instrumento

A utilização de instrumento de análise implica na necessidade de que o mesmo apresente a mínima interferência de julgamentos subjetivos. Utiliza-se a validação como forma de examinar a precisão de um determinado instrumento, com a finalidade de verificar como o instrumento de análise está sendo interpretado a cada aplicação (RAYMUNDO, 2009).

Segundo Cunha, Neto e Stackfleth (2016), a validade é um dos principais critérios utilizados para verificar a qualidade de um instrumento, visto que identifica, utilizando um conjunto de evidências, se o instrumento está analisando o objeto de interesse.

De acordo com Raymundo (2009) é realizada a validação da interpretação dos dados, obtidos por meio de um procedimento específico, e não necessariamente do instrumento em si. Dessa forma, cada aplicação do instrumento pode gerar uma interpretação dos resultados. Considerando que os itens presentes no instrumento de análise são abrangidos por um contexto educacional atual, a validação não é permanente, podendo ser alterada de acordo com as alterações curriculares. Vianna

(1989) salienta que o processo de validação não se esgota, podendo ser repetido mais vezes em um mesmo instrumento.

A validação pode ser realizada por meio de três aspectos: conteúdo, critério ou construto. A validade de conteúdo verifica se o instrumento abrange todos os aspectos dos elementos relacionados a análise, de forma que esses aspectos não possam ser atribuídos a outros elementos. A análise é subjetiva, realizada por especialistas que verificam se os itens do instrumento possuem a mesma interpretação, e se são relevantes e pertinentes (RAYMUNDO, 2009).

Na validação de critério, também chamado de desempenho, o intuito é verificar se o instrumento apresenta os melhores itens para uma atividade específica, a partir da relação entre medidas de desempenho. Esse tipo de validade pode ser classificado como preditiva ou concorrente. Na preditiva o critério é avaliado posteriormente ao instrumento, enquanto na concorrente o instrumento e o critério são avaliados simultaneamente (RAYMUNDO, 2009).

A validação de construto permite verificar se o instrumento de análise realmente atinge o objetivo proposto, validando não apenas o instrumento em si, como também a teoria na qual está embasado. Geralmente está relacionada a testes estatísticos, que possibilitam estabelecer uma comparação entre as variáveis medidas. Cabe ressaltar que os três tipos de validação, conteúdo, critério e construto, são aplicáveis a todos os tipos de testes, podendo ser aplicada mais de uma validação a um mesmo teste (RAYMUNDO, 2009).

Cunha, Neto e Stackfleth (2016) destacam que as técnicas de validação que utilizam conteúdo, critério e construto tem sido satisfatórias na verificação da validade. Em relação à elaboração do instrumento de análise, Kline (1995) defende que a sequência ocorre na ordem: *I*) fundamentação teórica do teste, na qual é realizado um aprofundamento sobre o objeto que será avaliado; *II*) formulação de itens do teste: são elaborados mais itens do que os que de fato serão utilizados no instrumento de análise; *III*) análise preliminar da dificuldade dos itens: nessa etapa é realizada a análise dos juízes especialistas; *IV*) análise da fidedignidade: a consistência interna do teste é verificada; *V*) validação do conjunto final de itens: definição de quais itens irão compor o instrumento, de forma que a análise possibilite a compreensão do objeto em análise; *VI*) padronização: descrição da aplicação, avaliação e interpretação do instrumento de análise (KLINE, 1995).

A validação nessa pesquisa ocorreu por meio de seis professores do ensino superior, três especialistas em eletroquímica e três especialistas em ensino de química.

3.6 Levantamento dos dados

Para levantamento dos dados foi realizada uma busca na plataforma e-MEC, a fim de se levantar os cursos de química reconhecidos pelo Ministério da Educação, de acordo com os filtros mostrados na Figura 4. Como primeiro critério de exclusão, a busca considerou os cursos de graduação, com a pesquisa exata pelo curso de química, na modalidade presencial, em atividade e oferecido gratuitamente. Foram considerados as modalidades licenciatura e bacharelado.

Figura 4. Imagem da plataforma e-Mec.

The image shows the search interface of the e-MEC platform. At the top, there are three tabs: 'Consulta Avançada' (selected), 'Consulta Textual', and 'IES Extintas'. Below the tabs, the search criteria are as follows:

- Buscar por:** Radio buttons for 'Instituição de Ensino Superior', 'Curso de Graduação' (selected), and 'Curso de Especialização'.
- Nome, Sigla ou Código da Instituição:** An empty text input field.
- Curso:** A text input field containing 'Química' and a checked checkbox for 'Pesquisa Exata'.
- Classificação de Curso:** Four dropdown menus for 'Selecione Área Geral', 'Selecione Área Específica', 'Selecione Área Detalhada', and 'Selecione Área Curso'. A red warning message is present: 'Filtro indisponível: Em processo de atualização para a nova tabela de classificação CINE Brasil.'
- UF:** A dropdown menu with 'Selecione...' selected.
- Município:** A dropdown menu with 'Selecione...' selected.
- Gratuidade do Curso:** A dropdown menu with 'Sim' selected.
- Modalidade:** Radio buttons for 'A Distância' and 'Presencial' (checked).
- Grau:** Radio buttons for 'Bacharelado', 'Licenciatura', 'Tecnológico', and 'Sequencial'.
- Índice:** A dropdown menu with 'Selecione...' selected and radio buttons for '1', '2', '3', '4', '5', and 'SC'.
- Situação:** A dropdown menu with 'Em Atividade' selected.

Fonte: Website e-MEC⁹ (2024).

⁹ Essa interface é uma foto digital retirada do buscador do site: <https://emec.mec.gov.br/emec/nova>.

Como segundo critério de exclusão, foram desconsiderados dos 322 resultados, os institutos de pesquisa, sendo mantidas apenas as universidades públicas.

Como terceiro critério de exclusão, foram mantidos apenas os cursos que estão, efetivamente, em funcionamento. Das 94 universidades públicas que oferecem o curso de química na forma presencial, foi obtido um total de 222 cursos, dos quais 2 estão extintos e 9 ainda não foram iniciados até o momento da pesquisa. Mesmo utilizando o filtro para selecionar apenas “cursos em atividade” os dados brutos ainda retornaram cursos inativos e não operantes, o que justifica esse critério. O quadro com as universidades pesquisadas pode ser consultado no apêndice.

Como documentos para consulta das disciplinas foram utilizados projetos políticos dos cursos, ementas e grades curriculares, inicialmente obtidos nos *websites* das universidades. Para as universidades que não possuíam os documentos citados disponibilizados em seus respectivos *websites*, foram enviados e-mails solicitando os respectivos documentos, sendo obtido apenas um retorno parcial. Os cursos em que os documentos não puderam ser obtidos nem por solicitação via *e-mail*, foram excluídos do *corpus* de análise (quarto critério de exclusão).

O quinto critério de exclusão foram os cursos que não foram localizados disciplinas que abordam o conteúdo de eletroquímica. Para o levantamento das bibliografias indicadas nas disciplinas que abordam eletroquímica, foi utilizado como critério a inclusão de disciplinas que apresentaram o termo “eletroquímica” no conteúdo programático ou no nome da disciplina, sendo consideradas apenas as disciplinas teóricas e obrigatórias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Reconstrução e validação do *checklist*

O *checklist*, instrumento utilizado para analisar livros didáticos do ensino superior de eletroquímica, foi reformulado a partir do trabalho de Freitas (2021). A reformulação foi realizada, principalmente, para incluir fatores relacionados ao ensino de eletroquímica que atrapalham a construção do conhecimento, como concepções alternativas e obstáculos epistemológicos.

Além da inclusão de aspectos relacionados ao ensino de eletroquímica, os conceitos fundamentais para a compreensão de eletroquímica foram rediscutidos,

sendo as duas etapas acompanhadas por especialistas da área de eletroquímica e de ensino de química. A validação do *checklist* foi realizada por seis especialistas, sendo três da área de eletroquímica e três da área de ensino de química.

Para a validação foram considerados aspectos como clareza e pertinência, além de um espaço para observações, no qual os especialistas colocaram sugestões de inclusão ou alteração dos conceitos discutidos, além de reformulação de assertivas. O *checklist* completo pode ser consultado no apêndice A, já no formato final de aplicação para análise de livros didáticos.

Com a reformulação, o *checklist* ficou dividido em sete blocos, sendo eles: I) Pré-requisitos fundamentais para a compreensão da Eletroquímica; II) Contextualização Histórica da Eletroquímica; III) Conceitos Fundamentais da Química Geral para a Eletroquímica; IV) Relação da Eletroquímica com a Eletricidade e a Termodinâmica Química; V) Conceitos relacionados às Células Eletroquímicas; VI) Problemas relacionados às ilustrações e esquemas; VII) Obstáculos epistemológicos e concepções alternativas.

O Quadro 2 aborda o bloco I do *checklist*, relacionado aos conceitos basilares da física, como definição de conceitos estruturantes, fundamentais para o entendimento da eletroquímica.

Quadro 2. Pré-requisitos fundamentais para a compreensão da Eletroquímica.

Questões	Definição
O livro didático aborda a definição e explica os conceitos essenciais de eletricidade para o ensino da Eletroquímica?	
✓ Carga elétrica;	<i>Propriedade que define o estado de eletrificação das partículas que compõem o átomo, sendo o próton a carga positiva, e o elétron a carga negativa. Um átomo, ou um conjunto de átomos, pode não ser eletricamente neutro. Nesse caso, íons de carga total positiva, cátions, apresentam excesso de prótons em relação aos elétrons. Já íons com carga total negativa, ânions, apresentam excesso de elétrons em relação ao número de prótons.</i>
✓ Força elétrica;	<i>Força que uma carga elétrica exerce sobre a outra. Pode ser classificada como repulsiva, em cargas de mesma natureza (sinal); ou atrativa, em cargas de natureza contrária (sinais opostos).</i>
✓ Campo elétrico;	<i>Região do espaço sujeita à interação elétrica entre cargas, ou seja, região do espaço na qual uma carga elétrica sofre uma perturbação causada pela presença de outra carga.</i>
✓ Energia potencial elétrica;	<i>Energia associada à uma carga elétrica em um ponto do espaço onde há campo elétrico. É decorrente da atração e/ou repulsão entre cargas.</i>
✓ Potencial elétrico;	<i>Quantidade de energia potencial elétrica em um ponto por unidade de carga naquele mesmo ponto.</i>
✓ Trabalho elétrico;	<i>Energia em trânsito associada à movimentação de cargas em um campo elétrico.</i>
✓ Corrente elétrica.	<i>Movimento ordenado das cargas elétricas, pode ser contínuo ou alternado.</i>

Fonte: Elaboração própria.

Conceitos básicos de física são importantes para a construção do conhecimento em eletroquímica, visto que a maior parte dos processos eletroquímicos envolve esses conhecimentos prévios.

Já o Quadro 3 apresenta o segundo bloco do *checklist*, o qual discute aspectos históricos, contextualizando a história da eletroquímica por meio dos principais cientistas precursores da área.

Quadro 3. Contextualização histórica da Eletroquímica.

Questões	Definição
O livro didático traz uma contextualização histórica sobre o desenvolvimento dos conceitos da eletricidade?	
O livro didático apresenta uma introdução e/ou contextualização histórica do desenvolvimento da Eletroquímica e dos principais cientistas que contribuíram para o início da Eletroquímica?	
✓ Luigi Galvani;	<i>Eletricidade animal, experimento de dissecação de rãs, em que foi observado a contração muscular, quando a ponta do bisturi era movida para perto de um ou outro nervo.</i>
✓ Alessandro Volta;	<i>Eletricidade artificial, criação da pilha voltaica, por meio da montagem de uma pilha de dois diferentes metais mantendo a sequência dos metais intercalados por um líquido, solução salina ou pasta condutora de eletricidade.</i>
✓ Humphry Davy;	<i>Equipamento para gerar eletricidade em grandes quantidades (pilha de Volta); Isolamento de metais como potássio, bário, magnésio, sódio e cálcio.</i>
✓ Michael Faraday;	<i>Se dedicou ao estudo da indução magnética da corrente elétrica, leis da eletrólise, constante de Faraday.</i>

Fonte: Elaboração própria.

A contextualização é importante para evitar uma visão ahistórica e de crescimento linear nos estudantes, além de possibilitar uma compreensão do estado atual da eletroquímica, trazendo informações sobre os experimentos precursores de muitos dispositivos utilizados atualmente.

O Quadro 4 e o Quadro 5 apresentam, respectivamente, os blocos *III* e *IV* do *checklist*, que discutem os conceitos fundamentais de química geral, eletricidade e termodinâmica química, que são importantes para o entendimento de eletroquímica, abordando conceitos tanto isoladamente, como inter-relacionados.

Quadro 4. Conceitos Fundamentais da Química Geral para a Eletroquímica.

Questões	Definição
O livro didático aborda a definição e explica os conceitos essenciais da química para o ensino da Eletroquímica?	
✓ Oxidação;	<i>Perda de elétron(s) sofrida por uma espécie ao participar de um processo redox, com o conseqüente aumento do número de oxidação.</i>
✓ Redução;	<i>Ganho de elétron(s) sofrido por uma espécie redox, com a conseqüente diminuição do número de oxidação.</i>
✓ Agente oxidante;	<i>Espécie que provoca a oxidação em uma reação redox, e é reduzida no processo.</i>

✓ Agente redutor;	<i>Espécie que provoca a redução em uma reação redox, e é oxidada no processo.</i>
Número de oxidação (Nox):	
✓ É apresentada a definição e o cálculo do Nox?	<i>Carga elétrica que qualquer átomo teria se todos os átomos presentes na espécie participassem de uma ligação perfeitamente iônica.</i>
✓ É discutida a diferença entre Nox e carga formal?	<i>O Nox pode ser definido como a carga que o átomo teria se todos os ligantes fossem removidos juntamente com seus pares de elétrons compartilhados. Carga formal é a carga que mais se aproxima da carga real de um íon, na qual o par de elétrons compartilhado é igualmente dividido entre os átomos que participam da ligação. Em outras palavras, o cálculo de Nox considera que toda ligação química é perfeitamente iônica, enquanto o conceito de carga formal considera que toda ligação química é perfeitamente covalente.</i>
✓ Reação redox;	<i>Reação na qual ocorre transferência de elétrons entre as espécies químicas.</i>
✓ Balanceamento de carga e massa;	<i>O balanceamento é necessário visto que massa e carga totais, de reagentes e produtos, são propriedades conservativas.</i>
✓ Balanceamento redox em reações simples;	<i>Nas reações simples, as espécies reagentes e produtos já estão apresentadas na equação de reação, sendo realizado apenas o acerto dos coeficientes estequiométricos.</i>
✓ Balanceamento redox em reações complexas;	<i>Nas reações complexas, são adicionadas espécies como H^+, H_2O e OH^- para realizar o balanceamento de massa e, posteriormente, o de carga.</i>

Fonte: Elaboração própria.

São discutidos conceitos isolados que envolvem tanto a química geral quanto a eletroquímica, e conceitos mais complexos, como reações redox e balanceamento. É fundamental ter compreensão correta desses conceitos para que relações mais complexas sejam estabelecidas, como as discutidas no quadro abaixo.

Quadro 5. Relação da Eletroquímica com a Eletricidade e a Termodinâmica Química.

Questões	Definição
O livro didático define o conceito de Eletroquímica?	<i>A eletroquímica é a ciência que estuda a transformação de substâncias para produzir energia elétrica (reações espontâneas), e o emprego de eletricidade para a produção de insumos de interesse (reações não espontâneas)</i>
O livro didático mostra a importância da compreensão dos fenômenos elétricos e termodinâmicos para a compreensão dos fenômenos eletroquímicos?	<i>Discussão da necessidade dos conhecimentos elétricos, termodinâmicos e cinéticos para compreensão dos fenômenos eletroquímicos.</i>
O livro didático aborda conceitos de termodinâmica essenciais para o ensino de Eletroquímica?	
✓ O conceito de espontaneidade termodinâmica é apresentado no livro?	<i>A espontaneidade, a pressão constante, está associada à variação da energia de Gibbs de reação (ΔG_r). Se a variação for menor do que zero, a reação será espontânea, pois seu abaixamento implica no aumento da entropia do Universo. Se a variação for maior do que zero, a reação não será espontânea, pois, de acordo com a Segunda Lei, ocorreria a diminuição da entropia do Universo.</i>
✓ É estabelecida uma relação entre o critério de espontaneidade, potenciais de equilíbrio, ddp da célula e seu sinal matemático?	<i>O sinal da diferença de potencial está associado à espontaneidade da reação, devido à Equação de Nerst. Diferenças de potenciais positivas estão associadas às reações espontâneas, enquanto diferenças de potenciais negativas estão relacionadas às reações não espontâneas. O mesmo se aplica aos potenciais de equilíbrio.</i>

Energia de Gibbs (ΔG):	
✓ É definido o conceito de ΔG ?	A energia de Gibbs de reação (ΔG_r) é o trabalho elétrico máximo que pode ser extraído de um sistema galvânico, ou o trabalho elétrico mínimo que deve ser empregado em um sistema eletrolítico. É utilizado como critério de espontaneidade de uma reação.
✓ O livro apresenta a diferença entre estado padrão e estado normal?	No estado padrão é considerado a temperatura de 273,15 K e a pressão de 10^5 Pa (1 bar). No estado normal é considerado a mesma temperatura, 273,15 K, porém a pressão de 101325 Pa (1 atm).
✓ Os conceitos termodinâmicos ($\Delta G = w_e$) são relacionados com os conceitos elétricos ($\Delta E = \frac{-w_e}{q}$), apresentados como $\Delta G = -nF\Delta E$?	Discussão das equações matemáticas que relacionam, quantitativamente, as grandezas termodinâmicas e elétricas.
✓ O livro define o que é a diferença de potencial (ddp) e explica o sinal do cálculo matemático da ddp da célula?	A diferença de potencial é a quantidade de trabalho realizado para mover uma carga entre dois pontos. Em uma célula eletroquímica, é a medida entre os condutores metálicos dos eletrodos do lado direito e do lado esquerdo, com os terminais produzidos no mesmo metal. O sinal matemático da diferença de potencial indica o sentido no qual a reação está ocorrendo espontaneamente. No caso do sinal positivo, a reação está ocorrendo do ânodo para o cátodo. Já o sinal negativo indica que a reação ocorre espontaneamente no sentido oposto. Nesse caso, para que a reação ocorra no sentido direto, é necessária uma fonte de energia externa.
✓ É discutido o motivo pelo qual o potencial da célula não é multiplicado pelos mesmos fatores que corrigem os coeficientes estequiométricos utilizados para o balanceamento de cargas?	O potencial da célula é uma grandeza intensiva normalizada por carga e que não depende da extensão do sistema.

Fonte: Elaboração própria.

Na discussão envolvendo a relação da eletroquímica com a eletricidade e a termodinâmica química, os conceitos são mais complexos, inter-relacionando diferentes definições discutidas anteriormente, além de envolver cálculos matemáticos mais elaborados.

No Quadro 6 é representado o bloco V do *checklist*, no qual são apresentados conceitos relacionados às células eletroquímicas, seus tipos e suas composições, e os tipos de potenciais envolvidos.

Quadro 6. Conceitos relacionados às Células Eletroquímicas

Questões	Definição
O livro apresenta o conceito de células Eletroquímicas?	Uma célula eletroquímica é capaz de transformar energia química em energia elétrica, ou produzir nova(s) substância(s), a partir de reações redox.
O livro diferencia as células galvânicas e eletrolíticas com base no ΔG ?	Nas células galvânicas, $\Delta G < 0$, visto que se trata de uma reação espontânea. Nas células eletrolíticas, $\Delta G > 0$, pois a reação é não espontânea no sentido estabelecido na equação química.
É discutido o sinal dos eletrodos na célula galvânica?	O eletrodo em que ocorre a reação espontânea de oxidação assume carga negativa e o eletrodo em que ocorre a reação espontânea de redução assume carga positiva.

É discutida a necessidade de uma fonte de energia externa nas células eletrolíticas?	<i>Uma fonte de energia externa é necessária para fornecer a quantidade de energia exigida para que a reação ocorra.</i>
No livro didático são apresentados os conceitos e elementos envolvidos nas células Eletroquímicas?	
✓ São apresentados os conceitos de cátodo e ânodo?	<i>Cátodo é o eletrodo no qual ocorre, majoritariamente, a redução e assume sinal elétrico negativo. Ânodo é o eletrodo no qual ocorre, majoritariamente, a oxidação e assume sinal elétrico positivo.</i>
✓ É discutida a função e composição da ponte salina?	<i>Meio material que conecta os compartimentos da esquerda e da direita de um dispositivo eletroquímico, o qual permite o fluxo iônico responsável pela passagem de corrente elétrica no interior da célula. A ponte clássica é composta, normalmente, por um tubo de vidro, em formato de U invertido, com solução salina, com cátions e ânions de mobilidade iônica semelhante.</i>
✓ É apresentada a função do eletrólito?	<i>O eletrólito permite a condução dos íons, facilitando o fluxo de corrente elétrica na solução. O eletrólito permite o fluxo de íons, cargas positivas e negativas dentro da solução. Na presença de um campo elétrico entre os eletrodos produz um movimento orientado de cargas positivas em direção ao eletrodo negativo e de cargas negativas em direção ao eletrodo positivo, fechando o circuito elétrico na célula eletroquímica. A presença de eletrólito em concentração adequada facilita a passagem de corrente elétrica através da solução e evita a polarização dos compartimentos.</i>
✓ Equação de Nernst; $E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln Q$	<i>Equação que relaciona o potencial da célula com as atividades das espécies envolvidas na reação.</i>
✓ Compartimento da esquerda e da direita quando a célula se encontra em equilíbrio;	<i>Refere-se à nomenclatura dos compartimentos quando a célula se encontra em equilíbrio, sendo que no compartimento da esquerda ocorrerá, majoritariamente, a oxidação, e no compartimento da direita, a redução, quando a célula estiver em funcionamento.</i>
✓ Compartimento anódico e catódico, quando a célula se encontra em funcionamento;	<i>Refere-se à nomenclatura dos compartimentos quando a célula se encontra em funcionamento como célula eletrolítica.</i>
✓ O livro didático apresenta e interpreta o resultado do cálculo do potencial da célula ($E_{\text{direita}} - E_{\text{esquerda}}$);	<i>Apresentação e discussão da equação $E_{\text{direita}} - E_{\text{esquerda}}$, e interpretação do sinal da grandeza e do valor absoluto. É importante destacar a utilização da nomenclatura E_{direita} e E_{esquerda} no lugar de $E_{\text{cátodo}}$ e $E_{\text{ânodo}}$.</i>
✓ O livro didático diferencia processos eletroquímicos nos quais participam espécies em solução e espécies que constituem o próprio eletrodo (atividade química dos eletrodos);	<i>São considerados os diferentes estados de agregação nas espécies químicas, além de serem diferenciados os eletrodos reativos (nos quais as espécies participam efetivamente da reação redox) e os inertes (que não se alteram quimicamente durante o processo).</i>
✓ O livro apresenta adequadamente o sentido do fluxo elétrico e corrente elétrica;	<i>O sentido do fluxo elétrico é contrário ao sentido da corrente que atravessa o sistema.</i>
O livro apresenta as definições dos potenciais:	
✓ Potencial redox;	<i>Potencial medido em relação à um eletrodo de referência, em volts, da tendência do eletrodo de receber ou doar elétrons em uma reação redox.</i>
✓ Potencial padrão;	<i>Potencial de uma célula hipotética na qual o eletrodo da esquerda é o eletrodo de hidrogênio padrão (EHP) e o eletrodo da direita é o eletrodo em estudo. É medido à temperatura de 298K. Em soluções</i>

		<i>aquosas a concentração de cada espécie dissolvida é 1mol.L⁻¹ e o gás está a pressão de 1 bar.</i>
✓ Potencial equilíbrio;	de	<i>Potencial medido em uma célula eletroquímica quando a reação redox está em equilíbrio e, portanto, não há fluxo líquido de corrente elétrica.</i>
✓ Potencial eletroquímico.		<i>Medida de escape de um mol partículas carregadas, íon ou elétron, em uma determinada fase.</i>

Fonte: Elaboração própria.

Nesse bloco são discutidas as definições das células galvânicas e células eletrolíticas, suas diferenças, sobre as nomenclaturas utilizadas, estrutura e suas funções, além dos diferentes tipos de potenciais. Esse quadro exige que os conceitos discutidos nos quadros anteriores tenham sido compreendidos integralmente, para que seja possível estabelecer relações mais complexas, como as envolvidas nas células eletroquímicas.

No Quadro 7 são abordados os problemas relacionados às ilustrações e esquemas, discutidos no bloco VI do *checklist*. O objetivo é verificar se os esquemas e as ilustrações estão representados corretamente, e se há presença de obstáculos epistemológicos nas ilustrações, que podem comprometer a construção do conhecimento científico.

Quadro 7. Problemas relacionados às ilustrações e esquemas

Questões	Definição
O livro didático apresenta figuras que ilustram o funcionamento das células Eletroquímicas?	<i>Apresentação de figuras que representem, em nível fenomenológico e submicroscópico, os processos envolvidos no funcionamento de células galvânicas e eletrolíticas.</i>
As figuras ilustrativas apresentam:	
✓ O voltímetro de alta impedância de entrada quando associado em paralelo ou em série ao circuito externo da pilha;	<i>As imagens devem diferenciar e explicar os fenômenos que ocorrem na pilha quando o voltímetro está em série ou em paralelo no circuito externo. O voltímetro em série impede a passagem de corrente elétrica pelo circuito externo e, portanto, as reações redox não ocorrem. No entanto, se o voltímetro estiver disposto em uma montagem em paralelo, a corrente elétrica pode percorrer o sistema e as reações redox podem ocorrer.</i>
✓ Os conceitos de corrente, fluxo de elétrons e equilíbrio químico;	<i>Os fluxos de elétrons e a corrente são apresentados em sentidos contrários. O equilíbrio químico está associado à ausência de corrente e fluxo de elétrons.</i>
✓ Os compartimentos anódicos e catódicos;	<i>As imagens devem apresentar claramente os processos que ocorrem nos distintos compartimentos anódicos e catódicos das células eletroquímicas.</i>
✓ O amperímetro em série, no circuito externo da pilha;	<i>As imagens devem explicitar o fenômeno da medição da corrente elétrica, por meio de uma montagem que considere um amperímetro em série no circuito externo da pilha.</i>
São verificados obstáculos epistemológicos nas ilustrações e esquemas?	<i>Identificar em ilustrações ou esquemas obstáculos verbais, substancialistas, animistas ou realistas (ver definições dos obstáculos no quadro 7).</i>

Fonte: Elaboração própria.

Ainda na identificação de problemas, mas, nesse caso, presentes no texto, o Quadro 8 aborda as questões relacionadas ao ensino de eletroquímica, no qual são

verificadas a presença de obstáculos epistemológicos e concepções alternativas, que podem prejudicar o processo de ensino e aprendizagem.

Quadro 8. Obstáculos epistemológicos e concepções alternativas

Questões	Definição
São verificados obstáculos epistemológicos:	
✓ Obstáculo verbal;	<i>Quando o uso de termos de senso comum, analogias ou figuras causa uma interpretação que difere do conhecimento científico vigente. O grande problema é estabelecer uma metáfora sem explicitar o domínio do análogo. Geralmente, surge de generalizações, ou seja, quando se tenta sintetizar vários fenômenos em uma única palavra ou imagem. Também pode ter origem na busca por comparar algo concreto a algo abstrato, sem o apoio do conhecimento científico, sem uma discussão prévia de ideias. Exemplo: usar o termo “incrustado” para os elétrons do modelo atômico de Thomson transmite a ideia de que esses estão apenas na superfície do átomo, na crosta.</i>
✓ Obstáculo animista;	<i>Atribuição de vontades, sentimentos e preferências a um fenômeno inanimado. Está ligado a atribuição de características próprias de seres vivos à objetos. Por exemplo, afirmações como “o líquido não gosta de se misturar com ninguém”. Nesse caso, o problema está em atribuir sentimento ao líquido.</i>
✓ Obstáculo realista;	<i>Generalização que impede um conhecimento mais aprofundado. Surge como uma dificuldade de explicar propriedades macroscópicas (fenomenológico) com modelos e teorias em nível submicroscópico. Supervaloriza impressões táteis e visuais. Exemplos: entender um modelo atômico como algo real, ou seja, como uma cópia ou ampliação da realidade.</i>
✓ Obstáculo substancialista;	<i>Atribuição de qualidade superficial, na qual um conjunto de propriedades é associado à uma única causa. Um exemplo desse obstáculo é a atribuição de acidez somente à presença de hidrogênios ionizáveis na molécula.</i>
O livro utiliza o termo ddp no lugar de força eletromotriz (f.e.m.)?	<i>O nome força eletromotriz não é recomendado, pois uma diferença de potencial não é uma força.</i>
São verificadas concepções alternativas?	<i>Conceitos alternativos à ciência, que divergem das concepções científicas historicamente estabelecidas e validadas. Como exemplo, verificado em alunos, pode-se citar: “Necessidade do oxigênio para ocorrência da reação de oxirredução”, “Ponte salina auxilia no fluxo de elétrons”</i>

Fonte: Elaboração própria.

Esse último quadro refere-se ao bloco VII do *checklist* que tem como objetivo identificar obstáculos e concepções que possam comprometer ou distorcer o aprendizado.

Em relação à estrutura do *checklist*, os blocos de I a VI apresentam o fator a ser analisada, a definição dessa questão, e os campos “adequado”, “necessita revisão” e “não adequado”. Essa disposição permite que o usuário tenha acesso à definição correta do conceito, podendo compará-la com o conteúdo do livro que está sendo analisado. Para os casos que o livro abrange a definição integralmente, marca-se o campo “adequado”. Quando a definição é abrangida apenas parcialmente, o conceito deve ser considerado como “necessita revisão”, sinalizando que apenas o livro que está sendo analisado não será suficiente para compreensão total do item. Nos casos em que o conceito não é citado no livro, ou é citado com uma definição errônea, o item é considerado “não adequado”.

Já o bloco VII, apesar de apresentar o fator e sua definição, possui uma forma de avaliação diferenciada. Por se tratar de obstáculos epistemológicos e concepções alternativas, não há a possibilidade da mesma ser verificada parcialmente, sendo avaliada como “sim” nos casos em que estão presentes nos livros didáticos, e como “não” nos casos nos quais sua presença não é constatada.

Com a disposição do *checklist* acima discutida, é possível verificar o quanto o livro abrange o conteúdo de eletroquímica, ou nos casos de um tópico específico, o quanto a necessidade é atendida. Tal verificação é facilitada pela rápida visualização no preenchimento dos campos de avaliação. Entende-se como um bom livro para estudo presente, majoritariamente, o campo “adequado” preenchido nos itens avaliados. Livros com numerosas marcações no campo “necessita revisão” e “não adequado” devem ser evitados, ou utilizados com atenção aos conceitos que precisam ser consultados em um outro livro.

Destaca-se que o fato de um livro ser considerado como bom, por apresentar avaliação predominantemente positiva, não significa que o livro aborde integralmente todos os tópicos do *checklist*. Recomenda-se a utilização de outros livros para o estudo dos tópicos abordados listados como “necessita revisão” ou “não adequado”, com o intuito de abranger o conteúdo plenamente.

4.2 Levantamento dos livros que abordam conteúdos de físico-química mais utilizados em instituições de ensino superior

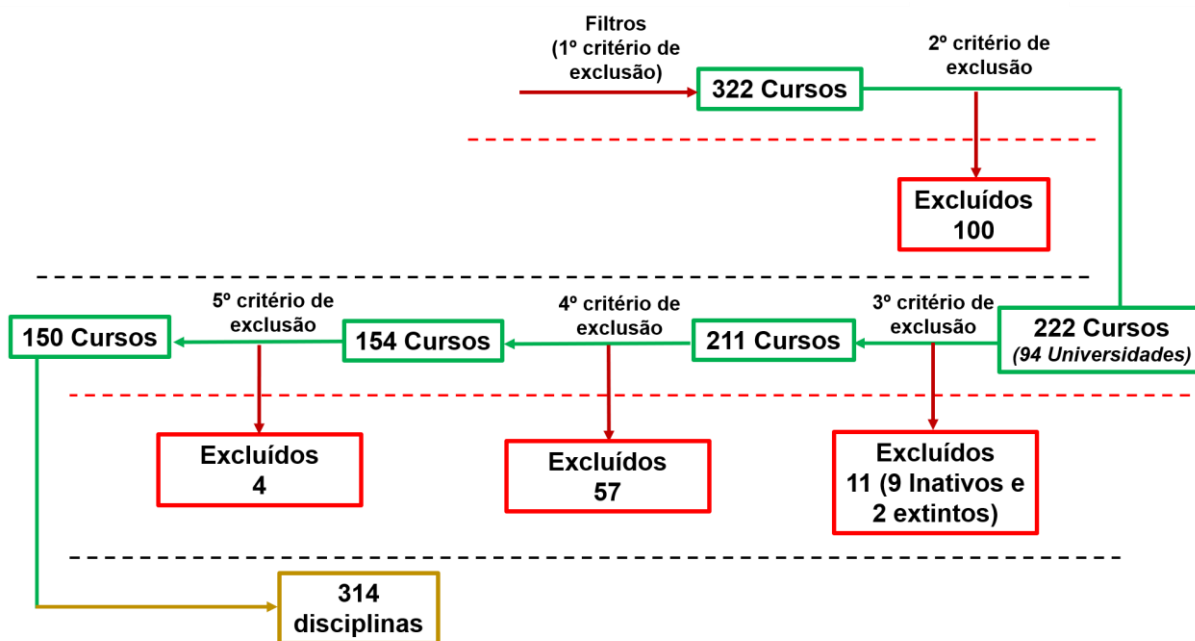
Os resultados brutos dos dados de pesquisa retornaram 322 resultados, dos quais foram excluídos os institutos, sendo mantidas apenas as universidades públicas. Das 94 universidades públicas que oferecem o curso de química na forma presencial, foi obtido um total de 222 cursos, dos quais 2 estão extintos e 9 ainda não foram iniciados até o momento da pesquisa e, portanto, foram excluídos, resultando em 211 cursos. O quadro com as universidades pesquisadas, os cursos, a localização e as disciplinas pesquisadas pode ser consultado no apêndice B.

Dos 211 cursos, foram localizadas as bibliografias indicadas nas disciplinas que abordam eletroquímica em 150 cursos. Em 4 cursos não foram identificadas disciplinas que abordassem eletroquímica, de acordo com os critérios utilizados. Em 57 cursos, não foram localizadas as bibliografias recomendadas.

Nos cursos nos quais a bibliografia não foi localizada, o campo “disciplina” no quadro encontra-se em branco. Os 4 cursos que possuem bibliografia, mas não

abordam eletroquímica nos critérios utilizados nessa pesquisa, também estão sinalizados no campo “disciplina”. No total, foram analisadas 314 disciplinas que possuíam bibliografia. O quadro com todos os livros indicados pode ser consultado no apêndice C. Todo o processo de seleção dos dados está sumarizado no esquema da Figura 5.

Figura 5. Critérios de exclusão utilizados.



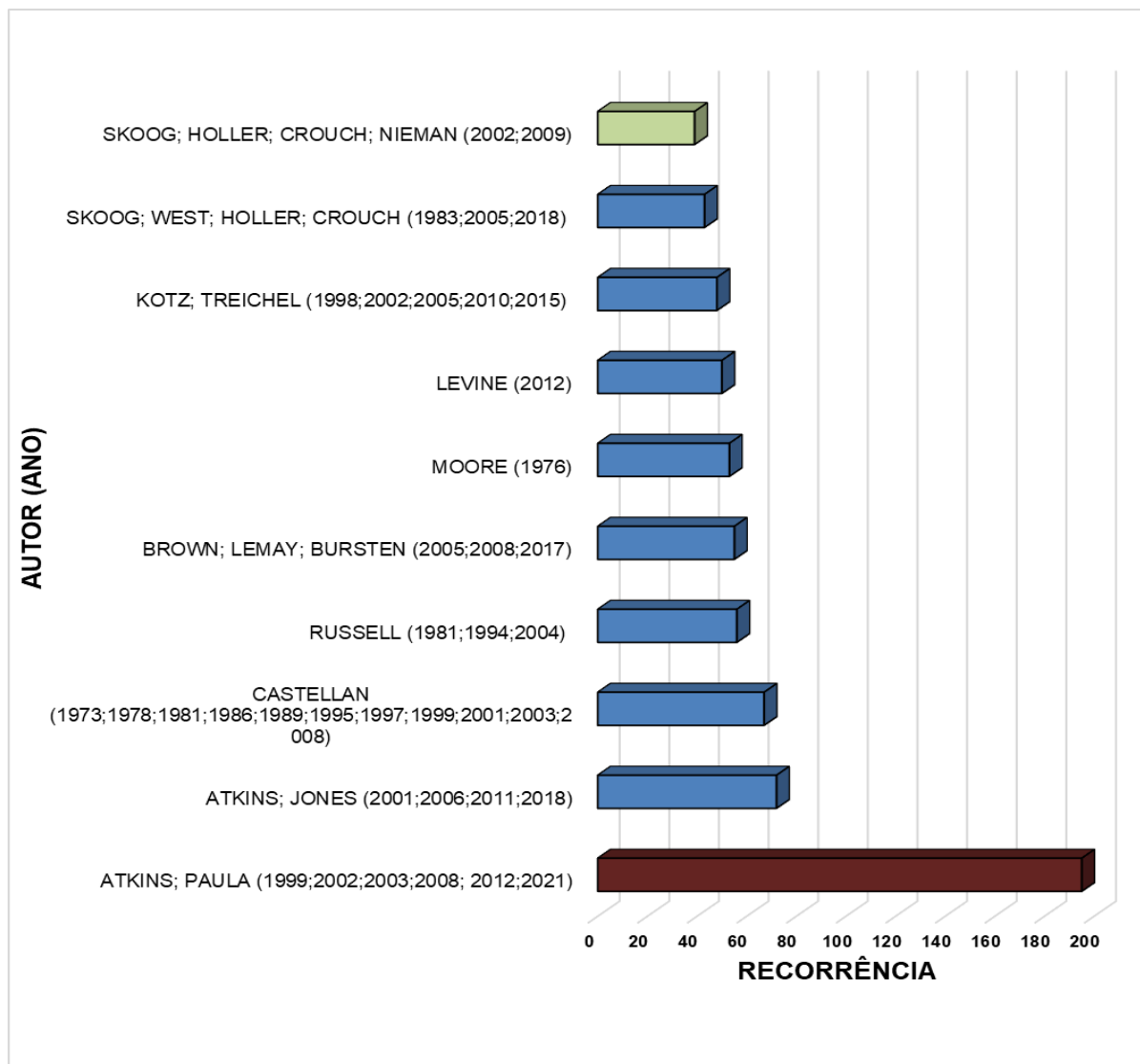
Fonte: Elaboração própria.

Para o levantamento dos livros foram utilizados como fontes de consulta as ementas e os projetos político-pedagógico dos cursos. Foram considerados somente as indicações de bibliografia básica, sendo identificados, no total, 280 livros diferentes, sendo consideradas as diferentes edições. Dentre os livros indicados nas disciplinas que continham eletroquímica, 40% são da área de físico-química, 21% referem-se à livros de química analítica, 18% listam livros de química geral, 4% indicam livros de química inorgânica e 16% englobam outros livros, como física, química ambiental e ensino de química.

Na Figura 6 é apresentado um gráfico com os dez livros mais indicados nas bibliografias das ementas que abordam eletroquímica. Destaca-se que, dos 10 livros com maior recorrência, apenas 4 são de físico-química, sendo o restante livros de química geral e química analítica. Tal resultado pode ser associado às disciplinas nas quais o conteúdo de eletroquímica é abordado, não sendo muitas vezes uma disciplina específica da área. No apêndice B, observa-se a variedade de disciplinas na qual o

tema é abordado, estando presente disciplinas de química geral, análise instrumental, química analítica, entre outros.

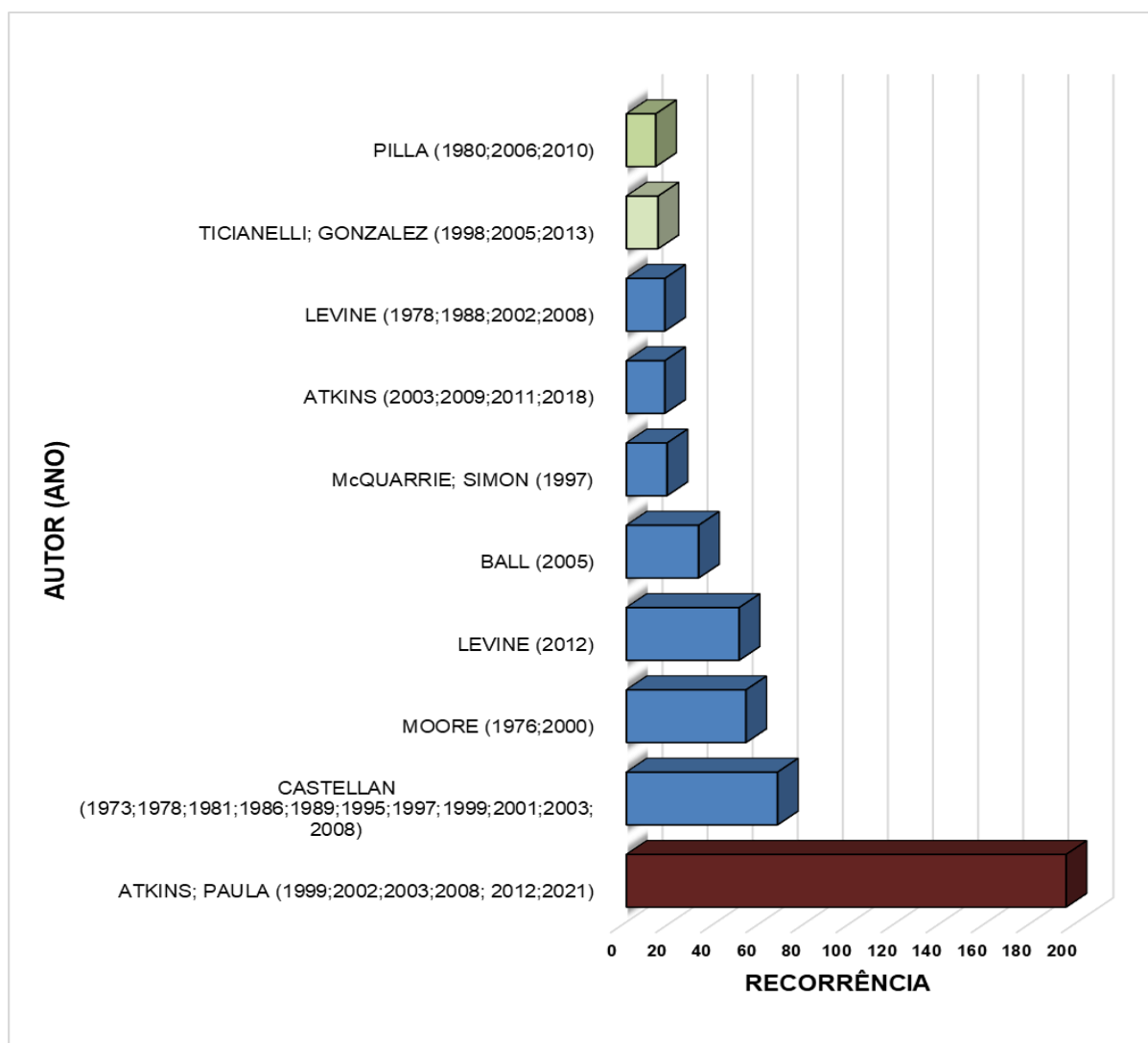
Figura 6. Livros mais indicados.



Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 7 é apresentado um gráfico com os dez livros de físico-química com maior recorrência. Comparando-se as extremidades do gráfico, é possível verificar a discrepância entre o livro mais indicado, dos autores Atkins e Paula, que somando-se as edições e volumes, totalizou 195 indicações. Já os livros dos autores Ticianelli e Gonzalez, e do Pilla, resultou em 14 e 13 indicações, respectivamente. A recorrência do livro mais indicado pode ser associada, entre outros fatores, à quantidade de edições e o número de volumes, que são maiores quando comparados aos dois últimos livros.

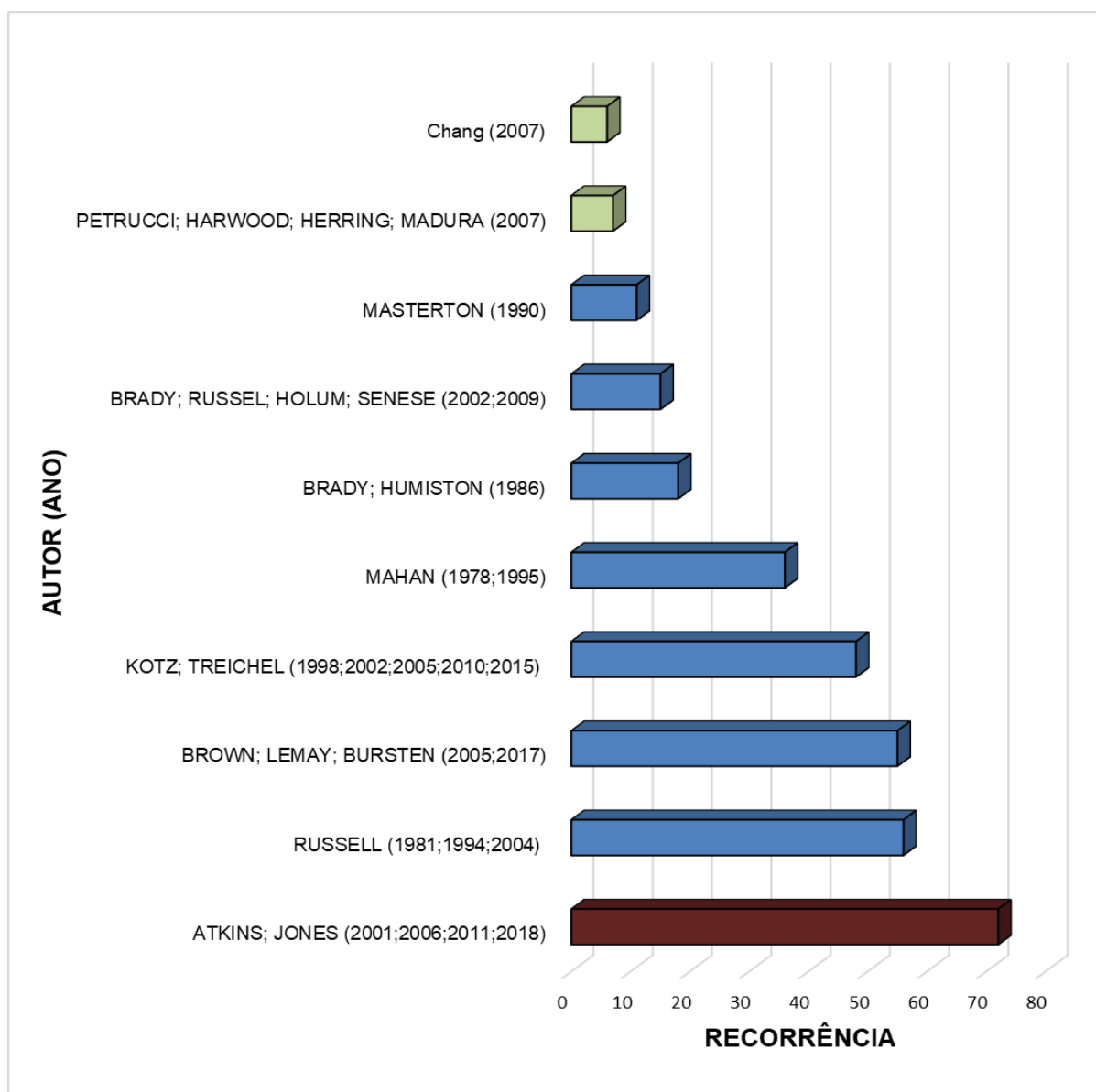
Figura 7. Livros de físico-química com maior recorrência.



Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 8 é apresentado um gráfico com os dez livros de química geral com maior recorrência. Como discutido na figura anterior, neste caso também se verifica uma discrepância significativa entre o primeiro livro, que foi indicado em 72 cursos, e o décimo livro que foi indicado apenas em seis cursos. Alguns dos fatores dessa discrepância podem ser associados ao número de edições do livro mais indicado, como também por serem livros comumente indicados nas universidades mais conhecidas nacionalmente.

Figura 8. Livros de química geral com maior recorrência.



Fonte: Elaboração própria.

Conforme discutido nas figuras acima, a recorrência dos livros mais indicados pode ser associada não apenas ao número de edições que os livros possuem, como também por serem livros comumente utilizados por outras universidades públicas. Ao se analisar as figuras 6, 7 e 8 é observado que os livros mais indicados tendem a abordar mais de um assunto, possibilitando que seja utilizado em mais de uma disciplina, o que pode ser um fator decisivo na escolha dos livros a serem adquiridos pelas universidades.

O quadro completo com todos os livros indicados pode ser consultado no apêndice. Nesse quadro os livros são apresentados com seus respectivos volumes e edições, não sendo agrupados como apresentado no gráfico.

Outro ponto observado foi a diversidade nos livros indicados, estando presentes não apenas livros de físico-química, como também de química geral, química analítica, física, química ambiental, análise instrumental, ensino de química, entre outros. Tal ponto pode ser atribuído ao fato da eletroquímica ser abordada, muitas vezes, em disciplinas gerais, não específicas.

Destaca-se ainda que o levantamento foi realizado conforme indicação nos documentos consultados. Alguns anos apresentados juntamente com os autores podem se referir ao ano de impressão, e não necessariamente ao ano da publicação, como no caso do Russell (2004). Nesse caso específico, o livro foi publicado em 1994, sendo apenas reimpresso em 2004. O mesmo caso aplicasse em outras divergências que possam vir a ser encontradas nas figuras 6, 7 e 8, e no quadro 11.

Quando se analisa a porcentagem dos livros indicados, percebe-se que os livros de físico-química não representam nem metade do total. A dificuldade no processo de ensino aprendizagem, além dos fatores discutidos nesse trabalho, pode ser atribuído também à falta de um material didático que abranja os conteúdos fundamentais para o entendimento da eletroquímica.

Compreende-se que seria oneroso ao orçamento das universidades públicas a aquisição de livros considerados como específicos. No processo de aquisição de livros didáticos, muitas vezes por possuir um orçamento limitado, as universidades públicas tendem a dar preferência a livros mais gerais, que contemplem mais de uma disciplina do curso, sendo comumente escolhido os que já são utilizados em outras universidades. Entretanto, é reforçada a necessidade de complementar o material de estudo, seja com livros eletrônicos ou artigos científicos, de forma a possibilitar a compreensão integral do assunto abordado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram discutidos os conceitos fundamentais da eletroquímica, sendo elencadas as definições necessárias para a construção do conhecimento em eletroquímica. Essa área da química foi escolhida devido à dificuldade apresentada tanto por professores, quanto pelos alunos, no processo de ensino e aprendizagem. Ademais, é uma área que impacta diretamente o atual modo de vida da sociedade moderna. A discussão dos conceitos foi acompanhada por dois especialistas, da área de eletroquímica e de ensino de química.

Também foram discutidos problemas inerentes ao processo de ensino e aprendizagem, como obstáculos epistemológicos e concepções alternativas, que comprometem e distorcem a construção do conhecimento e divergem do conhecimento científico vigente. As discussões foram realizadas utilizando-se livros didáticos do ensino superior, artigos, além do suporte dos especialistas.

Em paralelo foi realizado um levantamento dos principais livros indicados no ensino de eletroquímica, nos cursos de Química das universidades públicas brasileiras. O levantamento possibilitou identificar os principais livros recomendados nas bibliografias básicas, além de evidenciar que a eletroquímica muitas vezes é abordada em disciplinas gerais, não específicas. Foi observado que apenas 40% dos livros indicados são de físico-química, enquanto o restante abrange áreas como química geral, química analítica, química inorgânica, química ambiental, ensino de química e física.

Como instrumento para análise dos livros acima discutidos, foi reformulado um *checklist* dividido em 7 quadros, que permite ao professor, ou ao aluno, identificar se o livro é adequado para o conteúdo que se deseja estudar. O *checklist* abrange desde conceitos físicos básicos e história da eletroquímica, até as relações entre a eletroquímica e química geral, eletricidade e termodinâmica química. Os quadros são elencados de forma linear, de maneira que os últimos quadros abrangem conteúdos mais complexos, como células eletroquímicas e a identificação de problemas inerentes aos esquemas, e à presença de obstáculos epistemológicos e concepções alternativas.

REFERÊNCIAS

- ATKINS, P. W.; JONES, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- AVACA, L. A.; TOKORO, R. A história, evolução e crescimento da Eletroquímica: Eletroanalítica nestes últimos 25 anos. **Química Nova**, v. 25, p. 25 - 30, 2002.
- BARKE, H. D., HAZARI, A., YITBAREK, S. **Misconceptions in Chemistry**. Berlim: Springer, 2009.
- BARRETO, U. R. **Modelos em química: ensino, pesquisa e linguagem**. Curitiba: Appris, 2020.
- BARRETO, B. S. J; BATISTA, C. H.; CRUZ, M. C. P. Células eletroquímicas, cotidiano e concepções dos educandos. **Química Nova na Escola**, v. 39, n. 1, p. 52 - 58, 2017.
- BERLOTTI, M. Dificuldades conceituais no aprendizado de equilíbrios químicos envolvendo reações ácido-base. **Química Nova**. São Paulo, v. 34, n. 10, p. 1836 - 1839, 2011.
- BOCANEGRA, C. H. **Aspectos conceituais e epistemológicos do tema eletroquímica nos livros didáticos de química aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o ensino médio - PNLEM (2007)**. Dissertação de Mestrado – Rio Claro: UNESP – Universidade Estadual Paulista, 2010.
- BRASIL. Ministério da Educação. **PNLD**. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/component/content/article?id=12391:pnld>>. Acesso em: 23 jan. 2023.
- BRASIL. Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química. **Diário Oficial da União**, p. 25, 2001.
- BRASIL. Resolução CNE/CES 8, de 11 de março de 2002. **Diário Oficial da União**, p. 12, 2002.
- BROWN, T.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E. **Química: a ciência central**. 9 ed. São Paulo: Prentice-Hall, 2005.
- CAMEL, N. J. C.; PACCA, J. L. A. Concepções alternativas em eletroquímica e circulação da corrente elétrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 7 - 26, 2011.
- CHRISPINO, A. **O que é química**. São Paulo: Editora brasiliense, 1998.
- CRESWELL, J. W.; CLARK, V. L. P. **Pesquisa de Métodos Mistos**. Porto Alegre: Penso, 2013.

DOS SANTOS, M. C. G. et al. Estudos de eletroquímica e as aproximações com a estrutura da matéria no século XIX. **Scientia Naturalis**, v. 1, n. 3, 2019.

DOS SANTOS, M. C. G.; PORTO, P. A.; KIOURANIS, N. M. M. Michael Faraday rumo às Leis da Eletrólise: alguns experimentos. **Química Nova na Escola**, v. 42, n. 4, p. 330 - 336, 2020.

FARADAY, M. **A história química de uma vela**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2003.
GAMA, M. S.; AFONSO, J. C. De Svante Arrhenius ao Peagâmetro digital: 100 anos de medida de acidez. **Química Nova**, v. 30, p. 232 - 239, 2007.

FERRAZ, Z. S.; OLIVEIRA, R.; FONSECA, V. L. B. Ensino de eletroquímica: avaliação da capacidade de escolha e do aprendizado obtido por alunos do 3º ano a partir de videoaulas no *YouTube* – estudo de caso no IFMG – Campus de Ouro Preto. **Química nova na escola**, v. 43, n. 3, p. 1 – 10, 2021.

FERREIRA, A. S.; GONÇALVES, A. M.; SALGADO, J. T. S. Dificuldades de aprendizagem do conteúdo de eletroquímica no ensino médio. **Scientia Naturalis**, v. 3, n. 4, p. 1707 – 1720, 2021.

FLICK, U. **Introdução à metodologia de pesquisa**: um guia para iniciantes. Porto Alegre: Penso, 2013.

FREITAS, G. **Desenvolvimento e validação de um checklist para análise do conteúdo de Eletroquímica em Livros Didáticos de Ensino Superior**. Dissertação de Mestrado – Araraquara: UNESP – Universidade Estadual Paulista, 2021.

GARNETT, P. J.; TREAGUST D. F. Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: electric circuits and oxidation-reduction equations. **Journal of Research in Science Teaching**. v. 29, n. 2, p. 121 - 42, 1992a.

GARNETT, P. J.; TREAGUST D. F. Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: electrochemical (galvanic) and electrolytic cells. **Journal of Research in Science Teaching**. v. 29, n. 10, p. 1079 - 99, 1992b.

GOES, L. F.; FERNANDEZ, C.; AGOSTINHO, S. M. L. Concepções e dificuldades de um grupo de professores de química sobre conceitos fundamentais de eletroquímica. **Anais**, 2016.

IUPAC. International Union of Pure and Applied Chemistry. Compendium of Chemical Terminology. **Gold Book - Compendium of Chemical Terminology**. Version 2.3.3. Zurique: IUPAC, 2014.

JOHNSON, R.; ONWUEGBUZIE, A.; TURNER, L. Toward a definition of mix methods research. **Journal of mixed methods research**, v. 1, n. 2, p. 112 - 133, 2007.

KLIN, P. **The handbook of psychological testing**. London: Routledge, 1995.

LEAL, M. C. **Didática da Química: Fundamentos e práticas para o ensino médio**. Belo Horizonte: Dimensão, 2009.

LOPES, A. R. C. Livros didáticos: Obstáculos ao aprendizado da ciência química I – Obstáculos animistas e realistas. **Química Nova**, v. 15, n. 3, p. 254 - 261, 1992.

LOPES, A. R. C. Livros didáticos: obstáculos verbais e substancialistas ao aprendizado da ciência química. **Revista brasileira de Estudos pedagógicos**, v. 74, n. 177, p. 309 – 334, 1993.

LOPES, A. R. C. Potencial de Redução e Eletronegatividade. **Química Nova na Escola**, n. 4, p. 21 - 23, 1996.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MAHAN, B. M.; MYERS, R. J. **Química: um curso universitário**. 4. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1995.

MALHEIROS, B. T. **Metodologia de pesquisa em educação**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MOREIRA, M. A. **Metodologias e Pesquisa em Ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

MORTIMER, E. F.; AMARAL, L. O. F. Quanto mais quente melhor: Calor e temperatura no ensino de termoquímica. **Química nova na Escola**, n. 7, p. 30 – 35, 1998.

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H.; ROMANELLI, L. I. A proposta curricular de química do Estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. **Química Nova**, v. 23, n. 2, p. 273 – 283, 2000.

OGUDE, A. N.; BRADLEY, J. D. Electrode process and aspects relating to cell emf, current and cell components in operating electrochemical cells. **Journal of Chemical Education**, v. 73, n. 12, p. 29 - 34, 1996.

OKI, M. C. M. A eletricidade e a química. **Química Nova na Escola**, n. 12, p. 34 – 37, 2000.

PACCA, J. L. A. et al. Corrente elétrica e circuito elétrico: algumas concepções do senso comum. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 20, n. 2, p. 151 - 167, 2003.

PILLA, L. **Físico-química II: equilíbrio entre fases, soluções líquidas e eletroquímica**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2010.

POZO, J. I.; GÓMES CRESPO, M.A. **Aprender y enseñar ciencia**. Madrid: Ediciones Morata, 2013.

RAYMUNDO, V. P. Construção e validação de instrumentos: um desafio para a psicolinguística. **Letras de hoje**, v. 44, n. 3, p. 86 – 93, 2009.

REIS, J. M. C. **Obstáculos epistemológicos**: implicações na aprendizagem do conceito de átomo. 2015. 175 f. Dissertação de Mestrado – Maringá: UEM - Universidade Estadual de Maringá, 2015.

ROSA, M. I. F. P. S.; SCHNETZLER, R. P. Sobre a importância do conceito transformação química no processo de aquisição do conhecimento químico: subtítulo do artigo. **Química Nova na Escola**: Pesquisa no Ensino de Química, v. 1, n. 8, p. 31 - 35, 1998.

SANGER, M. J.; GREENBOWE, T. J., Common student misconceptions in electrochemistry: Galvanic, electrolytic, and concentration cells. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 34, n. 4, p. 377 - 398, 1997a.

SANGER, M. J.; GREENBOWE, T. J. Students' Misconceptions in Electrochemistry Regarding Current Flow in Electrolyte Solutions and the Salt Bridge. **Journal Chemical Education**, v. 74, n. 7, p.819 - 823, 1997b.

SANGER, M. J.; GREENBOWE, T. J. An Analysis of College Chemistry Textbooks As Sources of Misconceptions and Errors in Electrochemistry. **Journal Chemical Education**, v.76, n. 6, p. 853 - 860, 1999.

SANJUAN, M. E. C.; SANTOS, C. V.; MAIA, J. O.; SILVA, A. F. A. e WARTHA, E. J. Maresia: uma proposta para o ensino de eletroquímica. **Química Nova na Escola**, n. 31, p. 190-197, 2009.

SANMARTÍ, N. **Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria**. 2. ed. Madrid: Síntesis, 2009.

SANTOS, M. E. M. Aspectos sócio-históricos relativos à Eletricidade e Pilha: Contribuições para a Formação de Professores. **Scientia Plena**, v. 11, n. 6, p. 1 – 8, 2015.

SANTOS, T. N. P.; BATISTA, C. H.; OLIVEIRA, A. P. C.; CRUZ, M. C. P. Aprendizagem ativo-colaborativo-interativa: inter-relações e experimentação investigativa no ensino de eletroquímica. **Química nova na escola**, v. 40, n. 4, p. 258 – 266, 2018.

SANTOS, W. L. P. *et al.* **Química e sociedade**. 1. ed. São Paulo: Nova geração, 2007. 742p.

SILVA JÚNIOR, O. J.; DANTAS, D. S.; FARIAS, R. F. **Ensino de química**: o uso de analogias. Campinas: Editora Átomo, 2017.

SILVERSTEIN, T.P. Oxidation and reduction: too many definitions? **Journal of Chemical Education**, v. 88, n. 3, p. 279 - 281, 2011.

SOUZA, F. M.; ARICÓ, E. M. Mapa cronológico da evolução das definições ácido-base: um potencial material de apoio didático para contextualização histórica no ensino de química. **Educación química**, v. 28, n. 1, p. 2 - 10, 2017.

SOUZA FILHO, M. P.; BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J. A eletricidade estática: os obstáculos epistemológicos, as concepções espontâneas, o conhecimento científico e a aprendizagem de conceitos. **VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2007.

TASHAKKORI, A.; CRESWELL, J. W. The new era of mixed methods. **Journal of Mixed Methods Research**, v.1, n.1, p. 3-7, 2007.

TEIXEIRA JUNIOR, J. G.; SILVA, R. M. G. Dificuldades conceituais de futuros professores de química sobre processos de oxirredução. *In*: DA ROSA, C. T. W. **Educação científica e tecnológica: reflexões e investigações**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2015. Cap. IX, p. 170 - 190.

THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY. **Electrochemical Dictionary and Encyclopedia**. Filadélfia: The Electrochemical Society, 2013.

TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO, R. C. O bicentenário da invenção da pilha elétrica. **Química Nova Escola**, n. 11, p. 35 - 39, 2000.

UEHARA, F. M. G. **Refletindo dificuldades de alunos do Ensino Médio no estudo do Equilíbrio Químico**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2005.

VENTURI, G. *et al.* Dificuldades de ingressantes de um curso de licenciatura em química sobre conceitos da eletroquímica: um desafio para o ensino superior. **Química Nova**, v. 44, p. 766 - 772, 2021.

VIEIRA, D. *et al.* Estudos sobre o ensino e aprendizagem de conceitos em eletroquímica: uma revisão. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista – ENCITEC**, v. 11, n. 1, p. 172 - 188, 2021.

WARTHA, E. J; REZENDE, D. B. Os níveis de representação no ensino de química e as categorias da semiótica de Peirce. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, p. 275 - 290, 2011.

YIN, R. K. **Pesquisa Qualitativa: do início ao fim**. Porto Alegre: Penso, 2016.

ZANONI, M. V. B.; BORGES, A. S.; BENEDETTI, A. V.; YAMANAKA, H.; SOTOMAYOR, M. D. P. T.; BESSEGATO, G. G.; STRADIOTTO, N. R.; ZANTA, C. L. P. S.; ANDRADE, A.R. Panorama da eletroquímica e eletroanalítica no Brasil. **Química Nova**, v. 40, p. 663 - 669, 2017.

APÊNDICE A – CHECKLIST PROPOSTO

Quadro 9. Checklist reformulado para os conceitos da área de Eletroquímica.

Quadro 1 – Pré-requisitos fundamentais para a compreensão da Eletroquímica

Questões	Definição	Adequado	Necessita revisão	Não abordado
O livro didático aborda a definição e explica os conceitos essenciais de eletricidade para o ensino da Eletroquímica?				
✓ Carga elétrica;	<i>Propriedade que define o estado de eletrificação das partículas que compõem o átomo, sendo o próton a carga positiva, e o elétron a carga negativa. Um átomo, ou um conjunto de átomos, pode não ser eletricamente neutro. Nesse caso, íons de carga total positiva, cátions, apresentam excesso de prótons em relação aos elétrons. Já íons com carga total negativa, ânions, apresentam excesso de elétrons em relação ao número de prótons.</i>			
✓ Força elétrica;	<i>Força que uma carga elétrica exerce sobre a outra. Pode ser classificada como repulsiva, em cargas de mesma natureza (sinal); ou atrativa, em cargas de natureza contrária (sinais opostos).</i>			
✓ Campo elétrico;	<i>Região do espaço sujeita à interação elétrica entre cargas, ou seja, região do espaço na qual uma carga elétrica sofre uma perturbação causada pela presença de outra carga.</i>			
✓ Energia potencial elétrica;	<i>Energia associada à uma carga elétrica em um ponto do espaço onde há campo elétrico. É decorrente da atração e/ou repulsão entre cargas.</i>			
✓ Potencial elétrico;	<i>Quantidade de energia potencial elétrica em um ponto por unidade de carga naquele mesmo ponto.</i>			
✓ Trabalho elétrico;	<i>Energia em trânsito associada à movimentação de cargas em um campo elétrico.</i>			
✓ Corrente elétrica.	<i>Movimento ordenado das cargas elétricas, pode ser contínuo ou alternado.</i>			

Quadro 2 – Contextualização histórica da Eletroquímica

Questões	Definição	Adequado	Necessita revisão	Não abordado
O livro didático traz uma contextualização histórica sobre o desenvolvimento dos conceitos da eletricidade?				
O livro didático apresenta uma introdução e/ou contextualização histórica do desenvolvimento da Eletroquímica e dos principais cientistas que contribuíram para o início da Eletroquímica?				
✓ Luigi Galvani;	<i>Eletricidade animal, experimento de dissecação de rãs, em que foi observado a contração muscular, quando a ponta do bisturi era movida para perto de um ou outro nervo.</i>			
✓ Alessandro Volta;	<i>Eletricidade artificial, criação da pilha voltaica, por meio da montagem de uma pilha de dois diferentes metais mantendo a sequência dos metais intercalados por um líquido, solução salina ou pasta condutora de eletricidade.</i>			
✓ Humphry Davy;	<i>Equipamento para gerar eletricidade em grandes quantidades (pilha de Volta); Isolamento de metais como potássio, bário, magnésio, sódio e cálcio.</i>			
✓ Michael Faraday;	<i>Se dedicou ao estudo da indução magnética da corrente elétrica, leis da eletrólise, constante de Faraday.</i>			

Quadro 3 – Conceitos Fundamentais da Química Geral para a Eletroquímica

Questões	Definição	Adequado	Necessita revisão	Não abordado
O livro didático aborda a definição e explica os conceitos essenciais da química para o ensino da Eletroquímica?				
✓ Oxidação;	<i>Perda de elétron(s) sofrida por uma espécie ao participar de um processo redox, com o conseqüente aumento do número de oxidação.</i>			
✓ Redução;	<i>Ganho de elétron(s) sofrido por uma espécie redox, com a conseqüente diminuição do número de oxidação.</i>			
✓ Agente oxidante;	<i>Espécie que provoca a oxidação em uma reação redox, e é reduzida no processo.</i>			
✓ Agente redutor;	<i>Espécie que provoca a redução em uma reação redox, e é oxidada no processo.</i>			

Número de oxidação (Nox):				
✓ É apresentada a definição e o cálculo do Nox?	<i>Carga elétrica que qualquer átomo teria se todos os átomos presentes na espécie participassem de uma ligação perfeitamente iônica.</i>			
✓ É discutida a diferença entre Nox e carga formal?	<i>O Nox pode ser definido como a carga que o átomo teria se todos os ligantes fossem removidos juntamente com seus pares de elétrons compartilhados. Carga formal é a carga que mais se aproxima da carga real de um íon, na qual o par de elétrons compartilhado é igualmente dividido entre os átomos que participam da ligação. Em outras palavras, o cálculo de Nox considera que toda ligação química é perfeitamente iônica, enquanto o conceito de carga formal considera que toda ligação química é perfeitamente covalente.</i>			
✓ Reação redox;	<i>Reação na qual ocorre transferência de elétrons entre as espécies químicas.</i>			
✓ Balanceamento de carga e massa;	<i>O balanceamento é necessário visto que massa e carga totais, de reagentes e produtos, são propriedades conservativas.</i>			
✓ Balanceamento redox em reações simples;	<i>Nas reações simples, as espécies reagentes e produtos já estão apresentadas na equação de reação, sendo realizado apenas o acerto dos coeficientes estequiométricos.</i>			
✓ Balanceamento redox em reações complexas;	<i>Nas reações complexas, são adicionadas espécies como H⁺, H₂O e OH⁻ para realizar o balanceamento de massa e, posteriormente, o de carga.</i>			

Quadro 4 – Relação da Eletroquímica com a Eletricidade e a Termodinâmica Química

Questões	Definição	Adequado	Necessita revisão	Não abordado
O livro didático define o conceito de Eletroquímica?	<i>A eletroquímica é a ciência que estuda a transformação de substâncias para produzir energia elétrica (reações espontâneas), e o emprego de eletricidade para a produção de insumos de interesse (reações não espontâneas)</i>			
O livro didático mostra a importância da compreensão dos fenômenos elétricos e termodinâmicos para a compreensão dos fenômenos eletroquímicos?	<i>Discussão da necessidade dos conhecimentos elétricos, termodinâmicos e cinéticos para compreensão dos fenômenos eletroquímicos.</i>			

O livro didático aborda conceitos de termodinâmica essenciais para o ensino de Eletroquímica?				
✓ O conceito de espontaneidade termodinâmica é apresentado no livro?	<i>A espontaneidade, a pressão constante, está associada à variação da energia de Gibbs de reação (ΔG_r). Se a variação for menor do que zero, a reação será espontânea, pois seu abaixamento implica no aumento da entropia do Universo. Se a variação for maior do que zero, a reação não será espontânea, pois, de acordo com a Segunda Lei, ocorreria a diminuição da entropia do Universo.</i>			
✓ É estabelecida uma relação entre o critério de espontaneidade, potenciais de equilíbrio, ddp da célula e seu sinal matemático?	<i>O sinal da diferença de potencial está associado à espontaneidade da reação, devido à Equação de Nerst. Diferenças de potenciais positivas estão associadas às reações espontâneas, enquanto diferenças de potenciais negativas estão relacionadas às reações não espontâneas. O mesmo se aplica aos potenciais de equilíbrio.</i>			
Energia de Gibbs (ΔG):				
✓ É definido o conceito de ΔG ?	<i>A energia de Gibbs de reação (ΔG_r) é o trabalho elétrico máximo que pode ser extraído de um sistema galvânico, ou o trabalho elétrico mínimo que deve ser empregado em um sistema eletrolítico. É utilizado como critério de espontaneidade de uma reação.</i>			
✓ O livro apresenta a diferença entre estado padrão e estado normal?	<i>No estado padrão é considerado a temperatura de 273,15 K e a pressão de 10^5 Pa (1 bar). No estado normal é considerado a mesma temperatura, 273,15 K, porém a pressão de 101325 Pa (1 atm).</i>			
✓ Os conceitos termodinâmicos ($\Delta G = w_e$) são relacionados com os conceitos elétricos ($\Delta E = \frac{-w_e}{q}$), apresentados como $\Delta G = -nF\Delta E$?	<i>Discussão das equações matemáticas que relacionam, quantitativamente, as grandezas termodinâmicas e elétricas.</i>			
✓ O livro define o que é a diferença de potencial (ddp) e explica o sinal do cálculo matemático da ddp da célula?	<i>A diferença de potencial é a quantidade de trabalho realizado para mover uma carga entre dois pontos. Em uma célula eletroquímica, é a medida entre os condutores metálicos dos eletrodos do lado direito e do lado esquerdo, com os terminais produzidos no mesmo metal. O sinal matemático da diferença de potencial indica o sentido no qual a reação está ocorrendo espontaneamente. No caso do sinal positivo, a reação está ocorrendo do ânodo para o cátodo. Já o sinal negativo indica que a reação ocorre espontaneamente no sentido oposto. Nesse caso, para que a</i>			

	<i>reação ocorra no sentido direto, é necessária uma fonte de energia externa.</i>			
✓ É discutido o motivo pelo qual o potencial da célula não é multiplicado pelos mesmos fatores que corrigem os coeficientes estequiométricos utilizados para o balanceamento de cargas?	<i>O potencial da célula é uma grandeza intensiva normalizada por carga e que não depende da extensão do sistema.</i>			

Quadro 5 – Conceitos relacionados às Células Eletroquímicas

Questões	Definição	Adequado	Necessita revisão	Não abordado
O livro apresenta o conceito de células Eletroquímicas?	<i>Uma célula eletroquímica é capaz de transformar energia química em energia elétrica, ou produzir nova(s) substância(s), a partir de reações redox.</i>			
O livro diferencia as células galvânicas e eletrolíticas com base no ΔG ?	<i>Nas células galvânicas, $\Delta G < 0$, visto que se trata de uma reação espontânea. Nas células eletrolíticas, $\Delta G > 0$, pois a reação é não espontânea no sentido estabelecido na equação química.</i>			
É discutido o sinal dos eletrodos na célula galvânica?	<i>O eletrodo em que ocorre a reação espontânea de oxidação assume carga negativa e o eletrodo em que ocorre a reação espontânea de redução assume carga positiva.</i>			
É discutida a necessidade de uma fonte de energia externa nas células eletrolíticas?	<i>Uma fonte de energia externa é necessária para fornecer a quantidade de energia exigida para que a reação ocorra.</i>			
No livro didático são apresentados os conceitos e elementos envolvidos nas células Eletroquímicas?				
✓ São apresentados os conceitos de cátodo e ânodo?	<i>Cátodo é o eletrodo no qual ocorre, majoritariamente, a redução e assume sinal elétrico negativo. Ânodo é o eletrodo no qual ocorre, majoritariamente, a oxidação e assume sinal elétrico positivo.</i>			
✓ É discutida a função e composição da ponte salina?	<i>Meio material que conecta os compartimentos da esquerda e da direita de um dispositivo eletroquímico, o qual permite o fluxo iônico responsável pela passagem de corrente elétrica no interior da célula. A ponte clássica é composta, normalmente, por um tubo de vidro, em formato de U invertido, com solução salina, com cátions e ânions de mobilidade iônica semelhante.</i>			

<p>✓ É apresentada a função do eletrólito?</p>	<p><i>O eletrólito permite a condução dos íons, facilitando o fluxo de corrente elétrica na solução. O eletrólito permite o fluxo de íons, cargas positivas e negativas dentro da solução. Na presença de um campo elétrico entre os eletrodos produz um movimento orientado de cargas positivas em direção ao eletrodo negativo e de cargas negativas em direção ao eletrodo positivo, fechando o circuito elétrico na célula eletroquímica. A presença de eletrólito em concentração adequada facilita a passagem de corrente elétrica através da solução e evita a polarização dos compartimentos.</i></p>			
<p>✓ Equação de Nernst; $E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln Q$</p>	<p><i>Equação que relaciona o potencial da célula com as atividades das espécies envolvidas na reação.</i></p>			
<p>✓ Compartimento da esquerda e da direita quando a célula se encontra em equilíbrio;</p>	<p><i>Refere-se à nomenclatura dos compartimentos quando a célula se encontra em equilíbrio, sendo que no compartimento da esquerda ocorrerá, majoritariamente, a oxidação, e no compartimento da direita, a redução, quando a célula estiver em funcionamento.</i></p>			
<p>✓ Compartimento anódico e catódico, quando a célula se encontra em funcionamento;</p>	<p><i>Refere-se à nomenclatura dos compartimentos quando a célula se encontra em funcionamento como célula eletrolítica.</i></p>			
<p>✓ O livro didático apresenta e interpreta o resultado do cálculo do potencial da célula ($E_{\text{direita}} - E_{\text{esquerda}}$);</p>	<p><i>Apresentação e discussão da equação $E_{\text{direita}} - E_{\text{esquerda}}$, e interpretação do sinal da grandeza e do valor absoluto. É importante destacar a utilização da nomenclatura E_{direita} e E_{esquerda} no lugar de $E_{\text{cátodo}}$ e $E_{\text{ânodo}}$.</i></p>			
<p>✓ O livro didático diferencia processos eletroquímicos nos quais participam espécies em solução e espécies que constituem o próprio eletrodo (atividade química dos eletrodos);</p>	<p><i>São considerados os diferentes estados de agregação nas espécies químicas, além de serem diferenciados os eletrodos reativos (nos quais as espécies participam efetivamente da reação redox) e os inertes (que não se alteram quimicamente durante o processo).</i></p>			
<p>✓ O livro apresenta adequadamente o sentido do fluxo elétrico e corrente elétrica;</p>	<p><i>O sentido do fluxo elétrico é contrário ao sentido da corrente que atravessa o sistema.</i></p>			
<p>O livro apresenta as definições dos potenciais:</p>				

✓ Potencial redox;	<i>Potencial medido em relação à um eletrodo de referência, em volts, da tendência do eletrodo de receber ou doar elétrons em uma reação redox.</i>			
✓ Potencial padrão;	<i>Potencial de uma célula hipotética na qual o eletrodo da esquerda é o eletrodo de hidrogênio padrão (EHP) e o eletrodo da direita é o eletrodo em estudo. É medido à temperatura de 298K. Em soluções aquosas a concentração de cada espécie dissolvida é 1mol.L⁻¹ e o gás está a pressão de 1 bar.</i>			
✓ Potencial de equilíbrio;	<i>Potencial medido em uma célula eletroquímica quando a reação redox está em equilíbrio e, portanto, não há fluxo líquido de corrente elétrica.</i>			
✓ Potencial eletroquímico.	<i>Medida de escape de um mol partículas carregadas, íon ou elétron, em uma determinada fase.</i>			

Quadro 6 – Problemas relacionados às ilustrações e esquemas

Questões	Definição	Adequado	Necessita revisão	Não abordado
O livro didático apresenta figuras que ilustram o funcionamento das células Eletroquímicas?	<i>Apresentação de figuras que representem, em nível fenomenológico e submicroscópico, os processos envolvidos no funcionamento de células galvânicas e eletrolíticas.</i>			
As figuras ilustrativas apresentam:				
✓ O voltímetro de alta impedância de entrada quando associado em paralelo ou em série ao circuito externo da pilha;	<i>As imagens devem diferenciar e explicar os fenômenos que ocorrem na pilha quando o voltímetro está em série ou em paralelo no circuito externo. O voltímetro em série impede a passagem de corrente elétrica pelo circuito externo e, portanto, as reações redox não ocorrem. No entanto, se o voltímetro estiver disposto em uma montagem em paralelo, a corrente elétrica pode percorrer o sistema e as reações redox podem ocorrer.</i>			
✓ Os conceitos de corrente, fluxo de elétrons e equilíbrio químico;	<i>Os fluxos de elétrons e a corrente são apresentados em sentidos contrários. O equilíbrio químico está associado à ausência de corrente e fluxo de elétrons.</i>			
✓ Os compartimentos anódicos e catódicos;	<i>As imagens devem apresentar claramente os processos que ocorrem nos distintos compartimentos anódicos e catódicos das células eletroquímicas.</i>			
✓ O amperímetro em série, no circuito externo da pilha;	<i>As imagens devem explicitar o fenômeno da medição da corrente elétrica, por meio de uma montagem que considere um amperímetro em série no circuito externo da pilha.</i>			

São verificados obstáculos epistemológicos nas ilustrações e esquemas?	Identificar em ilustrações ou esquemas obstáculos verbais, substancialistas, animistas ou realistas (ver definições dos obstáculos no quadro 7).			
--	--	--	--	--

Quadro 7 – Obstáculos epistemológicos e concepções alternativas

Questões	Definição	Não	Sim
São verificados obstáculos epistemológicos:			
✓ Obstáculo verbal;	Quando o uso de termos de senso comum, analogias ou figuras causa uma interpretação que difere do conhecimento científico vigente. O grande problema é estabelecer uma metáfora sem explicitar o domínio do análogo. Geralmente, surge de generalizações, ou seja, quando se tenta sintetizar vários fenômenos em uma única palavra ou imagem. Também pode ter origem na busca por comparar algo concreto a algo abstrato, sem o apoio do conhecimento científico, sem uma discussão prévia de ideias. Exemplo: usar o termo “incrustado” para os elétrons do modelo atômico de Thomson transmite a ideia de que esses estão apenas na superfície do átomo, na crosta.		
✓ Obstáculo animista;	Atribuição de vontades, sentimentos e preferências a um fenômeno inanimado. Está ligado a atribuição de características próprias de seres vivos à objetos. Por exemplo, afirmações como “o líquido não gosta de se misturar com ninguém”. Nesse caso, o problema está em atribuir sentimento ao líquido.		
✓ Obstáculo realista;	Generalização que impede um conhecimento mais aprofundado. Surge como uma dificuldade de explicar propriedades macroscópicas (fenomenológico) com modelos e teorias em nível submicroscópico. Supervaloriza impressões táteis e visuais. Exemplos: entender um modelo atômico como algo real, ou seja, como uma cópia ou ampliação da realidade.		
✓ Obstáculo substancialista;	Atribuição de qualidade superficial, na qual um conjunto de propriedades é associado à uma única causa. Um exemplo desse obstáculo é a atribuição de acidez somente à presença de hidrogênios ionizáveis na molécula.		
O livro utiliza o termo ddp no lugar de força eletromotriz (f.e.m.)?	O nome força eletromotriz não é recomendado, pois uma diferença de potencial não é uma força.		
São verificadas concepções alternativas?	Conceitos alternativas à ciência, que divergem das concepções científicas historicamente estabelecidas e validadas. Como exemplo, verificado em alunos, pode-se citar: “Necessidade do oxigênio para ocorrência da reação de oxirredução”, “Ponte salina auxilia no fluxo de elétrons”		

Fonte: elaboração própria.

APÊNCIDE B – UNIVERSIDADES RETORNADAS SEGUNDO OS FILTROS UTILIZADOS NA PLATAFORMA E-MEC

Quadro 10. Universidades, cursos e disciplinas obtidos por meio da plataforma e-MEC e os projetos políticos-pedagógicos dos cursos, ementas e grades curriculares.

Sigla da IES	Nome da IES	Grau	Município	UF	Disciplina	
FURG	Universidade Federal Do Rio Grande	Bacharelado	Rio Grande	RS	Físico-Química II Química Geral II Análise Instrumental	
FURG	Universidade Federal Do Rio Grande	Licenciatura	Rio Grande	RS	Físico-Química II Química Geral II Análise Instrumental	
UDESC	Fundação Universidade Do Estado De Santa Catarina	Licenciatura	Joinville	SC	Físico-Química II Química Analítica Instrumental	
UEA	Universidade Do Estado Do Amazonas	Bacharelado	São Gabriel da Cachoeira	AM		
UEA	Universidade Do Estado Do Amazonas	Bacharelado	Manaus	AM		
UEA	Universidade Do Estado Do Amazonas	Licenciatura	Benjamin Constant	AM		
UEA	Universidade Do Estado Do Amazonas	Licenciatura	São Gabriel da Cachoeira	AM		
UEA	Universidade Do Estado Do Amazonas	Licenciatura Noturno	Parintins	AM		
UEA	Universidade Do Estado Do Amazonas	Licenciatura	Tefé	AM		
UEA	Universidade Do Estado Do Amazonas	Licenciatura Matutino	Parintins	AM		
UEAP	Universidade Do Estado Do Amapá	Licenciatura	Macapá	AP		Físico-Química II Química Geral
UECE	Universidade Estadual Do Ceará	Licenciatura	Crateús	CE		Eletroquímica

UECE	Universidade Estadual Do Ceará	Licenciatura	Itapipoca	CE	
UECE	Universidade Estadual Do Ceará	Licenciatura	Fortaleza	CE	Eletroquímica Química Geral II
UECE	Universidade Estadual Do Ceará	Licenciatura	Tauá	CE	
UECE	Universidade Estadual Do Ceará	Licenciatura	Quixadá	CE	
UECE	Universidade Estadual Do Ceará	Licenciatura	Limoeiro do Norte	CE	Eletroquímica
UEFS	Universidade Estadual De Feira De Santana	Licenciatura	Feira Santana de	BA	Fundamentos de Físico-Química II Transformações da Matéria
UEG	Universidade Estadual De Goiás	Licenciatura	Anápolis	GO	Química Fundamental II Físico-Química II
UEG	Universidade Estadual De Goiás	Licenciatura	Formosa	GO	Físico-Química II
UEL	Universidade Estadual De Londrina	Licenciatura	Londrina	PR	
UEL	Universidade Estadual De Londrina	Bacharelado	Londrina	PR	
UEM	Universidade Estadual De Maringá	Bacharelado	Maringá	PR	Físico-Química II Química Geral Análise Instrumental
UEM	Universidade Estadual De Maringá	Licenciatura	Maringá	PR	Físico-Química II Química Geral Análise Instrumental
UEMA	Universidade Estadual Do Maranhão	Licenciatura	São Luís	MA	Equilíbrio Químico e Espontaneidade das Reações Química Geral Análise Instrumental
UEMA	Universidade Estadual Do Maranhão	Licenciatura	Caxias	MA	Equilíbrio Químico e Espontaneidade das Reações Química Geral Análise Instrumental
UEMA	Universidade Estadual Do Maranhão	Licenciatura	Pedreiras	MA	
UEMA	Universidade Estadual Do Maranhão	Licenciatura	Paraibano	MA	

UEMA	Universidade Estadual Do Maranhão	Licenciatura	Presidente Sarney	MA	
UEMA	Universidade Estadual Do Maranhão	Licenciatura	Arari	MA	
UEMA	Universidade Estadual Do Maranhão	Licenciatura	Anajatuba	MA	
UEMASUL	Universidade Estadual Da Região Tocantina Do Maranhão	Licenciatura	Imperatriz	MA	Equilíbrio Químico e Cinética Química Análise Instrumental
UEMG	Universidade Do Estado De Minas Gerais	Bacharelado	Divinópolis	MG	
UEMG	Universidade Do Estado De Minas Gerais	Licenciatura	Ubá	MG	Físico-Química II Química Geral
UEMG	Universidade Do Estado De Minas Gerais	Licenciatura	Ituiutaba	MG	Físico-Química II Analítica Instrumental
UEMG	Universidade Do Estado De Minas Gerais	Licenciatura	Divinópolis	MG	Físico-Química I Físico-Química II Análise Instrumental
UEMS	Universidade Estadual De Mato Grosso Do Sul	Licenciatura	Naviraí	MS	Físico-Química III
UEMS	Universidade Estadual De Mato Grosso Do Sul	Licenciatura	Dourados	MS	Química Geral II Eletroquímica Química Inorgânica III Química Inorgânica IV
UENF	Universidade Estadual Do Norte Fluminense Darcy Ribeiro	Licenciatura	Campos dos Goytacazes	RJ	Físico-Química II
UEPA	Universidade Do Estado Do Pará	Licenciatura	Conceição do Araguaia	PA	Eletroquímica
UEPA	Universidade Do Estado Do Pará	Licenciatura	Salvaterra	PA	Eletroquímica
UEPA	Universidade Do Estado Do Pará	Licenciatura	Cametá	PA	Eletroquímica
UEPA	Universidade Do Estado Do Pará	Licenciatura	Belém	PA	Eletroquímica Química do meio Ambiente III
UEPA	Universidade Do Estado Do Pará	Licenciatura	Marabá	PA	Eletroquímica

UEPA	Universidade Do Estado Do Pará	Licenciatura	Barcarena	PA	Eletroquímica
UEPA	Universidade Do Estado Do Pará	Licenciatura	Paragominas	PA	Eletroquímica
UEPB	Universidade Estadual Da Paraíba	Licenciatura	Campina Grande	PB	Físico-Química II
UEPG	Universidade Estadual De Ponta Grossa	Bacharelado	Ponta Grossa	PR	Físico Química IV Química Tecnológica I Química Tecnológica II
UEPG	Universidade Estadual De Ponta Grossa	Licenciatura	Ponta Grossa	PR	Físico-Química III Teórico Experimental
UERJ	Universidade Do Estado Do Rio De Janeiro	Licenciatura	Rio de Janeiro	RJ	Físico-Química Teórico III Química Geral Teórica II
UERN	Universidade Do Estado Do Rio Grande Do Norte	Licenciatura	Mossoró	RN	Físico-Química Geral e Experimental
UERR	Universidade Estadual De Roraima	Licenciatura	Boa Vista	RR	Química Geral II Análise Instrumental
UESB	Universidade Estadual Do Sudoeste Da Bahia	Bacharelado	Itapetinga	BA	Química Geral Química Inorgânica Análise Instrumental
UESB	Universidade Estadual Do Sudoeste Da Bahia	Bacharelado	Jequié	BA	Química Geral II Química Analítica III
UESB	Universidade Estadual Do Sudoeste Da Bahia	Licenciatura	Itapetinga	BA	Química Geral Química Inorgânica Análise Instrumental
UESB	Universidade Estadual Do Sudoeste Da Bahia	Licenciatura	Jequié	BA	Química Geral II Química Analítica III
UESC	Universidade Estadual De Santa Cruz	Bacharelado	Ilhéus	BA	Físico-Química II Química Geral II
UESC	Universidade Estadual De Santa Cruz	Licenciatura	Ilhéus	BA	Físico-Química II Química Geral II

UESPI	Universidade Estadual Do Piauí	Licenciatura	Piripiri	PI	Físico-Química II Química Geral e Experimental II Química Instrumental II
UESPI	Universidade Estadual Do Piauí	Licenciatura	Teresina	PI	Físico-Química II Química Geral I
UESPI	Universidade Estadual Do Piauí	Licenciatura	Esperantina	PI	
UFABC	Fundação Universidade Federal Do ABC	Bacharelado	Santo André	SP	Eletroquímica e Cinética Química
UFABC	Fundação Universidade Federal Do ABC	Licenciatura	Santo André	SP	Eletroquímica e Cinética Química
UFAC	Universidade Federal Do Acre	Licenciatura	Rio Branco	AC	Química Geral V
UFAL	Universidade Federal De Alagoas	Bacharelado	Maceió	AL	Eletroquímica Química Geral 2 Físico-Química 2
UFAL	Universidade Federal De Alagoas	Licenciatura	Maceió	AL	Físico-Química 2 Química Geral e Experimental 2
UFAL	Universidade Federal De Alagoas	Licenciatura	Arapiraca	AL	Transformações da matéria 2 Físico-Química 2 Físico-Química 3
UFAM	Universidade Federal Do Amazonas	Bacharelado	Manaus	AM	Eletroquímica Fundamental e Aplicada Química Geral II Físico-Química II Físico-Química III
UFAM	Universidade Federal Do Amazonas	Licenciatura	Manaus	AM	Físico-Química II Química Geral II
UFBA	Universidade Federal Da Bahia	Bacharelado	Salvador	BA	
UFBA	Universidade Federal Da Bahia	Bacharelado	Salvador	BA	
UFBA	Universidade Federal Da Bahia	Licenciatura	Salvador	BA	
UFBA	Universidade Federal Da Bahia	Licenciatura	Salvador	BA	

UFC	Universidade Federal Do Ceará	Bacharelado	Fortaleza	CE	Físico-Química Teórica III Química Inorgânica III
UFC	Universidade Federal Do Ceará	Licenciatura	Fortaleza	CE	Físico-Química Teórica III
UFCA	Universidade Federal Do Cariri	Licenciatura	Brejo Santo	CE	Físico-Química II Química Geral
UFCAT	Universidade Federal De Catalão	Licenciatura	Catalão	GO	Eletroquímica
UFCG	Universidade Federal De Campina Grande	Licenciatura	Cajazeiras	PB	
UFCG	Universidade Federal De Campina Grande	Licenciatura	Cuité	PB	
UFCSPA	Fundação Universidade Federal De Ciências Da Saúde De Porto Alegre	Bacharelado	Porto Alegre	RS	
UFES	Universidade Federal Do Espírito Santo	Bacharelado	Vitória	ES	Físico-Química II Química Geral II
UFES	Universidade Federal Do Espírito Santo	Licenciatura	Alegre	ES	Química Fundamental II
UFES	Universidade Federal Do Espírito Santo	Licenciatura	Vitória	ES	Físico-Química 2 Princípios de Termodinâmica, Cinética e Eletroquímica Estequiometria e Soluções
UFES	Universidade Federal Do Espírito Santo	Licenciatura	São Mateus	ES	Físico-Química II Química Geral
UFF	Universidade Federal Fluminense	Bacharelado	Niterói	RJ	
UFF	Universidade Federal Fluminense	Bacharelado	Volta Redonda	RJ	
UFF	Universidade Federal Fluminense	Licenciatura	Niterói	RJ	Físico-Química V
UFF	Universidade Federal Fluminense	Licenciatura	Volta Redonda	RJ	
UFFS	Universidade Federal Da Fronteira Sul	Licenciatura	Cerro Largo	RS	Físico-Química II
UFFS	Universidade Federal Da Fronteira Sul	Licenciatura	Realeza	PR	Físico-Química III Química Analítica Qualitativa

UFG	Universidade Federal De Goiás	Bacharelado	Goiânia	GO	Físico-Química de Soluções
UFG	Universidade Federal De Goiás	Licenciatura	Goiânia	GO	Físico-Química de Soluções
UFGD	Fundação Universidade Federal Da Grande Dourados	Bacharelado	Dourados	MS	Físico-Química III Química Geral II
UFGD	Fundação Universidade Federal Da Grande Dourados	Licenciatura	Dourados	MS	Físico-Química III Química Geral II
UFJ	Universidade Federal De Jataí	Bacharelado	Jataí	GO	Físico-Química II Métodos Eletroanalíticos
UFJ	Universidade Federal De Jataí	Licenciatura	Jataí	GO	Físico-Química II
UFJF	Universidade Federal De Juiz De Fora	Bacharelado	Juiz de Fora	MG	Eletroquímica
UFJF	Universidade Federal De Juiz De Fora	Licenciatura integral	Juiz de Fora	MG	Eletroquímica
UFJF	Universidade Federal De Juiz De Fora	Licenciatura noturno	Juiz de Fora	MG	Eletroquímica
UFLA	Universidade Federal De Lavras	Bacharelado	Lavras	MG	Físico-Química I
UFLA	Universidade Federal De Lavras	Licenciatura	Lavras	MG	Química Analítica Instrumental
UFMA	Universidade Federal Do Maranhão	Bacharelado	São Luís	MA	Físico-Química I
UFMA	Universidade Federal Do Maranhão	Licenciatura	São Luís	MA	
UFMG	Universidade Federal De Minas Gerais	Bacharelado	Belo Horizonte	MG	Físico-Química CII
UFMG	Universidade Federal De Minas Gerais	Licenciatura	Belo Horizonte	MG	Físico-Química CII
UFMS	Universidade Federal De Mato Grosso Do Sul	Licenciatura	Campo Grande	MS	Físico-Química IV Química Analítica Instrumental I
UFMT	Universidade Federal De Mato Grosso	Bacharelado	Cuiabá	MT	Físico-Química III Química Geral II Química Analítica Instrumental I Química Verde

UFMT	Universidade Federal De Mato Grosso	Licenciatura	Cuiabá	MT	Físico-Química III Química Geral II
UFMT	Universidade Federal De Mato Grosso	Licenciatura	Pontal Araguaia do	MT	Soluções e Cinética Química
UFOB	Universidade Federal Do Oeste Da Bahia	Bacharelado	Barreiras	BA	Termodinâmica de Soluções e Eletroquímica
UFOB	Universidade Federal Do Oeste Da Bahia	Licenciatura	Barreiras	BA	Termodinâmica de Soluções e Eletroquímica
UFOP	Universidade Federal De Ouro Preto	Licenciatura	Ouro Preto	MG	Físico-Química II
UFOPA	Universidade Federal Do Oeste Do Pará	Licenciatura	Santarém	PA	Físico-Química II Química Geral II Química Analítica II Química Inorgânica I
UFPA	Universidade Federal Do Pará	Bacharelado	Belém	PA	
UFPA	Universidade Federal Do Pará	Licenciatura	Ananindeua	PA	Físico-Química Teórica II Química Geral Teórica II
UFPA	Universidade Federal Do Pará	Licenciatura	Belém	PA	
UFPB	Universidade Federal Da Paraíba	Bacharelado	Areia	PB	Eletroquímica e Eletroanalítica
UFPB	Universidade Federal Da Paraíba	Bacharelado	João Pessoa	PB	Termodinâmica Química II Química Analítica Clássica Métodos Eletroanalíticos
UFPB	Universidade Federal Da Paraíba	Licenciatura	Areia	PB	Introdução às transformações químicas
UFPB	Universidade Federal Da Paraíba	Licenciatura	João Pessoa	PB	Termodinâmica Química II Química Analítica Clássica Introdução aos Métodos Instrumentais
UFPE	Universidade Federal De Pernambuco	Bacharelado	Recife	PE	Eletroquímica

UFPE	Universidade Federal De Pernambuco	Licenciatura	Caruaru	PE	Físico-Química II Química Geral I
UFPE	Universidade Federal De Pernambuco	Licenciatura	Recife	PE	Cinética e Eletroquímica
UFPEL	Universidade Federal De Pelotas	Bacharelado	Capão do Leão	RS	Físico-Química 2
UFPEL	Universidade Federal De Pelotas	Licenciatura	Capão do Leão	RS	Físico-Química 2
UFPI	Universidade Federal Do Piauí	Bacharelado	Teresina	PI	
UFPI	Universidade Federal Do Piauí	Licenciatura	Teresina	PI	Química Analítica Instrumental
UFPI	Universidade Federal Do Piauí	Licenciatura	Teresina	PI	Química Analítica Instrumental
UFPR	Universidade Federal Do Paraná	Bacharelado	Curitiba	PR	
UFPR	Universidade Federal Do Paraná	Licenciatura	Curitiba	PR	
UFRB	Universidade Federal Do Recôncavo Da Bahia	Licenciatura	Amargosa	BA	Química Geral II Práticas Pedagógicas no Ensino de Química II
UFRGS	Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul	Bacharelado	Porto Alegre	RS	Química Geral Teórica Físico-Química II B Química Analítica Clássica Química Analítica Instrumental II
UFRGS	Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul	Licenciatura	Porto Alegre	RS	Química Geral Teórica Conteúdos de Química para o Ensino Médio III Físico-Química II C Química Analítica Clássica
UFRJ	Universidade Federal Do Rio De Janeiro	Bacharelado	Macaé	RJ	Ementa não possui bibliografia
UFRJ	Universidade Federal Do Rio De Janeiro	Bacharelado	Rio de Janeiro	RJ	Ementa não possui bibliografia
UFRJ	Universidade Federal Do Rio De Janeiro	Licenciatura	Macaé	RJ	

UFRJ	Universidade Federal Do Rio De Janeiro	Licenciatura	Rio de Janeiro	RJ	Ementa não possui bibliografia
UFRJ	Universidade Federal Do Rio De Janeiro	Bacharelado	Rio de Janeiro	RJ	Química Geral II Fenômenos de Superfície e Eletroquímica Química Analítica Instrumental I Química Analítica Clássica II
UFRN	Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte	Bacharelado	Natal	RN	Eletroquímica e Cinética Química Técnicas Eletroanalíticas
UFRN	Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte	Licenciatura	Natal	RN	Eletroquímica e Cinética Química Técnicas Instrumentais de Análise
UFRPE	Universidade Federal Rural De Pernambuco	Licenciatura	Recife	PE	Cinética Química e Eletroquímica História da Química
UFRPE	Universidade Federal Rural De Pernambuco	Licenciatura	Serra Talhada	PE	
UFRR	Universidade Federal De Roraima	Licenciatura	Boa Vista	RR	Físico-Química Teórica I Química Geral Teórica II Química Analítica Teórica I
UFRRJ	Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro	Licenciatura	Seropédica	RJ	Fundamentos de Físico-Química
UFRRJ	Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro	Bacharelado	Seropédica	RJ	Fundamentos de Físico-Química Eletroquímica e Fenômenos de Interface
UFS	Universidade Federal De Sergipe	Bacharelado	São Cristóvão	SE	Eletroquímica Introdução à química
UFS	Universidade Federal De Sergipe	Licenciatura	Itabaiana	SE	Físico-Química II Química Geral
UFS	Universidade Federal De Sergipe	Licenciatura	São Cristóvão	SE	Introdução à química

UFSC	Universidade Federal De Santa Catarina	Bacharelado	Florianópolis	SC	Química Geral II Física dos processos eletroquímicos e corrosão
UFSC	Universidade Federal De Santa Catarina	Bacharelado	Blumenau	SC	Métodos Instrumentais de Análise I Química Geral II
UFSC	Universidade Federal De Santa Catarina	Licenciatura	Florianópolis	SC	Química Geral II Física dos processos eletroquímicos e corrosão
UFSC	Universidade Federal De Santa Catarina	Licenciatura	Blumenau	SC	Métodos Instrumentais de Análise I
UFSCAR	Universidade Federal De São Carlos	Bacharelado	São Carlos	SP	Eletroquímica
UFSCAR	Universidade Federal De São Carlos	Licenciatura	Araras	SP	Eletroquímica Metodologias de Tratamento de Águas Residuárias
UFSCAR	Universidade Federal De São Carlos	Licenciatura	São Carlos	SP	Físico-Química B
UFSCAR	Universidade Federal De São Carlos	Licenciatura	Sorocaba	SP	Cinética e Eletroquímica
UFSJ	Universidade Federal De São João Del Rei	Bacharelado	São João del Rei	MG	Físico-Química II Fundamentos de Química II Eletroanalítica História da Química
UFSJ	Universidade Federal De São João Del Rei	Licenciatura	São João del Rei	MG	Físico-Química II Fundamentos de Química II Eletroanalítica História da Química
UFMS	Universidade Federal De Santa Maria	Bacharelado	Santa Maria	RS	Equilíbrio de Fases e Eletroquímica Química Analítica Qualitativa A Transformações Químicas

UFSM	Universidade Federal De Santa Maria	Licenciatura	Santa Maria	RS	Equilíbrio de Fases e Eletroquímica Química Analítica Qualitativa A Transformações Químicas
UFT	Fundação Universidade Federal Do Tocantins	Licenciatura	Araguaína	TO	Físico-Química de Soluções Métodos Instrumentais de Análises
UFTM	Universidade Federal Do Triângulo Mineiro	Licenciatura	Iturama	MG	Análise Eletroquímica Química Geral II
UFTM	Universidade Federal Do Triângulo Mineiro	Licenciatura	Uberaba	MG	
UFU	Universidade Federal De Uberlândia	Bacharelado	Ituiutaba	MG	Química Geral II Análise Instrumental I Físico-Química I
UFU	Universidade Federal De Uberlândia	Licenciatura	Uberlândia	MG	Fundamentos de Eletroquímica Análise Química Instrumental
UFU	Universidade Federal De Uberlândia	Licenciatura	Ituiutaba	MG	Físico-Química de Soluções e Eletroquímica Química Geral II
UFV	Universidade Federal De Viçosa	Bacharelado	Viçosa	MG	Química Fundamental Físico-Química II
UFV	Universidade Federal De Viçosa	Bacharelado	Rio Paranaíba	MG	Química Fundamental Físico-Química II
UFV	Universidade Federal De Viçosa	Licenciatura	Viçosa	MG	Química Fundamental Físico-Química II
UFV	Universidade Federal De Viçosa	Licenciatura	Florestal	MG	Físico-Química II Química Geral
UFVJM	Universidade Federal Dos Vales Do Jequitinhonha E Mucuri	Licenciatura	Diamantina	MG	PPC não menciona eletroquímica

UNB	Universidade De Brasília	Bacharelado	Brasília	DF	Equilíbrio e Cinética Química Princípios de Equilíbrio Químico Fundamentos de Análise Instrumental I
UNB	Universidade De Brasília	Licenciatura	Brasília	DF	Equilíbrio e Cinética Química Princípios de Equilíbrio Químico
UNEAL	Universidade Estadual De Alagoas	Licenciatura	Arapiraca	AL	Físico-Química II Físico-Química III
UNEAL	Universidade Estadual De Alagoas	Licenciatura	Palmeira dos Índios	AL	Físico-Química II Físico-Química III
UNEB	Universidade Do Estado Da Bahia	Licenciatura	Salvador	BA	Físico-Química II Química Geral III Química Analítica II
UNEB	Universidade Do Estado Da Bahia	Licenciatura	Senhor Bonfim	BA	
UNESP	Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho	Licenciatura	Bauru	SP	Físico-Química II Química Geral II
UNESP	Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho	Licenciatura	São José do Rio Preto	SP	Físico-Química I Físico-Química II Química Analítica Quantitativa Química Instrumental I
UNESP	Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho	Licenciatura	Presidente Prudente	SP	Cinética Química e Eletroquímica Química Analítica de Soluções
UNESP	Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho	Bacharelado	Araraquara	SP	Eletroquímica Química Analítica Instrumental I: Eletroanalítica Química Analítica I
UNESP	Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho	Licenciatura	Araraquara	SP	Eletroquímica Química Analítica I
UNESPAR	Universidade Estadual Do Paraná	Licenciatura	União da Vitória	PR	Físico-Química II Análise Instrumental

UNICAMP	Universidade Estadual De Campinas	Bacharelado	Campinas	SP	Físico-Química II Eletroanalítica Química Clássica
UNICAMP	Universidade Estadual De Campinas	Licenciatura	Campinas	SP	Físico-Química II Química Clássica
UNICAMP	Universidade Estadual De Campinas	Licenciatura em Química e em Ciências	Campinas	SP	Físico-Química II
UNICENTRO	Universidade Estadual Do Centro Oeste	Bacharelado	Guarapuava	PR	Eletroquímica Química Analítica Instrumental Fundamentos de Química Geral III
UNICENTRO	Universidade Estadual Do Centro Oeste	Licenciatura	Guarapuava	PR	Eletroquímica Química Geral II
UNIFAL	Universidade Federal De Alfenas	Bacharelado	Alfenas	MG	Físico-Química II
UNIFAL	Universidade Federal De Alfenas	Licenciatura	Alfenas	MG	Físico-Química II Química Inorgânica I
UNIFAP	Universidade Federal Do Amapá	Licenciatura	Macapá	AP	Físico-Química II
UNIFEI	Universidade Federal De Itajubá	Bacharelado	Itajubá	MG	Físico-Química II Química Geral Química Analítica Quantitativa Química Inorgânica II
UNIFEI	Universidade Federal De Itajubá	Licenciatura	Itajubá	MG	Físico-Química II Química Geral Química Analítica Quantitativa
UNIFESP	Universidade Federal De São Paulo	Bacharelado	Diadema	SP	Físico-Química II Química das Transformações I
UNIFESSPA	Universidade Federal Do Sul E Sudeste Do Pará	Licenciatura	Marabá	PA	Físico-Química II Química Geral Teórica II

UNILA	Universidade Federal Da Integração Latino-Americana	Licenciatura	Foz do Iguaçu	PR	Físico-Química II Química Geral II Físico-Química III Química Instrumental
UNILAB	Universidade Da Integração Internacional Da Lusofonia Afro-Brasileira	Licenciatura	Redenção	CE	Físico-Química III Química Geral II
UNIMONTES	Universidade Estadual De Montes Claros	Licenciatura	Bocaiuva	MG	
UNIOESTE	Universidade Estadual Do Oeste Do Paraná	Bacharelado	Toledo	PR	Físico-Química II
UNIOESTE	Universidade Estadual Do Oeste Do Paraná	Licenciatura	Toledo	PR	Físico-Química II Fundamentos da Química II
UNIPAMPA	Fundação Universidade Federal Do Pampa	Licenciatura	Bagé	RS	Química Geral II Equilíbrio Termodinâmico
UNIR	Fundação Universidade Federal De Rondônia	Licenciatura	Porto Velho	RO	Química Geral 2
UNIVASF	Fundação Universidade Federal Do Vale Do São Francisco	Licenciatura	São Raimundo Nonato	PI	Físico-Química III Química Geral II
URCA	Universidade Regional Do Cariri	Licenciatura	Crato	CE	
USP	Universidade De São Paulo	Bacharelado	Ribeirão Preto	SP	Eletroquímica Química Geral Química Analítica Instrumental
USP	Universidade De São Paulo	Bacharelado	São Paulo	SP	Química Geral II Físico-Química I
USP	Universidade De São Paulo	Licenciatura	Ribeirão Preto	SP	Química Geral Química Analítica Instrumental
USP	Universidade De São Paulo	Licenciatura	São Paulo	SP	Química Geral II Físico-Química I
USP	Universidade De São Paulo	Licenciatura	São Paulo	SP	Química Geral II Físico-Química I

USP	Universidade De São Paulo	Bacharelado	São Carlos	SP	Físico-Química II Introdução à química Análises Quantitativas: Teoria
USP	Universidade De São Paulo	Bacharelado	São Carlos	SP	Físico-Química II Introdução à química Análises Quantitativas: Teoria
USP	Universidade De São Paulo	Bacharelado	São Paulo	SP	Química Geral II Físico-Química I
USP	Universidade De São Paulo	Bacharelado	São Paulo	SP	Química Geral II Físico-Química I
USP	Universidade De São Paulo	Bacharelado	São Paulo	SP	Química Geral II Físico-Química I
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal Do Paraná	Bacharelado	Pato Branco	PR	
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal Do Paraná	Bacharelado	Curitiba	PR	Físico-química C1 Química Básica
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal Do Paraná	Licenciatura	Apucarana	PR	
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal Do Paraná	Licenciatura	Curitiba	PR	Físico-Química III Química Básica (Fundamentos de Química)
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal Do Paraná	Licenciatura	Londrina	PR	Físico-Química II
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal Do Paraná	Licenciatura	Campo Mourão	PR	Eletroquímica
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal Do Paraná	Licenciatura	Medianeira	PR	Físico-Química B
UVA	Universidade Estadual Vale Do Acaraú	Licenciatura	Sobral	CE	

Fonte: Elaboração própria.

APÊNCIDE C - LIVROS INDICADOS NAS EMENTAS DE DISCIPLINAS TEÓRICAS QUE ABORDAM ELETROQUÍMICA

Quadro 11. Livros utilizados para trabalhar os conteúdos de eletroquímica e recorrência.

LIVROS	RECORRÊNCIA
BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E.; Química: A Ciência Central 9ªed (2005)	46
MOORE, W.J.; Físico-Química Volume 2 (1976)	34
BALL, D.W. Físico-Química - Volumes 1 e 2 (2005)	32
CASTELLAN, G. W. Fundamentos de Físico-Química (1986)	32
MAHAN, B. M.; MYERS, R. J.; Química: um curso universitário (1995)	32
ATKINS, P.; JONES, L.; Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente 5ªed (2011)	30
RUSSELL, J. B.; Química Geral (1994)	30
Levine, I. N. Físico-Química Volume 1 6ªed (2012)	28
SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R.; Fundamentos de Química Analítica 8ªed (2005)	26
ATKINS, P.; PAULA, J.; Físico-Química - Volume 1 8ªed (2008)	25
ATKINS, P.; PAULA, J.; Físico-Química - Volume 1 9ªed (2012)	24
ATKINS, P.; PAULA, J.; Físico-Química - Volume 1 7ªed (2003)	23
ATKINS, P.; PAULA, J.; Físico-Química - Volume 2 9ªed (2012)	23
ATKINS, P.; JONES, L.; Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente 3ªed (2006)	22
HOLLER, F. J.; SKOOG, D. A.; CROUCH, S. R.; Princípios de Análise Instrumental 6ªed (2009)	22
Levine, I. N. Físico-Química Vol.2 6ªed (2012)	22
ATKINS, P.; PAULA, J.; Físico-Química - Volume 1 10ªed (2021)	20
VOGEL, A. I.; MENDHAM, J.; DENNEY, R. C.; BARNES, J. D.; THOMAS, M. J. J.; Análise Química Quantitativa 6ªed (2002)	20
MOORE, W.J.; Físico-Química Volume 1 (1976)	19
BRADY, J. E.; HUMISTON, G. E.; Química Geral - Volume 1 (1986)	18
McQUARRIE, D. A.; SIMON, J. D. Physical Chemistry: A Molecular Approach (1997)	18
ATKINS, P.; JONES, L.; Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente (2001)	17
ATKINS, P.; PAULA, J.; Físico-Química - Volume 2 8ªed (2008)	17
ATKINS, P.; PAULA, J.; Físico-Química - Volume 2 10ªed (2021)	17
SKOOG, D.A; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A.; Princípios da Análise Instrumental 5ªed (2002)	17
ATKINS, P.; PAULA, J.; Físico-Química - Volume 2 7ªed (2003)	16
SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R.; Fundamentos de Química Analítica 9ªed (2018)	16
KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; Química Geral e Reações Químicas Volumes 1 e 2 5ªed (2005)	15
EWING, G. W.; Métodos Instrumentais de Análise Química (1972)	14

KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; WEAVER, G. C.; Química Geral e Reações Químicas 6ªed Volumes 1 e 2 (2010)	13
RUSSELL, J. B.; Química Geral Volumes 1 e 2 (1981)	13
RUSSELL, J. B.; Química Geral Volumes 1 e 2 (2004)	13
CHRISTIAN, G. D.; Analytical Chemistry 5ªed (1994)	12
ATKINS, P.; PAULA, J.; Físico-Química - Volume 3 7ªed (2003)	11
CHANG, R.; Físico-Química para a Ciências Químicas e Biológicas - Volumes 1 e 2 (2010)	11
KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; TOWNSEND, J. R.; TREICHEL, D. A.; Química Geral e Reações Químicas 9ªed Volumes 1 e 2 (2015)	11
MASTERTON, W. L.; SLOWINSKI, E. J.; STANITSKI, C. L.; Princípios de Química (1990)	11
ATKINS, P.; PAULA, J.; Físico-Química - Volume 1 6ªed (1999)	10
TICIANELLI, E. A.; GONZALEZ, E. R.; Eletroquímica: Princípios e Aplicações (2005)	10
ATKINS, P.; PAULA, J.; Físico-Química - Volumes 2 e 3 6ªed (1999)	9
BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E.; MURPHY, C. J.; WOODWARD, P. M.; STOLTZFUS, M. W; Química: A Ciência Central 13ªed (2017)	9
LEVINE I. N. Physical Chemistry 5ªed (2002)	9
BACCAN, N.; ANDRADE, J.C.; GODINHO, O. E. S.; BARONE, J. S.; Química Analítica Quantitativa Elementar 3ªed (2001)	8
BRADY, J. E.; SENESE, F.; Química: A matéria e Suas Transformações (2009)	8
CASTELLAN, G. W. Fundamentos de Físico-Química (1995)	8
HARRIS, D. C.; Análise Química Quantitativa 8ªed (2012)	8
HARRIS, D. C.; Análise Química Quantitativa 9ªed (2017)	8
LEE, J. D. Química Inorgânica não tão concisa (2001)	8
PILLA, L; Físico-química (1980)	8
BRADY, J. E.; RUSSEL, J. W.; HOLUM, J.R.; Química: A matéria e suas transformações (2002)	7
CIENFUEGOS, F.; VAITSMAN, D.; Análise Instrumental (2000)	7
HAGE, D. S.; CARR, J. D.; Química Analítica e Análise Quantitativa (2012)	7
HARRIS, D. C.; Análise Química Quantitativa 6ªed (2005)	7
HARRIS, D. C.; Análise Química Quantitativa 7ªed (2008)	7
MACEDO, H.; Físico-química I (1981)	7
PETRUCCI, R. H.; HARWOOD, W. S.; HERRING, F. G.; MADURA, J.D.; General Chemistry: Principles and Modern Applications (2007)	7
VOGEL, A. I.; Química Analítica Qualitativa (1981)	7
ALBERTY, R.A.; SILBEY, R. J.; Physical Chemistry (1997)	6
BURROWS, A.; PARSONS, A.; PRICE, G.; Chemistry ³ : Inorganic, Organic and Physical Chemistry (2009)	6
CHANG, R.; Química Geral: Conceitos Essenciais 4ªed (2007)	6
COLLINS, C. H.; BRAGA, G. L.; BONATO, P. S.; Fundamentos da Cromatografia (2006)	6

HARRIS, D. C.; Análise Química Quantitativa 5ªed (2001)	6
LEVINE, I. N. Physical Chemistry 6ªed (2008)	6
OHLWEILER, O. A.; Fundamentos de Análise Instrumental (1981)	6
ATKINS, P.; Físico-Química: Fundamentos 6ªed (2018)	5
ATKINS, P.; Físico-Química: Fundamentos 2ªed (2003)	5
BRETT, A. M. O; BRETT, C. M. A.; Electroquímica: Princípios, Métodos e Aplicações (1993)	5
CASTELLAN, G. W. Fundamentos de Físico-Química (2003)	5
CASTELLAN, G. W. Fundamentos de Físico-Química (2008)	5
CASTELLAN, G. W. Fundamentos de Físico-Química (1973)	5
COLLINS, C. H.; BRAGA, G. L.; BONATO, P. S.; Introdução a Métodos Cromatográficos (1990)	5
DENARO, A. R.; Fundamentos de Eletroquímica (1974)	5
HIGSON, S; Química Analítica (2009)	5
JONES, L.; ATKINS, P.; Chemistry: Molecules, Matter and Change (2000)	5
KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; Química e Reações Químicas Volumes 1 e 2 3ªed (1998)	5
RANGEL, R. N.; Práticas de Físico-Química (2006)	5
SHRIVER, D.; ATKINS, P.; Química Inorgânica 3ªed (2003)	5
WILLARD, H. H.; MERRITT, L. L.; DEAN, J. A.; Análise Instrumental (1979)	5
ATKINS, P.; Físico-Química: Fundamentos 5ªed (2011)	4
ATKINS, P.; PAULA, J.; Physical Chemistry 8ªed (2006)	4
ATKINS, P.; Physical Chemistry 4ª ed (1990)	4
BARD, A. J.; FAULKNER, L. R.; Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications (1980)	4
CHANG, R.; GOLDSBY, K. A.; Química 11ªed (2013)	4
CROW, D. R.; Principles and applications of electrochemistry (1994)	4
EBBING, D. D.; Química Geral Volumes 1 e 2 (1998)	4
Gentil, V. Corrosão 3ªed (1996)	4
GONÇALVES, M. L. S. S.; Métodos Instrumentais para Análise de Soluções (1983)	4
KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; Química e Reações Químicas 4ªed (2002)	4
MAHAN, B. M.; Química: um curso universitário (1978)	4
OHLWEILER, O.A.; Química Analítica Quantitativa 3ªed (1981)	4
SHOEMAKER, D. P.; GARLAND, W.; STEINFELD, J. I.; NIBLER, J. W.; Experiments in Physical Chemistry (1981)	4
SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; WEST, D. M.; Analytical Chemistry - An Introduction (1990)	4
SLABAUGH, W. H.; Química Geral (1982)	4
ADAMSON, A.W.; GAST, A. P.; Physical Chemistry of Surfaces (1997)	3
ALBERTY, R. A.; DANIELS, F.; Physical Chemistry (1980)	3
ATKINS, P.; Físico-Química: Fundamentos 3ªed (2009)	3
ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L.; Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente 7ªed (2018)	3

BARD, A. J.; Chemical equilibrium (1970)	3
BARD, A. J.; FAULKNER, L. R.; Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications (2001)	3
BOCKRIS, J. O'M.; REDDY, A. K. N.; Modern Electrochemistry: Ionics - Volume 1 (2000) e BOCKRIS, J. O'M.; REDDY, A. K. N.; GAMBOA-ALDECO, M.; Modern Electrochemistry 2A: Fundamentals of Electrodeics (2000)	3
BRETT, A. M. O; BRETT, C. M. A.; Electroquímica: Princípios, Métodos e Aplicações (1996)	3
CASTELLAN, G. W. Fundamentos de Físico-Química (1989)	3
CHAGAS, A.P. Termodinâmica Química, 1999	3
CHRISTIAN, G. D.; O'REILY, J. E.; Instrumental Analysis 2ªed (1987)	3
KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; Chemistry and Chemical Reactivity (1996)	3
MARON, S. H.; PRUTTON, C.F.; Fundamentos de Físico-Química (1977)	3
McQUARRIE, D. A.; SIMON, J. D. Molecular Thermodynamics (1999)	3
MIESSLER, G. L.; FISCHER, P. J.; TARR, D. A.; Química Inorgânica (2014)	3
PILLA, L. Físico-química I (2006)	3
ROSENBERG, J. L.; EPSTEIN, L. M.; Química Geral (2002)	3
SETTLE, F.; Handbook of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry (1997)	3
SHRIVER, D.; ATKINS, P.; Química Inorgânica 4ªed (2008)	3
SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; Fundamentals of Analytical Chemistry (1992)	3
TICIANELLI, E. A.; GONZALEZ, E. R.; Eletroquímica: Princípios e Aplicações 2ªed (2013)	3
ADAMIAN, R.; ALMENDRA, E.; Físico-química: uma Aplicação aos Materiais (2002)	2
ALEXEYEV, V. N.; Qualitative Analysis (2000)	2
ANDRADE, L. N.; Introdução à Computação Algébrica com o MAPLE (2004)	2
ATKINS, P.; PAULA, J.; Physical Chemistry 7ª ed (2002)	2
ATKINS, P.; PAULA, J.; Physical Chemistry: Thermodynamics, Structure and Change 10ªed (2018)	2
ATKINS, P.; Physical Chemistry 6ª ed (1998)	2
AVERY, H.E. Cinética Química Básica y Mecanismos de reacción (1977)	2
BACCAN, N.; GODINHO, O. E. S.; ALEIXO, L. M.; STEIN, E.; Introdução à Semimicroanálise Qualitativa (1995)	2
BARROS, H. L. C.; Química Geral: Forças Intermoleculares, Sólidos e Soluções (FISS) (1993)	2
BARROW, G. M.; Química Física - Volumes 1 e 2 (1972)	2
BARROW, G.M.; Physical Chemistry (1997)	2
BENVENUTTI, E. V.; Química Inorgânica: Átomos, Moléculas, Líquidos e Sólidos (2006)	2
BERRY, R. S.; RICE, S. A.; ROSS, J.; Physical Chemistry 2ªed (2002)	2

BOCKRIS, J. O'M.; REDDY, A. K. N.; Modern Electrochemistry: An Introduction to an Interdisciplinary Area - Volumes 1 e 2 (1973)	2
BORGES, K. B.; FIGUEIREDO, E. C.; QUEIROZ, M. E. C.; Preparo de Amostras para Análise de Compostos Orgânicos (2015)	2
BRUNI, A. T.; VELHO, J. A.; OLIVEIRA, M. F.; Fundamentos de Química Forense: uma Análise Prática da Química que Soluciona Crimes (2012)	2
BUTLER, J. N.; Ionic Equilibrium: Solubility and pH Calculations (1998)	2
CASTELLAN, G. W. Fundamentos de Físico-Química (1997)	2
CASTELLAN, G. W. Fundamentos de Físico-Química (1999)	2
CASTELLAN, G. W. Fundamentos de Físico-Química (2001)	2
CASTELLAN, G. W. Fundamentos de Físico-Química (1981)	2
COTTON, F. A.; WILKINSON, G.; Química Inorgânica Básica (1980)	2
CROCKFORD, H. D.; KNIGHT, S. B.; Fundamentos de Físico-Química (1977)	2
CROPPER, W. H.; Mathematica Computer Programs for Physical Chemistry (1998)	2
DAMASKIN, B.; PETRI, O.; Fundamentos da Electroquímica Teórica (1985)	2
FARIAS, R. F.; Para Gostar de Ler a História da Química Volumes 1, 2 e 3	2
FIGUEIREDO, D. G.; Problemas Resolvidos de Físico-Química (1982)	2
FREISER, H.; Concepts & Calculations in Analytical Chemistry: A Spreadsheet Approach (2000)	2
GILEADI, E; Physical Electrochemistry: Fundamentals, Techniques and Applications (2011)	2
GOMES, C. B. (Coord.); Técnicas Analíticas Instrumentais Aplicadas à Geologia (1984)	2
GUENTHER, W. B.; Química Quantitativa: Medições e Equilíbrio (1972)	2
HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; Fundamentos de Física Volumes 3 e 4 (1984)	2
HAMANN, C. H.; HAMNETT, A.; VIELSTICH, W.; Electrochemistry (2006)	2
HARRIS, D.C.; Explorando a Química Analítica 4ªed (2016)	2
KELLNER, R.; MERMET, J-M.; OTTO, M.; VALCARCEL, M.; WIDMER, H. M.; Analytical Chemistry: A modern approach to analytical science (2004)	2
KOLTHOFF, I.M.; SANDELL, E. B.; MEEHAN, E.J.; BRUCKENSTEIN, S.; Analisis Químico Cuantitativo	2
LAILER, K. J.; Chemical kinetics (1987)	2
LEICESTER, H. M.; The Historical Background of Chemistry (1971)	2
MOREAU, R. L. M.; SIQUEIRA, M. E. P. B.; Ciências Farmacêuticas: Toxicologia Analítica (2015)	2
NETZ, P. A.; GONZALEZ ORTEGA, G. Fundamentos de Físico-Química: Uma Abordagem Conceitual para as Ciências Farmacêuticas (2002)	2
NEVES, L. S.; FARIAS, R. F.; História da Química: Um livro-texto para a graduação (2011)	2
PILLA, L. Físico-Química II (2010)	2

PILLING, M. J.; SEAKINS, P. W.; Reactions Kinetics (1995)	2
QUAGLIANO, J. V.; VALLARINO, L. M.; Química (1979)	2
RILEY, T.; TOMLINSON, C.; Principles of Electroanalytical Methods (1987)	2
SAWYER, D. T.; ROBERTS, J. L.; Experimental electrochemistry for chemists (1995)	2
SKOOG, D. A.; LEARY, J. J.; Principles of Instrumental Analysis (1992)	2
SOUZA, A. A.; FARIAS, R. F.; Cinética Química: Teoria e Prática (2008)	2
SPENCER, J. N.; BODNER, J. N.; RICKARD, L. M.; Química: estrutura e dinâmica (2007)	2
VALCARCEL, M.; Principles of Analytical Chemistry: a Textbook (2000)	2
VIDOTTI, G. J.; Corrosão (1970)	2
VOGEL, A. I.; Análise Inorgânica Quantitativa (1981)	2
VOGEL, A. I.; Análise Química Quantitativa 5ªed (1992)	2
WANG, J.; Analytical Electrochemistry (1995)	2
WILLARD, H. H.; MERRITT, L. L.; DEAN, J. A.; Instrumental Methods of Analysis (1988)	2
WRIGHT, M. R.; Introduction to Aqueous Electrolyte Solutions (2007)	2
YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A.; Física III: Eletromagnetismo Volume 3 (2004)	2
ADAMSON, A. W.; A Textbook of Physical Chemistry (1986)	1
ALBERTY, R. A.; SILBEY, R. J.; Physical Chemistry (1992)	1
ALEXEEV, V.; Análise Quantitativa (1983)	1
ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C.; Green chemistry: Theory and practice (2000)	1
ARAUJO, H.; IRIS, A.; Análise Instrumental: uma abordagem prática (2021) (e-book)	1
ATKINS, P. W.; BERAN, J. A.; General Chemistry (1992)	1
ATKINS, P.; PAULA, J.; FRIEDMAN, R.; Quanta, Matéria e Mudança: Uma Abordagem Molecular para a Físico-Química (2011)	1
ATKINS, P.; Physical Chemistry 5ª ed (1994)	1
BAGOTSKY, V. S.; Fundamentals of Electrochemistry (2005)	1
BAIRD, C.; Química ambiental (2002)	1
BARROW, G. M.; Físico-química (1982)	1
BARROW, G. M.; Physical Chemistry (1961)	1
BASOLO, F.; JOHNSON, R.; Química de los compuestos de coordinación (1980)	1
BENSAUDE-VINCENT, B.; STENGERS, I.; História da Química (1992)	1
BOCKRIS, J. O'M.; KHAN, S. U. M.; Surface Electrochemistry: A Molecular Level Approach (1993)	1
BRAATHEN, P. C.; Química Geral (2012)	1
BRAATHEN, P.C.; Química Geral (2009)	1
BRAUN, R. D.; Introduction to Instrumental Analysis (1987)	1
BRECK, W. G.; BROWN, R. J. C.; MCCOWAN, J. D.; Chemistry for Science and Engineering (1989)	1

BRETT, A. M. O; BRETT, C. M. A.; Electroquímica: Princípios, Métodos e Aplicações (2000)	1
BROWN, L. S.; HOLME, T. A.; Química Geral Aplicada à Engenharia (2014)	1
BURGER, K.; Coordination Chemistry: Experimental Methods (1982)	1
CASTELLAN, G. W. Fundamentos de Físico-Química (1978)	1
CHALMERS, A. F. O que é ciência afinal? (1993)	1
CHRISTIAN, G. D.; Analytical Chemistry: Solutions Manual (1994)	1
COMPTON, R. G.; SANDERS, G. H. W.; Electrode Potentials (1998)	1
CONSTANTINO, M. G.; SILVA, G. V. J.; DONATE, P. M.; Fundamentos de Química Experimental (2004)	1
COTTON, S.; Lanthanide and Actinide Chemistry (2006)	1
DAY, R. A.; UNDERWOOD, A. L.; Quantitative Analysis (1990)	1
D'CONNOR, R.; Fundamentos de Química (1997)	1
D'CONNOR; Introdução à Química (1997)	1
DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. C. A.; Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos (2002)	1
DI BERNARDO, L.; Métodos e Técnicas de Tratamento de Água (1993)	1
DIAS, S. L. P.; VAGHETTI, J. C. P.; LIMA, E. C.; BRASIL, J. L.; PAVAN, F. A.; Química Analítica: Teoria e Trática Essencias (2016)	1
DICK, Y. P.; SOUZA, R. F.; Físico-química: Um estudo dirigido sobre equilíbrio entre fases, soluções e eletroquímica (2006)	1
EVANS, A.; Potentiometry and Ion Selective Electrodes (1991)	1
FATIBELLO FILHO, O.; Equilíbrio iônico: aplicações em química analítica (2016)	1
FATIBELLO FILHO, O.; SILVA, T. A.; MORAES, F. C.; SITTA, E.; Eletroanálises: Aspectos teóricos e práticos (2022)	1
FELDER, R. M.; Princípios Elementares dos Processos Químicos (1993)	1
FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D. R.; GIBIN, G. B.; OLIVEIRA, R. C.; Contém Química: pensar, fazer e aprender com experimentos (2011)	1
FIGUEIREDO, J. L.; RIBEIRO, F. R.; Catálise Heterogênea	1
FISCHER, R. B.; PETERS, D.; Chemical Equilibrium (1970)	1
FLACH, S. E.; Introdução à Química Inorgânica Experimental (1985)	1
FREEMANTLE, M. H.; Chemistry in action (1995)	1
GARRITZ, A.; CHAMIZO, J. A.; Química (2003)	1
Gentil, V. Corrosão 1ªed (1982)	1
GLASSTONE, S.; LEWIS, D.; Elements of Physical Chemistry (1996)	1
GLASSTONE, S.; Tratado de Físico-Química, 4ªed (1981)	1
HARVEY, D.; Analytical Chemistry 2.0	1
HILSDORF, J. W.; BARROS, N. D.; TASSINARI, C. A.; COSTA, I.; Química Tecnológica (2004)	1
HOLZE, R.; Experimental Electrochemistry (2009)	1
JONES, D. G.; Introdução à Tecnologia Química (1971)	1
KORDESH, K.; SIMADER, G.; Fuel Cells and Their Applications (1996)	1
KRUG, F. J.; ROCHA, F. R. P.; Métodos de preparo de amostras para análise elementar (2016)	1

LAGOWSKI, J. J.; SORUM, C. H.; Introduction to Semimicro Qualitative Analysis (1991)	1
LANCASTER, M.; Green chemistry (2002)	1
LAVOISIER, A. L. Tratado Elemental de Química (2007)	1
LEAL, M. C.; Didática da Química: fundamentos e práticas para o ensino médio (2009)	1
LEVENSPIEL, O.; Engenharia das Reações Químicas (1974)	1
LEVINE I. N. Physical Chemistry 1 ^a ed (1978)	1
LEVINE, I. N. Physical Chemistry 3 ^a ed (1988)	1
LIBÂNIO, M. Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água (2005)	1
LIDE, D. R. (Ed.); CRC Handbook of Chemistry and Physics 86 ^a ed (2005)	1
LIMA, A. A.; Físico-Química (2015) (e-book)	1
LIPKOWSKI, J.; ROSS, P. N.; Frontiers of Electrochemistry: Structure of Electrified Interfaces (1993)	1
MABROUK, P. A.; Analytical Chemistry: lab manual (1993)	1
MACEDO, H.; Elementos da teoria cinética dos gases (1980)	1
MAIA, D. J.; BIANCHI, J. C. A.; Química Geral: Fundamentos (2007)	1
MALM, L. E.; Manual de Laboratório para Química: Uma Ciência Experimental	1
MANAHAN, S. E.; Green chemistry and the ten commandments of sustainability (2005)	1
MASTERTON, W. L.; SLOWINSKI, E. J.; Química Geral Superior (1978)	1
MATLACK, A.; Introduction to Green Chemistry (2001)	1
MCCLELLAN, A. L.; Guia do Professor para Química: Uma Ciência Experimental	1
MELOAN, C. E.; KISER, R. M.; Problemas y Experimentos em Analisis Instrumental (1973)	1
MIRANDA-PINTO, C. O. B; SOUZA, E.; Manual de trabalhos práticos de Físico-Química (2006)	1
MONK, P. M. S.; Physical Chemistry: Understanding our Chemical World (2004)	1
MOORE, J. W.; PEARSON, R. G.; Kinetics and Mechanism (1981)	1
OLDHAM, K.; MYLAND, J.; Fundamentals of Electrochemical Science (1993)	1
PAVIA, D. L.; LAMPMAN, G. M.; KRIZ, G. S.; VYVYAN, J. R.; Introdução à espectroscopia (2010)	1
PIMENTEL, G. C.; Química: uma ciência experimental (1974)	1
PIMENTEL, G. C.; SPRATLEY, R. D.; Química: um tratamento moderno Volumes 1 e 2 (1974)	1
PLETCHER, D.; First Course in Electrode Process (1991)	1
PLETCHER, D.; GREFF, R.; PEAT, R.; PETER, L. M.; ROBINSON, J.; Instrumental Methods in Electrochemistry (2002)	1
RANGEL, R. N.; Práticas de Físico-Química 2 ^a ed (1998)	1
RILEY, T.; WATSON, A.; Polarography and other voltametric methods (1987)	1

ROCHA, J.C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A.; Introdução à química ambiental (2004)	1
ROCHA-FILHO, R. C.; SILVA, R. R.; Cálculos Básicos da Química 3ªed (2014)	1
RUIZ, A. G.; GUERRERO, J. A. C.; Química (2003)	1
SANTOS FILHO, P. F.; Estrutura atômica e ligação química: um livro-texto para a primeira disciplina do curso de química (1999)	1
SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A.; Ensino de Química em Foco (2011)	1
SAWYER, D. T.; HEINEMAN, W. R.; BEEBE, J. M.; Chemistry Experiments (1984)	1
SCHENK, G. H.; Qualitative Analysis and Ionic Equilibrium (1990)	1
SCHOLZ, F.; Electroanalytical Methods: Guide to Experiments and Applications (2005)	1
SEMICHIN, V.; Práticas de Química Geral - Inorgânica (1979)	1
SHREVE, R. N.; BRINK, J. A.; Indústrias de Processos Químicos (1980)	1
SILVA, R. R.; BOCCHI, N.; ROCHA FILHO, R. C.; Introdução à Química Experimental (1990)	1
SIMÕES NETO, J. E.; Histórias da Química (2017)	1
SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; Fundamentos de Química Analítica 2ªed (1983)	1
SLABAUGH, W. H.; PARSONS, T. D.; Química Geral (1990)	1
SMITH, J. M.; VAN NESS, H. C.; ABBOTT, M. M.; Introdução à termodinâmica da engenharia química 7ªed (2005)	1
STEINFIELD, J. I.; FRANCISCO, J. S.; HASE, W. L.; Chemical kinetics and dynamics (1999)	1
STRADIOTTO, N. R.; YAMANAKA, H.; ZANONI, M. V. B.; SOTOMAYOR, M. D. P. T.; Métodos eletroanalíticos: conceitos, experimentos e aplicações (2022)	1
TEGEDER, F.; MAYER, L.; Métodos de la Indústria Química (1973)	1
TICIANELLI, E. A.; GONZALEZ, E. R.; Eletroquímica: Princípios e Aplicações (1998)	1
USBERCO, J.; SALVADOR, E.; Química Geral Volume 1 9ªed (2000)	1
VIVEIROS, A.; Química no Contexto Volumes 1, 2 e 3 (2011)	1
WALTER, J.M.; Physical Chemistry 4ªed (1972)	1
WAYNE, R. P.; Chemical Instrumentation (1994)	1
WHITTEN, K. W.; DAVIS, R. E.; PECK, M. L.; General Chemistry with Qualitative Analysis (1996)	1
WISMER, R. K.; Qualitative analysis with ionic equilibrium (1991)	1

Fonte: Elaboração própria.

ANEXO A- DECA**Quadro 12.** DECA (Dificuldade, Equívoco e Concepção Alternativa)

ASSUNTO	DECA
Oxidação e Redução	1. Estado de oxidação de um elemento é o mesmo que a carga do íon monoatômico desse elemento. 2. Em todas as equações, a adição e a remoção de oxigênio podem ser usadas para identificar uma reação de oxidação ou redução. 3. Nas equações químicas, a mudança de cargas de espécies poliatômicas pode ser usada para identificar uma reação de oxidação ou redução. 4. Os processos de oxidação e redução ocorrem independentemente. 5. Números ou estados de oxidação podem ser atribuídos a moléculas poliatômicas ou a íons. 6. A carga das espécies poliatômicas indica o estado de oxidação da molécula ou íon. 7. Em uma equação, mudanças nas cargas de espécies poliatômicas podem ser usadas para determinar o número de elétrons removidos ou ganhos pelas espécies reativas.
Corrente Elétrica	8. A eletricidade na química e na física é diferente porque o fluxo da corrente ocorre em direções opostas. 9. Elétrons movem-se em solução pela atração alternada de um íon para o outro. 10. Quando um eletrólito conduz corrente, os elétrons movem-se para um íon no cátodo e são transportados por esse íon para o ânodo. 11. Em uma pilha os ânions e cátions são atraídos uns pelos outros e isso afeta o movimento dos íons nos eletrodos. 12. Elétrons movem-se através dos eletrólitos por serem atraídos por íons positivos em solução. 13. Prótons fluem nos condutores metálicos. 14. A corrente convencional é o fluxo de cargas positivas (geralmente prótons). 15. Os elétrons fluem nos eletrólitos. 16. Prótons e elétrons fluem em direções opostas em um eletrólito. 17. O movimento de íons em solução não constitui uma corrente elétrica. 18. Elétrons podem fluir pela solução aquosa sem assistência dos íons. 19. Apenas as cargas negativas constituem o fluxo de corrente no eletrólito e na ponte salina. 20. Prótons fluem em eletrólitos (independentemente se a solução é ácida, básica ou neutra).
Ponte Salina	21. Em uma célula eletroquímica, a ponte salina fornece elétrons necessários para completar o circuito. 22. A ponte salina auxilia no fluxo de corrente (ou seja, no fluxo de elétrons porque os íons positivos na ponte atraem os elétrons de uma meia-célula para outra meia-célula). 23. Ânions na ponte salina e nos eletrólitos aceitam elétrons e transferem do cátodo para o ânodo. 24. Cátions na ponte salina e no eletrólito aceitam elétrons e transferem do cátodo para o ânodo.
Ânodo e Cátodo	25. O ânodo é carregado positivamente porque ele perde elétrons e o cátodo é carregado negativamente porque ganha elétrons. 26. O ânodo é carregado negativamente e por isso atrai cátions, o cátodo é carregado positivamente e por isso atrai ânions. 27. Nas tabelas de potenciais de redução padrão. A espécie com maior potência é o ânodo. 28. A lista de potencial padrão de redução coloca a reatividade dos metais em ordem decrescente de cima para baixo.

	<p>29. A identificação do ânodo e do cátodo depende da localização física da meia-célula.</p> <p>30. Ânodos, como ânions, sempre são carregados negativamente, cátodos, como cátions, são carregados positivamente.</p>
Diferença de Potencial	<p>31. Uma diferença de potencial entre dois pontos é exclusivamente devido a diferente na concentração de carga nesses pontos.</p> <p>32. Há uma concentração elevada de elétrons no ânodo.</p> <p>33. Existe uma baixa concentração de elétrons no cátodo.</p> <p>34. Os elétrons deixam o ânodo, onde existe uma elevada concentração de elétrons e movem-se através do circuito externo para o cátodo, onde existe uma baixa concentração de elétrons.</p> <p>35. A designação do E° para uma semicélula padrão $H_2 (1atm)/H^+ (1M)$ ser zero não é arbitrária, pois é baseada na química do H^+ e H_2.</p> <p>36. Não há necessidade de uma meia-célula padrão.</p> <p>37. Potenciais de meia célula são absolutos na natureza e podem ser usados para predizer a espontaneidade das meias células.</p> <p>38. Potenciais das células são derivados da adição individual dos potenciais de redução.</p> <p>39. Potenciais de meia célula não são propriedades intensivas.</p>
Funcionamento das Pilhas Eletroquímicas	<p>40. Elétrons entram na solução pelo cátodo, viajam pelo eletrólito (e/ou pela ponte salina) e emergem no ânodo para completar o circuito.</p> <p>41. Nas células eletroquímicas, os ânions e cátions movem-se até que suas concentrações nas meias células sejam iguais.</p>

Fonte: VENTURI *et al.* (2021, p. 768).