

DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM DE OXIRREDUÇÃO E A ABORDAGEM DO CONTEÚDO EM LIVROS DIDÁTICOS DA EDUCAÇÃO BÁSICA BRASILEIRA

LEARNING DIFFICULTIES OF REDOX AND THE CONTENT APPROACH IN BRAZILIAN BASIC EDUCATION TEXTBOOKS

Anike Arnaud  

Universidade de São Paulo (USP)

✉ anikearnaud@yahoo.com.br

Carmen Fernandez  

Universidade de São Paulo (USP)

✉ carmen@iq.usp.br

RESUMO: O livro didático é um dos recursos didáticos mais presentes na escolarização básica brasileira, podendo auxiliar no ensino dos conceitos químicos complexos, como o de reações redox. Por outro lado, a apresentação do conteúdo nos livros pode também, ocasionar dificuldades na compreensão dos conceitos. Dessa forma, neste trabalho apresenta-se, inicialmente, um mapeamento das principais dificuldades de aprendizagem relatadas na literatura sobre o conteúdo redox. Na sequência analisou-se o modo como o conteúdo de oxirredução é abordado em livros de Ciências e Química da educação básica brasileira, utilizando-se a Análise Temática. Por fim, busca-se identificar possíveis relações da abordagem nos livros e as dificuldades de aprendizagem relatadas na literatura para esse conteúdo. Foram analisadas no total 27 coleções referentes a seis editais do PNLD de 2015 a 2021, totalizando 114 livros didáticos. A análise revelou que o modo como esse conteúdo é apresentado pode ter influência em algumas das dificuldades relatadas.

PALAVRAS-CHAVE: Reação Redox. PNLD. Análise Temática.

ABSTRACT: The textbook is one of the most common teaching resources in Brazilian basic education, and can help teach complex chemical concepts, such as redox reactions. On the other hand, the presentation of content in books can also cause difficulties in understanding concepts. Therefore, this work initially presents a mapping of the main learning difficulties reported in the literature on redox content. Next, we analysed the way in which redox content is covered in Science and Chemistry textbooks in Brazilian basic education, using Thematic Analysis. Finally, we seek to identify possible relationships between the approach in the books and the learning difficulties reported in the literature for this content. A total of 27 collections referring to six PNLD notices from 2015 to 2021 were analyzed, totalling 114 textbooks. The analysis revealed that the way this content is presented may have an influence on some of the reported difficulties.

KEY WORDS: Redox reactions. PNLD. Thematic Analysis.

Introdução

O livro didático (LD) é um dos recursos escolares mais presente nas salas de aulas brasileiras, podendo assumir centralidade na educação básica pois, em alguns casos, pode determinar os conteúdos, as atividades e muitas vezes a abordagem a ser utilizada pelo professor. No contexto brasileiro ocorrem processos de avaliação da qualidade do conteúdo presentes nos livros didáticos, porém ocorre uma padronização dos livros utilizados no ensino público e, salvo raras

exceções, apresentam conteúdos parecidos, com sequências e exemplos bastante similares (Megid Neto & Fracalanza, 2003).

Contudo, é inegável a importância desse recurso didático na educação básica. Para Núñez e colaboradores (2003) o livro de ciências constitui-se um representante da comunidade científica no contexto escolar, trazendo para a sala de aula as Ciências Naturais para que o aluno compreenda e explique o mundo em que vive:

É nele que as ciências devem dialogar com outros tipos de saberes, como uma obra aberta, problematizadora da realidade, que dialoga com a razão para o pensamento criativo. Nele a Ciência se deve apresentar como uma referência fruto da construção humana, sócio historicamente contextualizada, na dinâmica do processo que lhe caracteriza como construção, e não como um produto fechado, como racionalidade objetiva única que mutila o pensamento das crianças. (Núñez et al., p.3, 2003).

Pode-se considerar, portanto, que o livro “situa-se entre uma versão adaptada do produto final da atividade científica e uma versão livre dos métodos de produção do conhecimento científico” (Megid Neto & Fracalanza, 2003, p. 154). Nesse sentido, é necessário investigar como os livros didáticos apresentam os conteúdos, pois, a forma como um conteúdo é apresentado pode influenciar a abordagem dos professores e o aprendizado dos alunos, podendo dificultar a aprendizagem de conceitos complexos.

Um dos conteúdos considerado complexo e presente nos currículos de Química da educação básica é o de oxirredução (Arnaud, 2019). As reações redox são uma classe de reações químicas versáteis e amplamente presentes no cotidiano, tais como os processos de combustão, formação de ferrugem, fotossíntese, metabolismo de alimentos, respiração celular, entre outros. O conteúdo de oxirredução, no ensino médio, é dividido entre a abordagem dos conceitos básicos redox e a abordagem da eletroquímica onde estudam-se reações importantíssimas numa sociedade tecnológica, como a extração e corrosão de metais e a geração de energia por meio de reações químicas.

No documento orientador curricular da educação básica, a Base Nacional Comum Curricular, determina-se que o conteúdo de oxirredução seja abordado para realizar previsões e propor ações que visem a sustentabilidade:

(EM13CNT107) Realizar previsões qualitativas e quantitativas sobre o funcionamento de geradores, motores elétricos e seus componentes, bobinas, transformadores, pilhas, baterias e dispositivos eletrônicos, com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos – com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais –, para propor ações que visem a sustentabilidade. (BRASIL, p. 555, 2018)

Segundo Ghibaudi et al. (2015), a abordagem das reações de oxirredução deve estar alinhada com as ideias sobre estrutura da matéria. Isso significa associar o tipo de ligação química envolvida no processo (as reações podem ocorrer como resultado de rompimento e formação de ligações iônicas ou covalentes) à eletronegatividade dos reagentes envolvidos (elementos mais eletronegativos tendem a atrair os elétrons da ligação para si). Nesse sentido, uma reação de oxidação seria descrita como aquela que envolve ligação entre os participantes e resulta em um aumento do número de oxidação dos reagentes para os produtos. Reações de oxidação, em que há envolvimento de substâncias covalentes, resulta em substâncias com caráter parcial cuja carga seja positiva ou negativa, dependendo da eletronegatividade entre os átomos. Portanto, o caráter redutor ou oxidante de uma substância depende da eletronegatividade de todos os átomos envolvidos no processo. Assim sendo, uma mesma substância pode sofrer redução ou oxidação dependendo da outra substância com a qual está reagindo.

A abordagem dos conceitos de oxirredução em nível médio pode estar associada a diferentes modelos didáticos, como os modelos de oxigênio, hidrogênio, transferência de elétrons e número de oxidação (Ghibaudi, et al. 2015). Contudo, as pesquisas têm demonstrado que a apresentação desse conteúdo por livros didáticos e professores não contempla a transição entre esses modelos, nem uma explicação sobre um modelo ser mais adequado em determinados contextos e não em outros, o que pode causar dificuldades de aprendizagem (Österlund et al. 2010).

No contexto brasileiro, Mendonça e colaboradores (2004) analisaram livros do terceiro ano do ensino médio, comumente referentes ao conteúdo de Química Orgânica, e destacam que poucos livros fazem revisão do e nem dialogam com o conceito de oxidação que foi abordado anteriormente ao ensino dessas reações em Orgânica. Os autores ainda concluem que nenhum dos livros apresentava conteúdo contextualizado envolvendo aspectos ambientais, sociais, econômicos e políticos. Segundo os autores, esses livros seriam pouco adequados ao ensino pois podem contribuir para dificuldades conceituais, tanto de alunos quanto de professores (Mendonça et al., 2004).

Em outras pesquisas sobre o conteúdo redox nos livros didáticos brasileiros buscou-se entender como era feita a apresentação do conteúdo (Santos & Aires, 2016), das imagens (Joaquim, 2017; Goes et al., 2018; Goes et al., 2020b), dos experimentos (Fontes et al., 2012), dos exercícios (Moreira et al., 2008), como são realizados os cálculos referentes a este tópico e se há a presença de aspectos epistemológicos (Santos et al., 2010), além metodológicos e da história da ciência (Pitanga et al., 2014). Estas pesquisas demonstraram que os livros apresentavam conteúdo descontextualizado, imagens e analogias de forma abusiva, obstáculos epistemológicos, equações simplificadas, exercícios que se preocupam apenas com a utilização de fórmulas e experimentos que se realizados não levam aos mesmos resultados descritos nos LD. Uma grande parcela dos livros analisados apresentou distorção conceitual que pode dificultar a compreensão de conceito e, portanto, comprometem a qualidade do livro e a aprendizagem dos conceitos de oxirredução. Dessa forma, a abordagem presente nos livros pode dificultar o ensino dos conteúdos de oxirredução, bem como influenciar as dificuldades de aprendizagem dos conceitos redox.

Buscando-se contribuir com as pesquisas que investigam o livro didático, realizou-se um estudo cujo objetivo é compreender como o conteúdo de reações redox é abordado em livros didáticos do Programa Nacional do Livro Didático -PNLD e relacionar a apresentação desse conteúdo a algumas dificuldades de aprendizagem relatadas na literatura.

Em busca desse objetivo realizou-se inicialmente um mapeamento da literatura sobre as principais dificuldades de aprendizagem associadas ao conteúdo de oxirredução. Na sequência investigou-se nos livros didáticos aprovados pelo PNLD de Ciências do ensino fundamental I e II e de Química do ensino médio, como o conteúdo redox é apresentado e quais as principais reações de oxirredução que são discutidas nesses livros. Por fim, infere-se como a abordagem presente nesses livros pode ser relacionada à algumas dificuldades de aprendizagem relatadas.

Metodologia

Com o intuito de analisar como o conteúdo de reações redox é apresentado em livros didáticos da educação básica, optou-se por uma perspectiva qualitativa para esta pesquisa (Yin, 2016). Primeiramente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica para mapear publicações da área de ensino de Ciências que apresentam dificuldades de aprendizagem sobre o conteúdo de oxirredução, pilhas, baterias e eletrólise. Para tanto, acessou-se o Portal de Periódicos da CAPES¹ e a plataforma ERIC² buscando-se as palavras-chave: dificuldades de aprendizagem, concepções

¹ Acesso ao portal de periódicos da CAPES: <http://www-periodicos-capes-gov-br.ez67.periodicos.capes.gov.br/>

² Acesso à plataforma ERIC: <https://eric.ed.gov/>

alternativas, oxirredução, reações redox, pilhas e baterias, eletrólise; além de combinações entre elas e suas respectivas denominações em inglês. Esse mapeamento foi realizado buscando-se artigos publicados entre os anos de 1990 e 2023.

Para investigar como se dá a apresentação do conteúdo ao longo dos livros de ensino fundamental e médio utilizou-se os pressupostos da Análise Temática (Braun & Clarke, 2021; 2006). A Análise Temática (AT) é um método para identificar, analisar e relatar padrões nos dados. Os padrões são denominados temas e permitem organizar e descrever o conjunto de dados em detalhes. Para Braun e Clarke (2006, 2021) uma das principais vantagens da AT é a flexibilidade e liberdade teórica, que permite determinar os temas de maneiras variadas. Rosa e Mackedanz (2021) defendem a AT como uma alternativa às pesquisas qualitativas na área de ensino de Ciências pois não predispõe nenhuma teoria subjacente e por isso não incluiria vieses na pesquisa.

O procedimento da Análise Temática é dividido em seis fases principais (Braun, Clarke, 2006, 2021). A fase 1 trata da familiarização com os dados, na qual a leitura repetida é realizada para obter a profundidade no conteúdo dos mesmos. A fase 2 é a codificação inicial, onde as características dos dados geram códigos que permitem a organização do corpus da análise. A fase 3 é a busca por potenciais temas, ou seja, os códigos iniciais são agrupados de modo que permitam identificar padrões nos dados. A fase 4 consiste no refinamento dos temas que foram propostos e a realização de leitura de todo o corpus de dados novamente para garantir que o máximo de unidades sejam codificadas nos temas descritos. A fase 5 surge quando já há uma organização satisfatória de temas e, portanto, é a fase de denominação e descrição dos temas. Por fim, a fase 6 trata da análise final e escrita do relatório que contempla a essência do que foi investigado.

Braun e Clarke (2021) descrevem que a Análise Temática deverá ser realizada após a fase inicial da pesquisa qualitativa que trata da organização do corpus de dados e definição das unidades de análise. Portanto, inicialmente descreve-se como o corpus desta pesquisa foi constituído.


























A escolha do corpus de pesquisa se deu pela particularidade vivida atualmente no contexto educacional em virtude da homologação e implementação da Base Nacional Comum Curricular que imprime outras características para a educação básica brasileira. Nesse sentido, acredita-se que os livros do Programa Nacional do Livro Didático podem fornecer os primeiros indícios das mudanças implicadas na implementação da BNCC. Portanto, o corpus de pesquisa é constituído dos livros didáticos aprovados pelo edital atual e anterior do PNLD, na seguinte distribuição: a) as 3 coleções mais vendidas de Ciências da Natureza do ensino fundamental I aprovadas pelo PNLD 2015; b) as 3 coleções mais vendidas de Ciências da Natureza do ensino fundamental II aprovadas pelo PNLD 2016; c) todas as coleções de Química do ensino médio PNLD 2018; d) as 3 coleções mais vendidas de Ciências da Natureza do ensino fundamental I aprovadas no PNLD 2019; e) as 3 coleções mais vendidas de Ciências da Natureza do ensino fundamental aprovadas no PNLD 2020; f) todas as coleções do objeto II do ensino médio do PNLD 2021. A lista das coleções investigadas neste estudo está presente no quadro 1.

Vale ressaltar que a opção por investigar as 3 coleções mais vendidas do PNLD 2015 e 2016 foi devida à dificuldade em encontrar-se os livros de ensino fundamental I e II desses editais, uma vez que os mesmos não foram disponibilizados em meio digital pelas editoras. Assim, optou-se por investigar também as 3 coleções mais vendidas no edital do PNLD 2019 e 2020.

Dessa forma, o universo total de livros analisados nessa pesquisa consiste em: 5 por coleção do PNLD 2015, 4 por coleção do PNLD 2016, 3 por coleção do PNLD 2018, 5 por coleção do PNLD 2019, 4 por coleção do PNLD 2020 e 6 por coleção do PNLD 2021; totalizando 114 livros didáticos.

Quadro 1. Coleções utilizadas na pesquisa

PNLD	Coleção	Descritor	Cor
------	---------	-----------	-----

2015 Ensino Fundamental Anos iniciais	Ligados.Com	LC15	
	Porta Aberta	PA15	
	Projeto Buriti	PB15	
2016 Ensino Fundamental Anos finais	Investigar e Conhecer: Ciências da Natureza	IC16	
	Projeto Teláris	TL16	
	Projeto Araribá	AR16	
2018 Ensino Médio	Química	MM18	
	Química - Ciscato, Pereira, Chemello e Proti	CP18	
	Ser Protagonista	SP18	
	Química Cidadã	QC18	
	Química	MR18	
	Vivá- Química	VV18	
2019 Ensino Fundamental Anos iniciais	Buriti mais	BM19	
	Ápis	AP19	
	Aprender Juntos	AJ19	
2020 Ensino Fundamental Anos finais	Teláris	TL20	
	Araribá	AR20	
	Aprendendo com o cotidiano	AC20	
2021 Ensino Médio	Matéria, Energia e Vida	MEV21	
	Lopes e Rosso	LRO21	
	Diálogo	DLG21	
	Moderna Plus	MDP21	
	Conexões	CNX21	
	Ser Protagonista	SPT21	
	Multiversos	MTV21	

Fonte: Organizado pelas autoras.

Fonte das coleções: Carnevalle, M. R. (2015); Jomaa, L. Y., Vasconcelos, L. R. S., & Bakri, M. S. (2015); Júlio, S. R. (2015); Lopes, S. (2015); Mendes, D., et al. (2015); Ciscato, C. A. M., Pereira, L. F., Chemello, E., & Proti, P. B. (2016); Fonseca, M. R. M. Da. (2016); Gewandsznajder, F. (2016); Lisboa, J. C. F. (2016); Mortimer, E. F., & Machado, A. H. (2016); Novais, V. L. D., & Antunes, M. T. (2016); Santos, W. L. P. dos (coord.) (2016); Nigro, R. C. (2017); Rocha, R. (2017); Yamamoto, A. C. A. (2017); Canto, E. L. (2018); Carnevalle, M. R. (2018); Gewandsznajder, F. (2018); Aguilar, J. B., Nahas, T., Aoki, & V. L. M. (2020); Amabis, J. M., et al. (2020); Godoy, L. P. (2020); Lopes, S. (2020); Mortimer, E., et al. (2020); Rios, E. P., et al. (2020); Santos, K. C. (2020).

É importante acrescentar que os livros didáticos referentes ao PNLD 2021 para o ensino médio apresentam uma proposta diferente, não podendo ser distinguidos por ano escolar. No edital do PNLD 2018 as coleções de Química aprovadas descreviam quais livros seriam destinados ao 1º, 2º e 3º do ensino médio. Entretanto, no PNLD 2021 as coleções são referentes à área de Ciências da Natureza e suas tecnologias e cada coleção contempla 6 volumes. Os volumes não podem ser atribuídos a um ano específico, cabendo ao professor e à escola organizar como os livros serão usados de acordo com o projeto escolar. Dessa forma, utilizou-se a descrição na ficha catalográfica das coleções para determinar quais seriam os volumes 1, 2, 3, 4, 5 e 6, sem atrelar o volume há um ano específico. Essa distribuição pode ser observada no quadro 2.

Quadro 2. Coleções de Ciências da Natureza do PNLD 2021 e seus respectivos volumes

Coleção	Volumes
Lopes e Rosso	Vol. I - Evolução e Universo
	Vol. II - Energia e Consumo Sustentável
	Vol. III - Água, agricultura e uso da terra
	Vol. IV - Poluição e movimento

Dificuldades de Aprendizagem de Oxirredução e a Abordagem do Conteúdo em Livros Didáticos da Educação Básica Brasileira

	Vol. V - Corpo humano e vida saudável
	Vol. VI - Mundo tecnológico e ciências aplicadas
Conexões	Vol. I - Matéria e energia
	Vol. II - Energia e ambiente
	Vol. III - Saúde e tecnologia
	Vol. IV - Conservação e transformação
	Vol. V - Terra e equilíbrios
	Vol. VI - Universo, materiais e evolução
Moderna Plus	Vol. I - O conhecimento científico
	Vol. II - Água e vida
	Vol. III - Matéria e energia
	Vol. IV - Humanidade e ambiente
	Vol. V - Ciência e tecnologia
	Vol. VI - Universo e evolução
Diálogo	Vol. I - O universo da ciência e a ciência do Universo
	Vol. II - Vida na Terra: como é possível?
	Vol. III - Terra: um sistema dinâmico de matéria e energia
	Vol. IV - Energia e sociedade: uma reflexão necessária
	Vol. V - Ser humano: origem e funcionamento
	Vol. VI - Ser humano e meio ambiente: relações e consequências
Matéria, Energia e Vida	Vol. I - Desafios Contemporâneos das Juventudes
	Vol. II - Evolução, Diversidade e Sustentabilidade
	Vol. III - Materiais e Energia, Conservação e Transformação
	Vol. IV - Materiais, Luz e Som, Modelos e Propriedades
	Vol. V - O mundo atual, Questões Sociocientíficas
	Vol. VI – Origens, o Universo, a Terra e a Vida
Multiversos	Vol. I - Movimentos e Equilíbrios na Natureza
	Vol. II - Matéria, Energia e Vida
	Vol. III - Eletricidade e Sociedade na Vida
	Vol. IV - Origens
	Vol. V - Ciências Sociedade e Ambiente
	Vol. VI - Ciência Tecnologia e Cidadania
Ser Protagonista	Vol. I - Ambiente e Ser Humano
	Vol. II - Composição e Estrutura dos Corpos
	Vol. III - Energia e Transformações
	Vol. IV - Evolução, Tempo e Espaço
	Vol. V - Matéria e Transformações
	Vol. VI - Vida, Saúde e Genética

Fonte: Aguilar, J. B., Nahas, T., Aoki, & V. L. M. (2020); Amabis, J. M., et al. (2020); Godoy, L. P. (2020); Lopes, S. (2020); Mortimer, E., et al. (2020); Rios, E. P., et al. (2020); Santos, K. C. (2020).

No momento de constituição do corpus de análise as unidades de análise foram definidas para posterior realização da AT. As unidades de análise tratam dos parágrafos e frases nos quais uma reação redox é abordada, mesmo que ainda não seja definida como sendo de oxirredução. Tais unidades foram organizadas em tabelas nas quais atribuiu-se códigos que caracterizam qual reação estava sendo abordada e a qual livro referia-se. Um exemplo de código pode ser

observado em: “É possível realizar, em laboratório, a reação química de decomposição da água. Essa reação é chamada eletrólise e é feita com a passagem de corrente elétrica através da água.” (TL20, 9º ano, p. 158). Nessa citação TL20 refere-se ao código da coleção e ao ano do PNLD, 9º ano refere-se ao livro desta coleção destinado ao 9º ano do ensino fundamental II, e por fim, a página onde foi retirado o trecho.

Após a organização das unidades de análise seguiu-se com a Análise Temática identificando quais os temas eram comuns nos livros para compreender como o conteúdo de oxirredução estava sendo apresentado ao longo do ensino fundamental e aprofundado no ensino médio. Na AT realizada os temas identificados tratam das diferentes reações redox abordadas nos livros didáticos, que são exemplificados nas seções a seguir.

Dificuldades de Aprendizagem sobre Oxirredução

Apesar da variedade de reações redox presentes no cotidiano e das diferentes abordagens utilizadas no ensino dos conceitos (Klein & Braibante, 2017), as pesquisas da área de ensino de química têm relatado várias adversidades no ensino de oxirredução que podem acarretar diversas dificuldades de aprendizagem. Por conta desse cenário, optou-se por realizar um mapeamento da literatura sobre as principais dificuldades de aprendizagem acerca do conteúdo de oxirredução, no intuito de auxiliar o estudo dos livros e contribuir para o ensino desses conceitos.

Durante a realização do mapeamento encontraram-se pesquisas cujo foco era relatar as dificuldades que os estudantes apresentaram na aprendizagem dos conceitos. Um exemplo, a afirmação “confusão entre os conceitos de agente redutor sofrendo redução e agente oxidante sofrendo oxidação”. Uma dificuldade de aprendizagem se refere à adversidade que o aluno pode ter no entendimento de um determinado conteúdo, podendo apresentar-se na forma de dificuldade conceitual, não compreensão de um conceito ou não relação com outros conceitos apreendidos. As dificuldades de aprendizagem também se referem às ideias que os alunos possuem sobre um determinado fenômeno que não estão de acordo com os conceitos relatados cientificamente e podem ser intuitivas ou promovidas durante o próprio processo de aprendizado. As dificuldades de aprendizagem estão sistematizadas e listadas no quadro 3.

Quadro 3. Principais dificuldades dos alunos referentes aos conceitos de oxirredução e eletroquímica

OXIRREDUÇÃO
Se numa equação química não estiverem visíveis os elétrons e/ou íons não é uma reação redox.
Confusão entre os conceitos de agente redutor sofrendo redução e agente oxidante sofrendo oxidação.
A carga de uma espécie poliatômica indica o estado de oxidação da molécula ou íon.
Reação redox entendida como transferência de oxigênio.
Os processos de oxidação e redução podem ocorrer de forma independente.
O estado de oxidação de um elemento é o mesmo que a carga do íon monoatômico desse elemento, quando deveria ser zero.
Números ou estados de oxidação podem ser atribuídos a moléculas poliatômicas e/ou íons poliatômicos.
Em uma equação, as mudanças nas cargas de espécies poliatômicas podem ser usadas para determinar o número de elétrons removidos ou ganhos na reação.
Reações redox ocorrem apenas em células eletroquímicas.
Visualização de uma reação ácido-base como redox, e vice e versa.
As reações de oxirredução incluem a oxidação de um reagente seguido da redução de um produto.

O número de oxidação é um número fixo, não varia.
O número de oxidação é o número de substâncias oxidadas ou quantas vezes uma substância pode ser oxidada.
Os íons em solução formam pares/moléculas de íons neutros.
A água impulsiona uma reação de oxirredução.
PILHAS E BATERIAS
Em uma célula os ânions e cátions se atraem mutuamente e isso afeta o movimento dos íons para os eletrodos.
Os elétrons se movem através da solução sem o auxílio de íons.
Os elétrons se movem através de eletrólitos sendo atraídos por íons positivos em solução.
Os elétrons entram no eletrólito no cátodo, movem-se através do eletrólito e emergem no ânodo.
A ponte salina fornece elétrons para completar o circuito.
Em condutores metálicos há fluxo de prótons.
Prótons e elétrons fluem em direções opostas em um eletrólito.
Os elétrons saem do ânodo, onde há uma alta concentração de elétrons, e passam pelo circuito externo até o cátodo, onde há uma baixa concentração de elétrons.
Na tabela de potencial-padrão de redução, as espécies com o maior valor de E° são sempre o ânodo.
Tabelas de potencial-padrão de redução colocam os metais em ordem decrescente de reatividade de cima para baixo.
O ânodo está carregado negativamente e por isso atrai cátions. O cátodo é carregado positivamente e por isso atrai ânions.
Quando um eletrólito conduz uma corrente, os elétrons se movem para um íon no cátodo e são transportados por esse íon para o ânodo.
Identificar o ânodo e o cátodo depende do posicionamento físico das meia-células.
A corrente elétrica se estabelece sem um circuito fechado.
Corrente elétrica existe somente quando há movimentação de cargas entre dois pontos num campo elétrico.
O movimento de íons em solução não constitui uma corrente elétrica, pois consideram a condução no eletrólito como movimento de elétrons.
Uma corrente elétrica é constituída com prótons e elétrons fluindo em direções opostas.
Uma bateria é composta de muitos pequenos fios ou bobinas.
Além do ar, o espaço oco da bateria é preenchido com eletricidade invisível.
As polaridades de uma bateria podem ser reconhecidas de acordo com sua forma; a extremidade convexa é positiva e a extremidade côncava ou plana é negativa.
Uma haste no meio da bateria é o lugar onde a eletricidade é armazenada.
Existem dois íons diferentes em uma bateria e os íons colidem uns com os outros resultantes na geração de eletricidade.
As polaridades "+" e "-" de uma bateria recarregável podem permitir a entrada de eletricidade, mas a eletricidade não pode ser obtida na bateria não recarregável.
A recarga significa reabastecimento de eletricidade em uma bateria vazia.
Se um circuito composto por uma lâmpada e duas baterias está conectado em série ou em paralelo não faz diferença na intensidade incandescente da lâmpada.
As pilhas alcalinas são as mais potentes do mercado.
ELETRÓLISE
Durante a eletrólise, a corrente eléctrica produz íons, ou seja, eles são vistos como intermediários ou como produtos finais da eletrólise.
Íons transportam elétrons através da solução.

As células eletrolíticas podem forçar a ocorrência de reações não espontâneas mesmo aquelas que não envolvem a transferência de elétrons.
Na superfície dos eletrodos inertes não ocorre nenhuma reação.
Elétrons livres são atraídos para o polo positivo e repelidos pelo polo negativo.
Elétrons são transferidos de um íon para outro.
O cátodo e o ânodo são identificados olhando para a direção em que os íons migram.
Para a reação ocorrer é necessário apenas uma fonte externa de energia e um fio ligado à solução.
Células eletrolíticas são as que possuem energia elétrica.

Fontes: Organizado pelas autoras baseando-se em: Acar & Tarhan (2007); Allsop & George, (1982); Barke et al., (2009); Barreto et al., (2017); Bueso et al., (1988); Caamaño (2007); Caramel & Pacca (2011); Ferreira, Gonçalves & Salgado (2021), Freire et al. (2011); Garnett & Treagust, (1992a); Garnett & Treagust (1992b); Goes et al., (2020a); Horton (2004); Klein & Braibante (2015); Lee (2007); Lin et al., (2002); Ogude & Bradley (1996); Özkaya (2002); Ribeiro (2013); Rosenthal & Sanger (2012); Sanger & Greenbowe (1997); Schmidt, (1997); Schmidt et al., (2007); Schmidt & Volke (2003); Sisler & VanderWerf, (1980); Sumfleth & Todtenhaupt (1988); Supasorn (2015); Velleca et al., (2005); Venturi et al. (2021).

Analisando atentamente as dificuldades relatadas podem-se estabelecer algumas relações entre elas. Por exemplo, o termo oxidação e, portanto, oxirredução, se inicia com 'oxi', nesse caso é compreensível a associação com a presença do oxigênio. Consequentemente, a ideia de que é necessário oxigênio para que uma reação redox ocorra é uma das mais citadas na literatura.

Outro exemplo é o aluno que compreende uma reação de oxidação como, necessariamente, ganho de oxigênio e não relaciona a simultaneidade das reações justamente por estar visualizando a necessidade de movimentação do oxigênio, ou seja, o oxigênio teria que "sair" de uma espécie para a outra para que uma reação aconteça. A simultaneidade das reações surge apenas quando introduzimos corretamente o conceito de transferência eletrônica.

Mais um exemplo é o termo "transferência de elétrons" que pode ser associado com "transporte de elétrons", confundindo com o conceito de corrente elétrica abordado na disciplina de Física. Inclusive, a compartimentalização e não relação das disciplinas de Química e Física tem sido apontada pela literatura como uma das causas para as dificuldades de aprendizagem desses conceitos (Garnett et al., 1995).

A forma pela qual as equações de semirreação estão escritas também pode ser um exemplo da relação estabelecida na dificuldade de aprendizagem, pois, essas equações sugerem que a transferência de elétrons é o mesmo que o carregamento de elétrons de um "lugar" para outro, como se uma entidade estivesse carregando uma bagagem. Nesse caso, a diferença entre a linguagem científica e a cotidiana pode ocasionar generalizações além do pretendido. Schmidt e Volke (2003) acrescentam que a causa das dificuldades no entendimento dos conceitos pode ser resultado, também, das variadas definições que um mesmo termo pode ter.

A sistematização das dificuldades dos alunos listadas no quadro 3 serviu como base para a análise das relações entre a apresentação do conteúdo de oxirredução nos livros didáticos e as principais dificuldades dos alunos. Entretanto, devido aos limites deste trabalho, não é possível abordar todas as dificuldades relatadas, dessa forma optou-se por buscar relações entre as dificuldades citadas em quatro ou mais publicações e que contemplem mais de um aspecto do conteúdo de oxirredução. Dentre as dificuldades selecionadas pode-se citar: reação redox entendida como transferência de oxigênio; os processos de oxidação e redução podem ocorrer de forma independente; a ponte salina fornece elétrons para completar o circuito; e íons transportam elétrons através da solução.

Partindo-se dessas dificuldades de aprendizagem buscou-se como os livros didáticos abordam o conteúdo de reações redox e quais relações podem ser estabelecidas com essas ideias. A análise da abordagem do conteúdo redox nos livros será relatada na sequência e as relações estabelecidas com as dificuldades de aprendizagem podem ser observadas nas conclusões do estudo.

A apresentação do Conteúdo Redox nos Livros de Ciências e Química

Neste trabalho, entende-se que a abordagem de um determinado conteúdo em livros didáticos pode ser feita de forma que se garanta a progressão do conhecimento, ou seja, partindo do mais básico para aqueles que demandam mais conhecimentos prévios (Mori & Curvelo, 2014). O conteúdo de oxirredução é um exemplo dessa progressão à medida que a abordagem do conteúdo requer conhecimentos prévios sobre outros conceitos como os de estrutura atômica, ligação química, termoquímica, entre outros. Além disso, em geral, o conteúdo começa a ser abordado no ensino fundamental, fornecendo a base para o aprofundamento no ensino médio.

A abordagem do conteúdo de reações redox, entretanto, apesar de iniciar nas séries anteriores ao ensino médio, é realizada por meio de reações que não são descritas como sendo de oxirredução. É o caso das reações de fotossíntese e respiração celular que são abundantemente abordadas no ensino fundamental, mas sem a identificação da transferência de elétrons e mudança no número de oxidação das substâncias, pela complexidade das mesmas. Os conceitos referentes à definição de oxirredução são apresentados, em geral, no segundo ano do ensino médio.

Essa distribuição também foi encontrada nos livros didáticos investigados onde temas pertinentes às reações redox são abordados ao longo do ensino fundamental. Porém, percebeu-se que os mesmos temas muitas vezes não são retomados no ensino médio utilizando a abordagem redox.

A Análise Temática realizada consistiu em percorrer as páginas dos livros identificando temas, ou exemplos de reações, que pudessem ser atreladas ao conteúdo de reações redox. No quadro 4 representa-se quais foram os temas encontrados, em quais livros (representados pelas cores discriminadas no quadro 1) e como são distribuídos ao longo das séries. O quadro 4 representa de outra forma o Mapa Temático a ser produzido na Análise Temática.

Quadro 4. A distribuição dos temas Redox ao longo dos livros didáticos do ensino básico

	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	1V	2V	3V	4V	5V	6V
Air Bag															
Bafômetro															
Combustão															
Decomposição															
Eletrólise															
Escurecimento da maçã															
Extração de Metais															
Fermentação															
Ferrugem															
Fotossíntese															
Oxirredução															
Pilhas e Baterias															
Proteção Solar															
Radicais Livres Antioxidantes															
Respiração Celular															

Fonte: Produzido pelas autoras.

Pela leitura do quadro 4 pode-se observar quais os temas redox são mais encontrados ao longo dos livros didáticos. É interessante notar que os conceitos de oxirredução começam a ser definidos nos livros referentes ao nono ano do ensino fundamental, inclusive abordando os mecanismos de reação e os agentes participantes dessas reações. Esse tema aparece na coleção TL16 também envolvendo outros temas: “Tanto a respiração celular como a combustão são reações químicas que envolvem oxidações. Mas, em Química, o termo oxidação tem um sentido mais geral do que simplesmente reagir com o oxigênio. [...]” (TL16, 9º ano, p. 110). Esse é, também, um tema que aparece na coleção AR16 na discussão dos tipos de reações químicas existentes como as de precipitação, oxirredução, exotérmica e endotérmica. Nessa abordagem os termos que envolvem as reações de oxirredução são apresentados aos alunos da seguinte forma:

Quando uma espécie química sofre oxidação, significa que ela transferiu elétrons para outra. A espécie que recebeu elétrons passou por uma reação de redução. Quando uma espécie é oxidada, a outra necessariamente é reduzida; por isso, essas reações recebem o nome de oxirredução. As reações de oxirredução são muito comuns, em função da abundância de gás oxigênio na atmosfera e da facilidade com que ele reage com outros materiais, formando óxidos. (AR16, 9º ano, p. 91)

Além disso, os outros temas que aparecem no nono ano do ensino fundamental também são associados às reações redox, citando-as como exemplos de reações de oxirredução que acontecem no dia a dia. Um exemplo pode ser observado em:

Alguns materiais estão sujeitos a um tipo de reação em que há troca de elétrons entre os átomos dos reagentes para que ocorra a formação de um novo produto. Um prego de ferro, por exemplo, enferruja porque o metal reage com o gás oxigênio presente na atmosfera e produz outras substâncias que compõem a ferrugem, o que pode ser observado pela corrosão do metal e pela mudança de cor. Esse tipo de reação, chamada de oxirredução, pode acontecer não somente na presença de gás oxigênio, mas também entre diferentes materiais constituídos de átomos capazes de doar ou receber elétrons. Quando uma reação de oxidação produz energia nas formas de luz e calor, dizemos que ocorreu uma combustão. Esse tipo de reação depende, em sua maioria, da presença de gás oxigênio, mas pode também acontecer com outras substâncias que tenham grande capacidade de receber elétrons. (AR20, 9º ano, p. 68)

Por outro lado, outras reações redox que aparecem nos livros do ensino fundamental não são associadas às reações de oxirredução. Por exemplo, o acionamento do airbag, a decomposição, o escurecimento da maçã, a fermentação, a extração de metais, a proteção solar, a fotossíntese e a respiração celular são temas que não são definidos segundo a oxirredução nesse nível de ensino.

É perceptível que os temas mais associados às reações redox são aqueles que envolvem os metais, por exemplo a formação de ferrugem, as pilhas e baterias e a eletrólise. Dessa forma, optou-se por abordar esses temas de forma mais aprofundada buscando descrever como a apresentação dos conceitos é feita ao longo dos livros de ensino fundamental:

a) Ferrugem - Na coleção IC16 do EF, esse tema é abordado ao trazer a importância do gás oxigênio e as reações em que ele participa, é colocado que “A ferrugem, por exemplo, é o resultado da reação entre o gás oxigênio presente no ar e o ferro” (IC16, 6º ano, p. 283). No livro do sétimo ano da coleção TL16 a formação de ferrugem é citada como exemplo de transformação química. No livro do oitavo ano da mesma coleção o tema aparece primeiramente como exemplo no conteúdo de estequiometria, onde os alunos são desafiados a ajustar a equação de formação da ferrugem. Já na coleção AR16 e AR20, esse tema é destacado durante a abordagem dos tipos de reações redox sendo a ferrugem um exemplo desse tipo de reação presente no dia a dia.

b) Pilhas e Baterias - Esse tema começa a aparecer no livro referente ao quarto ano do ensino fundamental, na coleção PB15, como exemplo de dispositivos geradores de energia. No nono ano ele é retomado e abordado do ponto de vista físico nas três coleções do PNL2016, como um exemplo de um tipo de energia que é utilizado nos dias atuais, e de forma experimental na coleção AR16 com um experimento intitulado “Batatas geram energia elétrica?”. Já na coleção TL16 e TL20, a abordagem desse tema refere-se ao funcionamento, os tipos e como é feito o descarte das Pilhas e Baterias. O texto inicia abordando a transferência de elétrons: “O princípio de funcionamento de toda bateria ou pilha é uma transferência entre duas substâncias químicas.” (TL, 4º ano, p. 251)

c) Eletrólise - No nono ano do ensino fundamental a Eletrólise é um tema presente na coleção TL16 e TL20, na introdução aos tipos de reações químicas. O livro inicia a abordagem dos tipos de reações trazendo dois exemplos diferentes, o primeiro trata da eletrólise, cujo trecho é:

Uma reação feita em laboratório que consiste em fazer a decomposição da água utilizando um aparelho que permite a passagem da corrente elétrica (figura 7.7). Esse processo é chamado de eletrólise e, para que ele ocorra, é necessário adicionar à água um pouco de ácido. Veja a equação que representa esse processo: $2\text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow 2\text{H}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g})$ (TL, 4º ano, p.102)

Outro aspecto importante que pode ser observado no quadro 4 é a distribuição dos temas Fotossíntese e Respiração Celular ao longo dos livros da educação básica. É perceptível que no ensino fundamental esse tema é extensivamente abordado, iniciando com esquemas e imagens mais simples, apresentando reações simplificadas e esquemas mais complexos posteriormente.

É perceptível que os livros didáticos de ensino fundamental abordam as reações redox como exemplos de reações químicas, o que é esperado já que no ensino fundamental não se tem a expectativa de que haverá uma abordagem em nível molecular dessas reações. Por outro lado, espera-se que essas reações sejam retomadas em nível médio após o estudante ter tido contato com conceitos como átomo, ligação química, que são necessários para a abordagem das reações de oxirredução.

Entretanto, observa-se uma diferença entre os editais do PNLD referentes ao ensino médio. Para o PNLD 2018, antes da BNCC, esses temas não eram abordados nos livros de Química utilizando modelos redox para explicar tais reações. Com a proposta de junção das disciplinas de Biologia, Química e Física na área de Ciências da Natureza, a partir do edital do PNLD 2021 esses temas aparecem em todas as coleções, na maioria delas fazendo-se uma associação entre as reações de oxirredução e as reações biológicas. Abordaremos as coleções referentes ao ensino médio no tópico seguinte, estabelecendo uma comparação simples entre as coleções do PNLD 2018 e 2021.

A Oxirredução nos Livros do Ensino Médio

Especificamente sobre o PNLD 2018 do ensino médio, de forma geral, nas coleções que apresentam o conteúdo no livro do primeiro ano do ensino médio, a abordagem é vinculada ao conteúdo de metais e serve como princípio para a construção da tabela de reatividade dos metais.

Já para a maior parte das coleções que abordam as reações redox no segundo ano do ensino médio, discute-se e explica-se tais reações para aplicá-las no conteúdo de pilhas e baterias e posteriormente nos processos eletrolíticos. São introduzidos novos cálculos concomitantes à abordagem das células galvânicas e eletrolíticas e do ponto de vista da energia produzida por esses dispositivos.

Além disso, com exceção da coleção QC18, no terceiro ano do ensino médio a ênfase está nas reações orgânicas. As reações redox orgânicas são vistas apresentando-se a distribuição dos elétrons, os elementos oxidados e reduzidos na reação e os produtos obtidos. A contextualização, nesse caso, é pouca e feita com imagens ou em quadros separados do conteúdo principal.

Comparando-se a abordagem escolhida entre os autores das coleções de Química aprovadas pelo PNLD 2018 aponta-se a escolha da inclusão do conteúdo nos últimos capítulos de todas as coleções, esse fator pode contribuir para que o conteúdo não seja ministrado por falta de tempo. Coadunando com esse fator, Sanjuan e colaboradores (2009) apontam que muitos professores têm dificuldades em trabalhar esse assunto e por isso deixam o conteúdo para os últimos meses, pois, ao final do ano letivo muitas vezes não há tempo para ministrá-lo.

Além disso, pode-se comparar a presença da discussão sobre as reações orgânicas redox nas coleções do ensino médio do PNLD 2018. Tais reações são abordadas nas coleções VV18, SP18 e MR18, porém nas coleções QC18, CP18 e MM18 são pouquíssimas destacadas e sem uma discussão aprofundada sobre o que as torna reações de oxirredução.

Por outro lado, outro tipo de reação de oxirredução não vinha sendo discutida nos livros de ensino médio do PNLD 2018: as reações de oxirredução biológicas. Apenas a coleção MM18 discute reações que envolvem a vitamina C reagindo no organismo. As outras coleções comentam de forma bastante acanhada o processo redox envolvido nas transformações de manutenção da vida como a fotossíntese, a combustão, a produção de energia nos organismos vivos, entre outras.

Já para as coleções de Ciências da Natureza do PNLD 2021 há uma diferença entre a forma como o conteúdo de oxirredução distribui-se. As coleções DLG21, MTV21, MEV21, SPT21 e MDP21 apresentam o conteúdo em um volume, enquanto as coleções CNX21 apresentam em dois volumes e a LRO21 em quatro volumes.

A coleção DLG21 apresenta o conteúdo no volume “Energia e sociedade: uma reflexão necessária”, na unidade que aborda a energia elétrica. A principal abordagem é referente à eletroquímica trazendo primeiro as pilhas e baterias, onde os conceitos de oxirredução são utilizados apenas para abordar o funcionamento das pilhas. Na sequência são descritos exemplos de pilhas e baterias. A eletrólise é abordada no capítulo seguinte e a sequência da unidade trata da energia elétrica e o meio ambiente, principalmente a matriz elétrica brasileira.

A coleção MTV21 aborda o conteúdo de oxirredução no volume “Eletricidade e Sociedade na vida”, na qual há uma unidade que traz a eletroquímica e sua relação com a bioeletricidade. O conteúdo é dividido em temas, sendo o primeiro tema relacionado à corrosão e formação de ferrugem; o segundo tema traz as pilhas e baterias, e o terceiro tema apresenta os fenômenos eletrolíticos. Já o quarto tema aborda a eletricidade no corpo humano, um tema que até então não era abordado nas coleções do PNLD2018, o que pode estar associado à junção das disciplinas de Biologia e Química em livros de uma mesma área.

A coleção MEV21 aborda o conteúdo no volume denominado “Materiais e energia, conservação e transformação”, e especificamente na unidade 3 intitulada Energia. Os conceitos redox são apresentados no capítulo 8 e se referem ao armazenamento de energia, de forma bastante similar à coleção MM18 dos mesmos autores.

A coleção SPT21 apresenta os conceitos de oxirredução no volume “Matéria e Transformações”, e na unidade 2: Reações de oxirredução e metabolismo celular. Inicialmente apresenta-se os conceitos básicos de oxirredução e a reação de formação de ferrugem. Porém, diferentemente da coleção que leva o mesmo nome no PNLD 2018, a coleção SPT21 não discute as pilhas baterias e a eletrólise, optando por abordar as reações do metabolismo celular, sobretudo a respiração celular e a fotossíntese e o metabolismo energético.

A coleção MDP21 destaca o conteúdo no volume “Ciência e tecnologia”, distribuindo-o em vários capítulos. O primeiro capítulo aborda os conceitos referentes às pilhas e baterias, logo após o capítulo que trata dos circuitos elétricos. No capítulo seguinte são discutidos os agentes oxidantes e redutores, principalmente relacionando-os à corrosão de metais. O capítulo seguinte é denominado “eletromagnetismo” com conceitos tradicionalmente abordados na disciplina de Física. Na sequência aborda-se a eletrólise e suas principais aplicações.

A coleção CNX21, aborda o conteúdo de oxirredução em dois volumes. O volume “Energia e Ambiente” discute as pilhas e baterias no capítulo dois, denominado “Geradores de energia portáteis”, logo após o capítulo que discute a origem da eletricidade. Nesse capítulo são discutidas as reações das pilhas, baterias, a corrosão e a eletrólise, sendo que os conceitos básicos de oxirredução são abordados em um quadro separado da abordagem principal. Já no volume “Matéria e Energia” há um tópico dentro do capítulo que apresenta as reações com transferência de elétrons, onde todos os conceitos básicos ao conteúdo de oxirredução são discutidos em uma página.

Já a coleção LRO21 distribui o conteúdo de oxirredução em quatro volumes. O volume em que os princípios básicos redox são abordados é denominado “Energia e Consumo sustentável”, no qual

há o capítulo 5 de oxirredução dentro da unidade “Energia e vida”. Nesse capítulo as reações redox são definidas para abordar a reatividade e espontaneidade das reações. O capítulo seguinte aborda o metabolismo energético, trazendo os temas fotossíntese, fermentação e respiração celular.

A corrosão e a formação de ferrugem são os temas que aparecem no volume denominado “Mundo Tecnológico e Ciências Aplicadas” da coleção LRO21. No capítulo referente à corrosão há uma indicação de que os princípios básicos de oxirredução são abordados na unidade “Energia e vida”. Já o volume intitulado “Evolução e Universo” discute os processos metalúrgicos extrativos, no qual os conceitos da eletrólise são abordados para discutir sua aplicabilidade. Há ainda o volume “Corpo Humano e Vida Saudável” onde são discutidas as reações orgânicas de oxirredução, principalmente relacionadas ao metabolismo do etanol.

A análise das coleções referentes ao ensino médio dos PNLD 2018 e 2021 demonstrou a variedade na abordagem dos temas entre as edições do PNLD. O primeiro exemplo que pode ser citado é com relação ao tema Pilhas e Baterias que, apesar de estar presente na maioria das coleções, não está presente na coleção Ser Protagonista. Esse fato chama atenção pois percebe-se uma mudança da coleção Ser Protagonista no PNLD 2018 e 2021, onde o tema é retirado da coleção mais recente.

Além disso, há uma diferença das coleções do PNLD 2018 e 2021 com relação às reações redox orgânicas. No PNLD 2018 as reações redox orgânicas eram abordadas de forma acanhada e com pouca contextualização no livro referente ao terceiro ano. No PNLD 2021, no entanto, tais reações são abordadas em apenas uma coleção, a coleção LRO21. Isso demonstra que as reações redox orgânicas foram retiradas das coleções do PNLD 2021, com ressalva para uma coleção.

Por outro lado, foi possível notar que as reações redox biológicas são abordadas na maioria das coleções do PNLD21. Isso já era esperado, uma vez que agora há uma junção da disciplina de Biologia nas coleções da área de Ciências da Natureza, conforme descreve o edital do PNLD. Entretanto, apenas em duas delas tais reações são atreladas diretamente ao conteúdo de oxirredução na abordagem do metabolismo energético, sendo que nas outras os conceitos redox não são utilizados na explicação dessas reações.

Por fim, percebeu-se também uma mudança na estrutura do conteúdo redox nas obras do PNLD 2021 comparando-se com as coleções de 2018. Na maior parte das coleções do PNLD 2018 a apresentação do conteúdo seguia a mesma estrutura, iniciando pelos conceitos básicos de oxirredução, tratando da abordagem das pilhas e baterias e concluindo com os processos de eletrólise. Essa distribuição, no entanto, só pode ser observada na coleção MDP21. Nas coleções DLG21, MEV21, CNX21 a abordagem de reações redox está dentro da unidade que aborda a energia elétrica, portanto sendo discutida como um tipo de geração de energia, no caso envolvendo a conversão da energia química em elétrica. Nas coleções SPT21 e LRO21 a abordagem das reações redox é iniciada para explicar as reações envolvendo o metabolismo energético, principalmente a geração de energia na fotossíntese e respiração celular. Já na coleção MTV21 a abordagem dos conceitos básicos de oxirredução se dá para explicar os processos de corrosão e formação de ferrugem dos materiais. Isso demonstra a variedade de abordagens que as reações de oxirredução podem ter no ensino médio e como cada autor e editora de livros didáticos estão interpretando os novos editais do PNLD.

O estudo realizado dos temas presentes nas coleções do ensino fundamental e médio do PNLD mostrou como o conteúdo de oxirredução é abordado ao longo da educação básica. Além disso, a análise demonstra como as coleções de Química e Ciências da Natureza do PNLD 2018 e 2021 apresentam os conceitos básicos redox e suas relações com outras disciplinas, notadamente a Biologia. O estudo e mapeamento das principais dificuldades de aprendizagem relacionadas ao conteúdo também permitiu entender quais as principais dificuldades que professores e estudantes podem enfrentar na discussão do conteúdo. Neste trabalho, porém, busca-se

estabelecer relações possíveis entre a apresentação do conteúdo nos livros didáticos e as dificuldades mapeadas na literatura, para auxiliar professores quanto ao uso das coleções e discussão do conteúdo. Essas relações são apresentadas no tópico seguinte.

As Possíveis Influências da Abordagem nos Livros nas Dificuldades dos Estudantes e as Conclusões do Estudo

A forma como as coleções do ensino médio apresenta e discute o conteúdo de reações redox pode influenciar de diferentes formas o processo de ensino e, conseqüentemente, a aprendizagem dos estudantes. As dificuldades relatadas na literatura, como a transferência de elétrons como uma transferência real e observável entre espécies e a diferença entre as linguagens científica e cotidiano; também estão presentes nos livros didáticos e na abordagem do conteúdo ao longo de toda a educação básica.

Uma das dificuldades apresentadas, a associação do prefixo “oxi” com a necessidade da presença de oxigênio, é um exemplo dessas possíveis influências. Ao identificar os temas pertinentes às reações redox nos livros de ciências do ensino fundamental percebe-se que, com exceção das pilhas e baterias, todos eles têm a presença do elemento oxigênio. Além disso, as reações abordadas em nível fundamental destacam a presença do oxigênio para reações fundamentais de manutenção da vida. Esses fatores podem influenciar a concepção de que o oxigênio é necessário para que uma reação de oxirredução ocorra. Por outro lado, nos livros de Química do ensino médio essa ideia é observada apenas na abordagem histórica desse conteúdo, destacando que nas primeiras definições redox a presença do oxigênio era necessária, mas que esse termo se ampliou, uma vez que são encontradas várias reações redox onde o oxigênio não está reagindo.

Outro fator observado é que ao se referir às reações de oxirredução, a reação de redução é menos apresentada em relação à reação de oxidação, ou seja, em vários momentos nos livros exemplifica-se uma reação de oxidação isolada. Portanto, ao trazer uma reação de oxidação sem associar a ela uma reação de redução, ou sem enfatizar a simultaneidade dos processos, pode contribuir para a dificuldade de visualizar os processos de forma simultânea, uma vez que uma reação de oxidação pode aparecer “sozinha” sem outra substância para receber os elétrons da reação. Por outro lado, alguns livros (SP18, MM18, VV18, MEV21) apresentam em quadros separados a questão da simultaneidade das reações de oxidação e redução, em uma tentativa de trabalhar com essa dificuldade de aprendizagem:

Oxidação e redução: processos concomitantes

É comum que a formação de ferrugem em uma peça de ferro seja chamada de oxidação do metal. Se você prestar atenção, frequentemente identificará materiais oxidados nos objetos à sua volta. Se houve oxidação, entretanto, necessariamente ocorreu também uma redução. Nesse caso, enfatiza-se o material que foi modificado e/ou deteriorado e não a ação do agente oxidante, que pode ser o gás oxigênio, a água ou uma solução ácida. (SP, 2º ano, p.187)

Já com relação às ideias: “os elétrons se movem através da solução sem o auxílio de íons” e “a ponte salina fornece elétrons para completar o circuito”, observa-se que se referem às pilhas, baterias e eletrólise, conteúdo discutido de forma mais aprofundada apenas no nível médio. Geralmente, apresenta-se no segundo ano do ensino médio a pilha de Daniell, principal dispositivo didático utilizado para explicar o funcionamento das pilhas. Dessa forma, é difícil que o estudante tenha conhecimentos prévios sobre o fluxo de elétrons e a função da ponte salina nas pilhas antes da abordagem no segundo ano do ensino médio, uma vez que não foi encontrado nos livros anteriores referências específicas à Pilha de Daniell.

Além disso, os modelos didáticos utilizados no ensino das pilhas e baterias muitas vezes estão dissociados dos eventos, dispositivos ou conceitos científicos que os inspiraram, como no caso da Pilha de Daniell (Costa & Porto, 2021). Nesse sentido, a perspectiva histórica pode colaborar para reaproximar conhecimento científico e conhecimento escolar, ampliando o interesse e o envolvimento dos estudantes nos diversos níveis de ensino.

É importante destacar também que o modelo de transferência eletrônica tem sido o mais utilizado para definir as reações redox nos livros didáticos (Österlund et al., 2010, Autor, ano). Entretanto, nas coleções analisadas neste trabalho, a definição presente nos livros não atende às recomendações da literatura e a transferência pode estar sendo entendida como um deslocamento real entre as substâncias participantes da reação. O estudante pode raciocinar que para que uma transferência realmente ocorra é preciso que alguma coisa deixe algum lugar e se desloque para outro. Nesse sentido, pode haver um entendimento de que os elétrons precisam primeiro deixar o átomo oxidado, se deslocar, e só então chegar ao átomo reduzido, portanto, o processo não é visto como simultâneo. Sisler e Wanderwerf (1980), Vitz (2002), Silverstein (2011), Sima (2013), Ghibaudi et al. (2015) e Autor (ano) destacam que a única definição consistente de reações redox, e que abarca todas as reações de oxirredução, é aquela em que se define em termos de mudança do número de oxidação, ou seja, uso do modelo de número de oxidação.

Conforme já explicitado, obteve-se como resultado que as coleções do PNLD 2018 deslocam o conteúdo para o último capítulo dos livros. Isso pode influenciar na abordagem do conteúdo pois, mesmo que um professor mapeie e se preocupe em confrontar as dificuldades de aprendizagem de seus alunos, alocar o conteúdo no final do semestre pode resultar na não retomada dessas concepções. Por outro lado, percebeu-se que no PNLD 2021 o conteúdo está distribuído de forma diferente entre as coleções e entre as coleções do PNLD 2018, o que demanda uma leitura atenta do professor e uso do livro conforme seu planejamento e dos objetivos da escola onde trabalha.

Refletindo sobre essas possíveis influências algumas pesquisas da área de ensino de Ciências discutem e recomendam reflexões aos professores de Química. Entre esses aspectos estão que os professores façam um esforço para apresentar os termos químicos e físicos como um único conceito, que justifiquem o uso das diferentes terminologias e modelos no ensino (Schmidt & Volke, 2003), conheçam o que o aluno sabe sobre o tema, além da utilização de uma linguagem com significados que não sejam divergentes do científico (De Jong & Treagust, 2002).

Outros aspectos relacionados à construção do conteúdo de oxirredução também são recomendados aos autores de livros didáticos. Por exemplo, seria importante evitar simplificações e declarações breves, porém, percebe-se muitas vezes as definições redox sendo destacadas em quadros coloridos com frases breves com intuito da memorização. Além disso, é importante evitar argumentos simplistas na previsão de fluxo de íons (Garnett et al., 1995); pois não é perceptível uma abordagem buscando esclarecer o movimento dos íons em solução (Autor, ano).

Por fim, reforça-se a necessidade de revisão do conteúdo do livro didático segundo a diversidade de pesquisas da área, a proposição de novas formas de uso do livro didático, a identificação de possíveis novas dificuldades de aprendizagem e a realização de ações para que os professores conheçam as dificuldades mais relatadas na literatura e que são persistentes ao longo do processo ensino-aprendizagem.

Referências

Acar, Burcin; & Tarhan, Leman. (2007). Effect of cooperative learning strategies on students' understanding of concepts in electrochemistry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 5, p.349-376. <https://doi.org/10.1007/s10763-006-9046-7>

Nery, Ana L. P., Liegel, Rodrigo M. & Aoki, Vera L. M. (2020). *Ser protagonista: ciências da natureza e suas tecnologias*. Obra em seis volumes: Ambiente e ser humano – Composição e Estrutura dos Corpos – Energia e Transformações – Evolução, Tempo e Espaço – Matéria e Transformações – Vida, Saúde e Genética. Editora SM, 1ª edição, São Paulo.

Allsop, R.T., & George, N. H. (1982). Redox in Nuffield advanced chemistry. *Education in Chemistry*, 19, p. 57-59

Amabis, José M.; Martho, Gilberto R.; Ferraro, Nicolau G.; Penteado, Paulo C. M.; Torres, Carlos M. A.; Soares, Júlio; Canto, Eduardo L. & Leite, Laura C. C. (2021) *Moderna plus: ciências da natureza e suas tecnologias*. Obra em seis volumes: O conhecimento científico -- Água e vida -- Matéria e energia -- Humanidade e ambiente -- Ciência e tecnologia -- Universo e evolução. Editora Moderna, 1ª edição, São Paulo.

Autor, ano. Dissertação de mestrado.

Barral, Francisco L.; Fernández, Eugenio G. R.; & Otero, Juan R. G. (1991). Secondary students' interpretation of the process occurring in an electrochemical cell. *Journal of Chemical Education*, 69(8), p. 655-7, 1992. <https://pubs.acs.org/sharingguidelines>

Barreto, Barbara S. J., Batista, Carlos H., & Cruz, Maria C. P. (2017). Células Eletroquímicas, Cotidiano e Concepções dos Educandos. *Química Nova na Escola*, 39(1), p. 52-58. DOI:10.21577/0104-8899.20160060

Braun, Virginia & Clarke, Victoria (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, v. 3, p. 77-101. DOI: 10.1191/1478088706qp063oa

Braun, Virginia & Clarke, Victoria (2021). *Thematic Analysis: A Practical Guide*. SAGE Publications Ltd; 1ª edição.

Bueso, Antoni; Furió, Carles; & Mans, Claudi (1988). Interpretación de las reacciones de oxidación- reducción por los estudiantes. Primeros resultados. *Enseñanza de las ciencias*, 6(3), p. 244-250. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/51101>.

Caamaño, Aureli (2007). La enseñanza y el aprendizaje de la química. In: JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (Coord.) et al. *Enseñar Ciencias*. Barcelona: GRAÓ, p. 95- 118. ISBN 84-7827-285-2

Canto, Eduardo L. (2018). *Ciências naturais: aprendendo com o cotidiano*. Moderna, 1ª edição, São Paulo.

Caramel, Neusa J. C.; & Pacca, Jesuína L. A. (2011). Concepções alternativas em eletroquímica e circulação da corrente elétrica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(1), p.7-26. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2011v28n1p7>

Carnevalle, Máira R. (2015). *Projeto Araribá: ciências*. Moderna, 2ª edição, São Paulo.

Carnevalle, Máira R. (2018). *Araribá mais: ciências*. Moderna, 1ª edição, São Paulo.

Ciscato, Carlos A. M.; Pereira, Luis F.; Chemello, Emiliano; & Proti, Patrícia B. (2016). *Coleção Química - Ciscato, Pereira, Chemello e Proti*, Química Ensino Médio I, II e III. Moderna, 1ª edição, São Paulo.

Costa, Mayra C. S.; Porto, Paulo A. (2021) A pilha de Daniell: um estudo de caso histórico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 38, n. 3, p. 1650-1673. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2021.e82360>

De Jong, Onno; & Tregust, David F. (2002) The teaching and learning of electrochemistry. In: GILBERT, J. K.; DE JONG, O.; JUSTI, R.; TREAGUST, D. F.; VAN DRIEL, J. H. (org.) *Chemical Education: Towards Research-Based Practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 317-38. https://doi.org/10.1007/0-306-47977-X_14

De Jong, Onno; Acampo, Jeannine; & Verdonk, Adri (1995). Problems in teaching the topic of redox reactions: actions and conceptions of chemistry teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(10), p. 1097-1110. <https://doi.org/10.1002/tea.3660321008>

Ferreira, Adryele da S.; Gonçalves, Alécia Maria; Salgado, Jeisa Tainara S. (2021) Dificuldades de aprendizagem do conteúdo de eletroquímica no ensino médio. *Scientia Naturalis*, v. 3, n. 4, p. 1707-1720.

Fonseca, Martha R. M. D. (2016) *Química: ensino médio/Martha Reis I, II e III*. Ática, 2ª edição, São Paulo.

Fontes, Anderson; Lourenço, Marcos F. P. & Messeder, Jorge C. (2012). A representação experimental da pilha de Daniell nos Livros didáticos: um erro questionado. In: *atas do XVI Encontro Nacional de Ensino de Química (XVI ENEQ) e X Encontro de Educação Química da Bahia (X EDUQUI)* Salvador.

Freire, Melquesedeque Da S.; Silva Júnior, Carlos N. Da; & Silva, Marcia G. L. da. (2011). Dificuldades de aprendizagem no ensino de eletroquímica segundo licenciandos de química. In: *Atas do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Campinas.

Garnett, Patrick J., Garnett, Pamela J., Hackling, Mark W. (1995). Students' Alternative Conceptions in Chemistry: A review of Research and Implications for Teaching and Learning. *Studies in Science Education*, v.25, p. 69-95. <https://doi.org/10.1080/03057269508560050>

Garnett, Pamela J.; & Treagust, David F. (1992a) Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: Electric circuits and oxidation-reduction equations. *Journal of Research in Science Teaching*, 12, p. 121-42. <https://doi.org/10.1002/tea.3660290204>

Garnett, Pamela J.; & Treagust, David F. (1992b). Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: Electrochemical (galvanic) and electrolytic cells. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(10), p. 1079-99. <https://doi.org/10.1002/tea.3660291006>

Gewandsznajder, Fernando (2016). *Projeto Teláris ciências, 6, 7º, 8º e 9º ano: ensino fundamental, anos finais*. Ática, 2ª edição, São Paulo.

Gewandsznajder, Fernando (2018). *Teláris ciências, 6, 7º, 8º e 9º ano: ensino fundamental, anos finais*. Ática, 3ª edição, São Paulo.

Ghibaudi, Elena, Regis, Alberto, & Roletto, Ezio (2015). Le reazioni redox: um pasticcio concettuale? *Perspectives in Science*, v. 5, p. 14-24. <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2015.05.001>

Godoy, Leandro (2020). *Multiversos: ciências da natureza*. Obra em seis volumes: Matéria, energia e a vida – Movimentos e Equilíbrios na Natureza – Eletricidade e Sociedade na Vida – Origens – Ciências, Sociedade e Ambiente – Ciência, Tecnologia e Cidadania. Editora FTD, 1ª edição, São Paulo.

Goes, Luciane F.; Nogueira, Keysy S. C.; & Fernandez, Carmen (2018). A representação das reações redox através das imagens em livros didáticos brasileiros de química. *Revista Acta Scientiae*, v. 20, p. 135-153. DOI: 10.17648/acta.scientiae.v20iss2id3738

Goes, Luciane F.; Nogueira, Keysy S. C.; & Fernandez, Carmen (2020a) Limitations of teaching and learning redox: a systematic review. *Problems of Education in the 21st century*, v. 78, p. 698-718. DOI: 10.33225/pec/20.78.698

Goes, Luciane F.; Chen, Xiaoge.; Nogueira, Keysy. S. C.; Fernandez, Carmen; Eilks, Ingo (2020b). An analysis of the Visual Representation of Redox Reactions and Related Content in Brazilian Secondary School Chemistry Textbooks. *Science Education International*, v. 31, p. 313-324.

Dificuldades de Aprendizagem de Oxirredução e a Abordagem do Conteúdo em Livros Didáticos da Educação Básica Brasileira

- Horton, Christopher (2004). Student preconceptions and misconceptions in Chemistry. *Assumption College, Worcester, USA*. Disponível em: http://www.casience.org/csta/res_teaching_science.asp
- Joaquim, Marina G. De G. (2017). *Imagens na comunicação do conhecimento em livros didáticos de química e física: uma análise à luz da semiótica Peirceana*. Dissertação (mestrado) Universidade de São Paulo, Faculdade de educação, Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, São Paulo. DOI: 10.11606/D.81.2017.tde-26052017-101455
- Joma, Lina Y.; Vasconcelos, Lucimara R. S. & Bakri, Maissa S. (2015). *Projeto Buriti: Ciências Humanas e da Natureza*. Editora Moderna, 2ª edição, São Paulo.
- Júlio, Silvana R. (2015). *Ligados.com: Ciências Humanas e da Natureza*. Editora Saraiva, 2ª edição, São Paulo.
- Klein, Sabrina G., & Braibante, Mara E. F. (2017). Reações de oxi-redução e suas diferentes abordagens. *Química Nova na Escola*, 39(1), p. 35-45, 2017. <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160058>
- Lee, Shyan-Jer (2007) Exploring students' understanding concerning batteries – Theories and practices. *International Journal of Science Education*, 29(4), p. 497-516. DOI:10.1080/09500690601073350
- Lin, Huann-Shyang; Yang, Thomas C.; Chiu, Houn-Lin L.; & Chou, Ching-Yang (2002). Students' Difficulties in Learning Electrochemistry. *Proceedings of the National Science Council*, 12(3), p. 100-105.
- Lisboa, Julio C. F. (coord) (2016) *Coleção Ser Protagonista*. Química 1º, 2º e 3º ano: ensino médio. Edições SM, 3ª edição, São Paulo.
- Lopes, Sonia (2015). *Investigar e Conhecer: Ciências da Natureza*. Editora Saraiva, 2ª edição, São Paulo.
- Lopes, Sonia & Rosso, Sérgio (2020). *Ciências da natureza: Lopes & Rosso*. Obra em seis volumes: Evolução e universo -- Energia e consumo sustentável -- Água, agricultura e uso da terra -- Poluição e movimento -- Corpo humano e vida saudável -- Mundo tecnológico e ciências aplicadas. Editora Moderna, 1ª edição, São Paulo.
- Megid Neto, Jorge; & Fracalanza, Hilário (2003) O livro didático de ciências: problemas e soluções. *Ciência & Educação*, 9(2), p. 147-157. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132003000200001>
- Mendes, Denise; Artacho, Margarete; Jakievicius, Mônica & Giansanti, Roberto (2015). *Porta Aberta: Ciências Humanas e da Natureza*. Editora FTD, 2ª edição, São Paulo.
- Mendonça, Rildo J.; Campos, Angela F.; & Jófili, Zélia M. S. (2004). O conceito de oxidação-redução nos livros didáticos de química orgânica do Ensino Médio. *Química Nova na Escola*, v. 20, p. 45-8.
- Moreira, Wagner A., Moreira, Claudia M. G., & Tretin, Paulo H. (2008). Cálculo da ddp: uma análise dos conceitos presentes nos livros didáticos. In: *atas do XIV Encontro Nacional de Ensino de Química (XIV ENEQ)* – UFPR.
- Mori, Rafael C.; & Curvelo, Antônio A. S. (2014). Química no Ensino de Ciências para as Séries Iniciais: Uma Análise de Livros Didáticos. *Ciência e Educação*, Bauru, 20(1), p. 243-258. DOI: 10.1590/1516-731320140010015
- Mortimer, Eduardo F., & Machado, Andréa H. (2016) *Coleção Química: Ensino Médio*. Química Ensino Médio I, II e III. Scipione, 3ª edição, São Paulo.

Mortimer, Eduardo; Horta, Andréa; Mateus, Alfredo; Munford, Danusa; Franco, Luiz; Matos, Santer; Panzera, Arjuna; Garcia, Esdras & Pimenta, Marcos (2020). *Matéria, energia e vida: uma abordagem interdisciplinar*. Obra em seis volumes: Desafios Contemporâneos da Juventude – Evolução, Diversidade e Sustentabilidade – Materiais e Energia, Conservação e Transformação – Materiais, Luz e Som, Modelos e Propriedades – O mundo atual, Questões Sociocientíficas – Origens, o Universo, a Terra e a Vida. Editora Scipione, 1ª edição, São Paulo.

Nigro, Rogério C. (2017). *Ápis ciências, 1º, 2º 3º e 4º ano: ensino fundamental*, anos iniciais. Àtica, 3ª edição, São Paulo.

Novais, Vera L. D., & Antunes, Murilo T. (2016) *Coleção Vivá*. Química: volume I, II e III: Ensino médio. Positivo, 1ª edição, Curitiba.

Núñez, Isauro B.; Ramalho, Betânia L.; Silva, Ilka K. P.; & Campos, Ana P. N. (2003). A seleção dos livros didáticos: um saber necessário ao professor. O caso do ensino de Ciências. *Revista Iberoamericana de Educación*, p. 1-12. DOI: <https://doi.org/10.35362/rie3312889>

Ogude, N. A., & Bradley, J. D. (1996). Electrode Processes and Aspects Relating to Cell EMF, Current, and Cell Components in Operating Electrochemical Cells. *Journal of Chemical Education*, v.73, n.12, p.1145-1149. DOI: 10.1021/ed071p29

Öskaya, Ali R. (2002) Conceptual difficulties experienced by prospective teachers in electrochemistry: Half-cell potential, cell potential, and chemical and electrochemical equilibrium in galvanic cells. *Journal of Chemical Education*, 79(6), p. 735-8. <https://doi.org/10.1021/ed079p735>

Österlund, Lise-Lotte; Berg, Anders; & Ekborg, Margareta (2010). Redox models in chemistry textbooks for the upper secondary school: friend or foe? *Chemical Education Research and Practice*, v. 11, p. 182-192. <https://doi.org/10.1039/C005467B>

Pitanga, Ângelo F., Santos, Heraldo B. Dos, Guedes, Josevânia T., Ferreira, Wendel M., & Santos, Lenalda D. dos. (2014). História da Ciência nos Livros Didáticos de Química: Eletroquímica como Objeto de Investigação. *Química Nova na Escola*, São Paulo, 36(1), p. 11-17. DOI:10.5935/0104-8899.20140002

Ribeiro, Victor M. M. (2013). *Mudança Conceptual relativa a reações de oxidação-redução: um estudo exploratório*. Dissertação de mestrado. Faculdade de engenharia, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa.

Thompson, Miguel; Rios, Eloci P.; Spinelli, Walter; Reis, Hugo; Sant'Anna, Blaidi; Novais, Vera L., & Antunes, Murilo T. (2020) *Conexões: ciências da natureza e suas tecnologias*. Obra em seis volumes: Matéria e energia -- Energia e ambiente -- Saúde e tecnologia -- Conservação e transformação-- Terra e equilíbrios -- Universo, materiais e evolução. Editora Moderna, 1ª edição, São Paulo.

Rocha, Robson (2017). *Aprender Juntos: Ciências: 1º, 2º, 3º, 4º e 5º ano*. Edições SM, 1ª edição, São Paulo.

Rosa, Liane S., & Mackedanz, Luiz F. (2021) A análise temática como metodologia na pesquisa qualitativa em educação em ciências. *Revista Atos de Pesquisa em Educação*, v.16, e8574. <http://dx.doi.org/10.7867/1809-0354202116e8574>.

Rosenthal, Deborah P., & Sanger, Michael J. (2012) Students misinterpretations and misconceptions based on their explanations of two computer animations of varying complexity depicting the same oxidation-reduction reaction. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 13, p. 471-483. DOI: <https://doi.org/10.1039/C2RP20048A>

Sanger, Michael J.; & Greenbowe, Thomas J. (1997a) Common student misconceptions in electrochemistry: Galvanic, electrolytic, and concentration cells. *Journal of Research in Science*

- Teaching*, 34(4), p. 377–98. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199704\)34:4<377: AID-TEA7>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199704)34:4<377: AID-TEA7>3.0.CO;2-O)
- Sanger, Michael J.; & Greenbowe, Thomas J. (1997b). Students' misconceptions in electrochemistry: Current flow in electrolyte solutions and the salt bridge. *Journal of Chemical Education*, 74(7), p. 819-23. <https://doi.org/10.1021/ed074p819>
- Sanger, Michael J.; & Greenbowe, Thomas J. (1999). An analysis of college Chemistry textbooks as sources of misconceptions and errors in electrochemistry. *Journal of Chemical Education*, 76(6), p. 853-60. <https://doi.org/10.1021/ed076p853>
- Sanjuan, Maria E. C.; Dos Santos, Cláudia V.; Maia, Juliana O.; Da Silva, Aparecida F. A.; & Wartha, Edson J. (2009). Maresia: Uma Proposta para o Ensino de Eletroquímica. *Química Nova na Escola*, 31(3), p.190-197.
- Santos, J. E., Sales, L. L. M., Da Silva, F. J. S. Uma análise dos livros didáticos de química usando a epistemologia de Bachelard a partir dos conceitos de oxidação e redução. In: *atas do 8º Simpósio Brasileiro de Educação Química (8º SIMPEQUIM)* – Natal, 2010.
- Santos, Kelly C. (2020). *Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias*. Obra em seis volumes: O universo da ciência e a ciência do Universo -- Vida na Terra: como é possível? -- Terra: um sistema dinâmico de matéria e energia -- Energia e sociedade: uma reflexão necessária -- Ser humano: origem e funcionamento -- Ser humano e meio ambiente: relações e consequências. Editora Moderna, 1ª edição, São Paulo.
- Santos, Vanessa W., & Aires, Joanez A. (2016). A abordagem CTS em livros didáticos de química: uma análise do conteúdo Pilhas. In: *Atas do XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química (XVIII ENEQ)*, Florianópolis.
- Santos, Wildson L. P. dos (coord.) (2016). *Coleção Química Cidadã*. Química cidadã: volume I, II e III. AJS, 3ª edição, São Paulo.
- Schmidt, Hans-Jurgen, & Volke, Dagmar (2003). Shift of meaning and students' alternative concepts. *International Journal of Science Education*, v. 25, p. 1409–1424. <https://doi.org/10.1080/0950069022000038240>
- Schmidt, Hans-Jurgen; Marohn, Annette; & Harrison, Allan G. (2007). Factors that prevent learning in electrochemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(2), p. 258-83. <https://doi.org/10.1002/tea.20118>
- Silverstein, Todd (2011). Oxidation and reduction: too many definitions? *Journal of Chemical Education*. 88(3), 279-281. <https://doi.org/10.1021/ed100777q>
- Sima, Jozef (2013). Redox reactions: inconsistencies in their descriptions. *Foundations of Chemistry*, 15(1), p. 57-64. <https://doi.org/10.1007/s10698-011-9143-8>
- Sisler, Harry, & Vanderwerf, Calvin (1980). Oxidation—reduction: an example of chemical sophistry. *Journal of Chemical Education*, v. 57, p. 42. <https://doi.org/10.1021/ed057p42>
- Sumfleth, Elke, & Todtenhaupt, St (1988). Zum redox-verständnis der schüler beim ubergang von der sekundarstufe I zur Sekundarstufe II. (About students' understanding of redox reaction at the interface of lower and upper secondary school level). *Chimica Didactica*, v. 14, p. 43-68.
- Supasorn, Saksri (2015). Grade 12 students' conceptual understanding and mental models of galvanic cells before and after learning by using small-scale experiments in conjunction with a model kit. *Chemistry Education Research and Practice*, 16 (s/nº), p. 393-407. DOI: <https://doi.org/10.1039/C4RP00247D>

Velleca, R. F.; Igne, M. C. I.; Lattari Júnior, J. C.; Campanerut, F. Z.; Haddad, E. B.; & Alario, A. F. (2005). Investigando as Concepções Alternativas dos estudantes sobre Eletroquímica. *Anais do V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Bauru, SP.

Venturi, Gabriela; Junckes, Ermelinda S.; Martin, Maria G. M. B.; Oliveira, Breno R. M. (2021). Dificuldades de ingressantes de um curso de licenciatura em química sobre conceitos da eletroquímica. *Química Nova*, 44(6), p. 766-772. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170756>

Vitz, Ed (2002). Redox Redux: Recommendations for Improving Textbook and IUPAC Definitions. *Journal of Chemical Education*, 79 (3), p. 397-400. <https://doi.org/10.1021/ed079p397>

Yamamoto, A. C. A. (2017). *Buriti mais: ciências*. Moderna, 1ª edição, São Paulo.

Yin, R. K. (2016). *Pesquisa qualitativa do início ao fim*. Tradução de Daniela Bueno. Revisão técnica de Dirceu da Silva. Porto Alegre, RS: Penso, 2016. ISBN: 8584290834, 9788584290833