



## MODELOS DIDÁTICOS DE OXIRREDUÇÃO: UMA INVESTIGAÇÃO EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA

### DIDACTIC MODELS OF REDOX REACTIONS: AN INVESTIGATION IN CHEMISTRY TEXTBOOKS

## MODELOS DIDÁCTICOS DE OXIRREDUCCIÓN: UNA INVESTIGACIÓN EN LIBROS DE TEXTO DE QUÍMICA

Anike A. Arnaud\* , Carmen Fernandez\*\*

Cómo citar este artículo: Arnaud, A. A., Fernandez, C. (2024). Modelos Didáticos de Oxirredução: uma investigação em livros didáticos de Química. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 19(3), 520-532.

<https://doi.org/10.14483/23464712.21421>

#### Resumo

O conteúdo de oxirredução envolve reações biológicas e com metais, fundamentais para a sociedade contemporânea. Devido a isso, os documentos curriculares brasileiros têm definido competências e habilidades associadas ao conteúdo a serem desenvolvidas na educação básica. Além disso, a literatura sobre o ensino da oxirredução explica que existem quatro modelos didáticos que podem ser utilizados na definição e abordagem do conteúdo, o modelo de oxigênio, de hidrogênio, de transferência eletrônica e o modelo de número de oxidação. No entanto, alternar entre modelos sem fornecer uma justificativa pode levar à confusão conceitual e ao desenvolvimento de concepções alternativas. De acordo com esse contexto, realizou-se uma análise de texto qualitativa temática em livros didáticos de ciências da natureza do objeto II do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) 2021, buscando identificar quais modelos redox são utilizados na apresentação do conteúdo. A análise revelou que o modelo de transferência de elétrons é o mais presente, muitas vezes sobrepondo-se ao modelo de número de oxidação, embora alguns autores apontem a inconsistência dessa sobreposição. O modelo de número de oxidação não é utilizado para descrever uma reação redox, embora seja o mais empregado no balanceamento das reações redox. Além disso, discute-se o modelo de número de oxidação como o mais adequado para o ensino das reações redox, embora essa relação não seja estabelecida nos livros didáticos analisados. Portanto, concluiu-se sobre a influência do uso desses modelos nas dificuldades dos alunos, bem como sobre a necessidade de se estabelecer limites e

Recibido: 17 de octubre de 2023; aprobado: 20 de septiembre de 2024

\* Doutora em Ciências (Ensino de Química), Universidade de São Paulo, Brasil, [anikearnaud@yahoo.com.br](mailto:anikearnaud@yahoo.com.br)

\*\* Doutora em Química. Universidade de São Paulo. Brasil. [carmen@iq.usp.br](mailto:carmen@iq.usp.br)

justificativas para a utilização dos modelos e o uso do modelo de número de oxidação no ensino dessas reações.

**Palavras chave:** Reações Redox. Modelos redox. PNLD 2021. Análise Textual Qualitativa Temática.

### Abstract

The content of redox reactions involves biological and metal-related reactions, which are fundamental for contemporary society. Due to this, Brazilian curriculum documents have defined competencies and skills associated with this content to be developed in basic education. Additionally, literature on redox teaching explains that there are four didactic models that can be used in defining and approaching the content: the oxygen model, the hydrogen model, the electron transfer model, and the oxidation number model. However, switching between these models without providing a justification can lead to conceptual confusion and the development of alternative conceptions. In this context, a qualitative thematic text analysis was conducted on natural science textbooks from the National Textbook Program (PNLD) 2021 Object II, aiming to identify which redox models are used in content presentation. The analysis revealed that the electron transfer model is the most prevalent, often overshadowing the oxidation number model, although some authors point out the inconsistency of this overlap. The oxidation number model is not used to describe a redox reaction, although it is the most employed method for balancing redox reactions. Furthermore, the oxidation number model is discussed as the most suitable for teaching redox reactions, although this relationship is not established in the analyzed textbooks. Therefore, it was concluded that the use of these models may influence students' difficulties, highlighting the need to establish limits and justifications for the use of these models and the utilization of the oxidation number model in teaching these reactions.

**Keywords:** Redox Reactions. Redox Models. PNLD 2021. Qualitative Thematic Textual Analysis.

### Resumen

El contenido de las reacciones redox implica reacciones biológicas y con metales, fundamentales para la sociedad contemporánea. Debido a esto, los documentos curriculares brasileños han definido competencias y habilidades asociadas a este contenido que deben desarrollarse en la educación básica. Además, la literatura sobre la enseñanza de las reacciones redox explica que existen cuatro modelos didácticos que se pueden utilizar en la definición y aproximación al contenido: el modelo de oxígeno, el modelo de hidrógeno, el modelo de transferencia electrónica y el modelo de número de oxidación. Sin embargo, alternar entre estos modelos sin proporcionar una justificación puede llevar a la confusión conceptual y al desarrollo de concepciones alternativas. En este contexto, se realizó un análisis cualitativo temático de texto en libros de texto de ciencias naturales del Objeto II del Programa Nacional de Libros de Texto (PNLD) 2021, buscando identificar qué modelos redox se utilizan en la presentación del contenido. El análisis reveló que el modelo de transferencia electrónica es el más frecuente, a menudo superponiéndose al modelo de número de oxidación, aunque algunos autores señalan la inconsistencia de esta superposición.

El modelo de número de oxidación no se utiliza para describir una reacción redox, aunque es el método más comúnmente empleado para equilibrar reacciones redox. Además, se discute el modelo de número de oxidación como el más adecuado para enseñar las reacciones redox, aunque esta relación no se establece en los libros de texto analizados. Por lo tanto, se concluyó que el uso de estos modelos puede influir en las dificultades de los estudiantes, destacando la necesidad de establecer límites y justificaciones para el uso de estos modelos y la utilización del modelo de número de oxidación en la enseñanza de estas reacciones.

**Palabras clave:** Reacciones Redox. Modelos Redox. PNLD 2021. Análisis Textual Cualitativo Temático

## 1. Introdução

O estudo das reações de oxirredução é parte integrante do currículo da educação básica brasileira. Desde as Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN+ (Brasil, 2002), destaca-se que devem ser desenvolvidas habilidades relativas à:

Relacionar a energia elétrica produzida e consumida na transformação química e os processos de oxidação e redução.

Compreender os processos de oxidação e de redução a partir das ideias sobre a estrutura da matéria.

Prever a energia elétrica envolvida numa transformação química a partir dos potenciais-padrões de eletrodo das transformações de oxidação e redução.

Compreender a evolução das ideias sobre pilhas e eletrólise, reconhecendo as relações entre conhecimento empírico e modelos explicativos. (Brasil, 2002, p. 98)

As Orientações Curriculares para o Ensino Médio – OCNEM (BRASIL, 2006) também destacam o conteúdo de oxirredução, por meio do desenvolvimento das habilidades:

Reconhecimento e compreensão de propriedades químicas como efervescência, fermentação, combustão, oxidação, corrosão, toxidez;

degradabilidade; polimerização, acidez, neutralidade e alcalinidade.

Compreensão da relação entre energia elétrica produzida e consumida na transformação química e os processos de oxidação e redução.

Compreensão dos processos de oxidação e redução a partir das ideias de estrutura da matéria.

Compreensão qualitativa do conceito de entalpia, entropia e potenciais-padrões de eletrodo. (Brasil, 2006, p. 113-114)

Mais recentemente, a Base Nacional Comum Curricular - BNCC (Brasil, 2018) determina que o conteúdo de oxirredução seja associado às previsões e desenvolvimento de ações sustentáveis de forma explícita na habilidade:

(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)

Nesse sentido, é importante entender que os documentos curriculares brasileiros não apenas indicam a abordagem dos conceitos de oxirredução, mas também seu desenvolvimento por meio das ideias sobre a estrutura da matéria, associando o

tipo de ligação envolvida à eletronegatividade dos reagentes participantes.

Para explorar esses conceitos, diferentes modelos didáticos podem ser empregados, o que impacta diretamente no processo de ensino-aprendizagem de oxirredução. Isso ocorre porque a coexistência desses modelos pode gerar confusão tanto para professores quanto para estudantes e autores de livros didáticos.

Nesse contexto, no estudo de Vitz (2002), são comparadas as definições mais utilizadas para reações redox, sendo apontado o modelo de mudança no número de oxidação (NOx) como o mais apropriado para o ensino. O autor também discute a necessidade de revisão da definição da IUPAC, já que pode ser uma fonte de confusão para professores inexperientes e, principalmente, para os alunos, uma vez que a definição é baseada em regras arbitrárias.

Vitz (2002) também critica a definição dada nos livros didáticos para as reações de oxirredução. A principal definição dos livros é em termos da transferência eletrônica e, segundo o autor, essa definição não abrange todas as reações redox e não auxilia o aluno na distinção dos mecanismos redox. Para o autor, essas definições são baseadas na IUPAC e leitores experientes não as aplicam de forma literal, entretanto, os alunos se beneficiariam com definições mais cuidadosamente escritas e que envolvam a mudança no NOx.

Österlund, Berg e Ekborg (2010) conduziram uma análise em livros suecos e em língua inglesa com o objetivo de identificar quais modelos redox são utilizados na explicação do conteúdo. Os autores identificaram quatro modelos redox, que são bastante similares tanto na química inorgânica quanto na orgânica. Os resultados também diferenciam os modelos usados nos diferentes campos da química; por exemplo, na química inorgânica, são empregados modelos

de número de elétrons e oxidação, na química orgânica, frequentemente são usados os modelos de oxigênio e hidrogênio, e na bioquímica, outras representações são mais comuns. Esse estudo revelou que os livros didáticos, em sua maioria, não forneceram justificativas para a mudança de modelos dentro e entre áreas temáticas, sem explicar por que um modelo é escolhido para um contexto específico em vez de outro (Österlund, Berg & Ekborg, 2010).

Shibley e seus colegas (2010) também realizaram um estudo sobre a abordagem em 11 livros didáticos de reações redox orgânicas. Os autores observaram que os livros mencionam a transferência eletrônica, mas, em geral, descrevem uma oxidação através do aumento ou diminuição dos átomos de oxigênio, nitrogênio ou halogênio. Além disso, abordagens mais detalhadas descrevem o NOx dos átomos de carbono, envolvendo cálculos que requerem a carga formal.

Diante desse contexto, propõe-se uma investigação dos livros didáticos brasileiros selecionados no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) com o intuito de identificar a presença dos modelos de oxirredução na abordagem dos conceitos redox. A justificativa para esta pesquisa não se limita apenas à importância do estudo das reações redox (Ocotero et al., 2015), mas também à centralidade que o livro didático assume no cenário educacional brasileiro (Lopes, 1992; Megid Neto & Fracalanza, 2003).

Assim, este estudo tem como objetivo investigar quais modelos redox são empregados pelos autores dos livros didáticos de Ciências da Natureza do PNLD 2021. Durante essa investigação, os trechos selecionados permitiram inferir se há a utilização de mais de um modelo e como os autores explicam essa transição. Além disso, será discutido o uso desses modelos e suas principais implicações para o processo de ensino.

## 2. Modelos Redox

A educação científica por vezes utiliza um modelo diferente daquele proposto pelos cientistas na tentativa de tornar a ciência compreensível (Justi & Gilbert, 2002). Sem esse procedimento seria quase impossível ensinar entidades não observáveis, como fluxo de elétrons ou processos químicos. (Harrison, 2000).

Ringnes (1995) sistematizou os modelos aos quais os conceitos de oxidação e redução estão relacionados; são eles: modelo de oxigênio, modelo de hidrogênio, modelo de transferência eletrônica e o modelo de número de oxidação. Eles são descritos a seguir.

### 2.1. O modelo de oxigênio

O primeiro modelo utilizado para explicar as reações redox tratava-se, na verdade, de um critério de classificação proposto por Lavoisier para diferenciar as reações que envolvem oxigênio. Antoine-Laurent de Lavoisier definiu que uma oxidação seria a obtenção de oxigênio por um corpo, enquanto a redução seria a separação do oxigênio (Ghibaudi, Regis & Roletto, 2015).

Porém, o uso do modelo é insuficiente para explicar as reações redox que não envolvem oxigênio. Além disso, causa confusão com reações ácido-base, que apesar de envolverem transferência de oxigênio entre espécies, não são consideradas como reações redox (Paik, Kim & Kim, 2017).

### 2.2. O modelo de hidrogênio

Assim como o modelo de oxigênio, a separação ou inserção de átomos de hidrogênio de uma espécie também foi utilizada para definir as reações redox. Justus Von Liebig percebeu que um composto orgânico é oxidado pela perda do hidrogênio, o que o levou a conceituar a perda do hidrogênio como uma reação de oxidação (Ringnes, 1995).

Apesar desse modelo ser muito utilizado na bioquímica, como por exemplo no conceito de desidrogenação, esse modelo apresenta as mesmas limitações do modelo anterior, as reações em que não há presença de hidrogênio e as reações ácido-base (Paik, Kim & Kim, 2017).

### 2.3. O modelo de transferência eletrônica

O desenvolvimento da eletroquímica e a descoberta dos elétrons levaram a um novo conceito de valência que foi associado às reações redox. Fry (1915) explica que o aparecimento de uma valência positiva em um átomo corresponde à oxidação e, portanto, um átomo no qual um valor negativo aparece é reduzido. Lewis ainda formulou postulados em que a redução significaria um aumento no número de elétrons na eletrosfera exterior do elemento e, por conseguinte, a oxidação implicaria uma diminuição (Ghibaudi, Regis & Roletto, 2015).

A maior parte dos livros de ensino superior utiliza o modelo de transferência de elétrons e este é mais abundante na química inorgânica. Porém há vários estudos que indicam problemas quanto à utilização desse modelo, segundo Paik e colaboradores:

Isto é parcialmente o caso porque o modelo eletrônico tem validade limitada em reações que envolvem apenas elementos e íons simples ou compostos iônicos. Além disso, muitos pesquisadores apontaram que os elétrons nem sempre são trocados literalmente em reações redox, resultando em confusão adicional. (Paik, Kim & Kim, 2017, p. 2) (tradução nossa)

### 2.4. O modelo de número de oxidação

Em 1938, Wendell Mitchell Latimer estabeleceu diretrizes para determinar o NOx baseando-se no conceito de que esse número representa a carga que um átomo adquire se os elétrons de ligação forem distribuídos igualmente entre as ligações. Segundo Latimer, quando os átomos têm a mesma eletronegatividade, os elétrons são divididos de

maneira uniforme. No entanto, se houver uma diferença de eletronegatividade entre os átomos, os elétrons são atribuídos ao elemento com maior eletronegatividade (Ghibaudi, Regis & Roletto, 2015).

Esta definição descreve que as reações redox seriam aquelas em que o NOx varia em pelo menos um dos elementos participantes. Dessa forma, este modelo é puramente formal e teórico e inclui e amplia os outros três modelos apresentados.

Para Ghibaudi, Regis e Roletto (2015), essa nova classificação envolve a renúncia em associar a variação do NOx com um processo de transferência de elétrons real de um átomo para outro. Segundo o autor:

[...] o conceito de n.o. é um artifício formal projetado para designar um determinado estado de um átomo em um composto e destacar sua variação durante uma transformação redox; isso não fornece nenhuma indicação da localização real dos elétrons no composto. Portanto, é completamente errado atribuir ao n.o., que é definido como carga hipotética e, portanto, é um conceito formal, um significado físico, ou identificá-lo com uma carga real. O único caso em que o n.o. coincide com uma carga real é a dos íons monoatômicos. (Ghibaudi, Regis & Roletto, 2015, p. 18) (tradução nossa).

À medida que os elétrons foram incorporados às explicações das reações redox, os modelos passaram do nível microscópico atômico para o nível microscópico eletrônico. Nesse sentido, os modelos redox foram expandindo-se e incluindo as novas descobertas realizadas, tal como é apresentado no quadro 1.

**Quadro 1.** Os modelos redox descritos na literatura

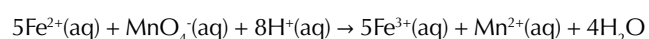
Modelo	Descrição	Limitações
Oxigênio	Processos em que se produz uma transferência de oxigênio	$\text{CH}_2\text{O} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{CH}_2\text{NH} + \text{H}_2\text{O}$

Hidrogênio	Processos em que se produz uma transferência de hidrogênio	$\text{NH}_3 + \text{B}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{NB} + 3\text{H}_2\text{O}$
Transferência de Elétrons	Processos em que há uma transferência de elétrons	$\text{HCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$
Número de Oxidação	Processos em que o NOx de um ou mais elementos varia	Não há

Descrição dos modelos redox descritos na literatura e apresentação de uma reação química que representa uma limitação da explicação do modelo. **Fonte:** Ghibaudi, Regis & Roletto, 2015.

As definições dadas pela IUPAC evidenciam que todos os modelos coexistem e que há distinção entre os processos redox inorgânicos e orgânicos, conforme os trechos que descrevem uma oxidação: “Remoção completa e clara de um ou mais elétrons de uma entidade molecular”; “Um aumento de n.o. de qualquer átomo dentro de qualquer substrato” e “Aquisição de oxigênio e/ou perda de hidrogênio de um substrato orgânico” (IUPAC, 1997, cf. Ghibaudi, Regis & Roletto, 2015, p. 18).

A coexistência desses modelos é particularmente problemática ao perceber-se que um mesmo fenômeno pode ser descrito como oxidação em um modelo, mas não em outro. Como é o caso da reação:



Para exemplificar o exposto, considerando-se apenas o íon de hidrogênio ( $\text{H}^+$ ): a) No modelo de oxigênio, ocorreu uma oxidação ao ganhar oxigênio e uma molécula de água é formada; b) No modelo de transferência eletrônica, os íons de hidrogênio foram reduzidos pela atração de elétrons dos íons óxidos, e uma molécula de água é formada; c) No modelo de NOx nem a oxidação nem a redução ocorreram, pois o NOx é +1 antes e depois da reação (Österlund, 2010). Ou seja, a utilização de diferentes modelos pode confundir os estudantes, uma vez que eles podem interpretar

que ocorreu uma semirreação de oxidação, ou uma semirreação de redução, segundo o exemplo utilizado. Cabe acrescentar que a partir do modelo do número de oxidação também é possível identificar que há uma reação de oxirredução ao analisar as outras substâncias participantes da reação, o que pode confundir ainda mais os estudantes.

Nesse contexto, a utilização desses modelos divergentes pode causar confusão conceitual, levando a dificuldades no processo de aprendizagem. Além disso, ao considerarmos o livro didático como intermediário entre o conhecimento científico e o conhecimento escolar, é fundamental que ele seja claro e conciso ao apresentar o conteúdo.

### 3. Os livros didáticos brasileiros

No contexto brasileiro os livros utilizados nas escolas básicas são selecionados e distribuídos pelo Programa Nacional do Livro Didático. Os livros passam por 11 etapas de avaliação e seleção até serem distribuídos às escolas. O mais recente edital do PNLD para o ensino médio apresenta uma proposta diferente dos editais anteriores, selecionando coleções para as áreas de conhecimento determinadas pela BNCC. Optou-se por investigar neste trabalho as coleções da área de Ciências da Natureza do objeto II do referido edital. A lista das obras investigadas pode ser observada no quadro 2.

**Quadro 2.** Coleções do objeto II de ciências da natureza do PNLD 2021

Coleção	Volumes	Descritor
Lopes e Rosso	Vol. I - Evolução e Universo	LRO-EU
	Vol. II - Energia e Consumo Sustentável	LRO-ECS
	Vol. III - Água, agricultura e uso da terra	LRO-AAT
	Vol. IV - Poluição e movimento	LRO-PM
	Vol. V - Corpo humano e vida saudável	LRO-CVS
	Vol. VI - Mundo tecnológico e ciências aplicadas	LRO-MTC

Conexões	Vol. I - Matéria e energia	CNX-ME
	Vol. II - Energia e ambiente	CNX-EA
	Vol. III - Saúde e tecnologia	CNX-ST
	Vol. IV - Conservação e transformação	CNX-CT
	Vol. V - Terra e equilíbrios	CNX-TE
	Vol. VI - Universo, materiais e evolução	CNX-UME
Moderna Plus	Vol. I - O conhecimento científico	MDP-CC
	Vol. II - Água e vida	MDP-AV
	Vol. III - Matéria e energia	MDP-ME
	Vol. IV - Humanidade e ambiente	MDP-HA
	Vol. V - Ciência e tecnologia	MDP-CT
	Vol. VI - Universo e evolução	MDP-UE
Diálogo	Vol. I - O universo da ciência e a ciência do Universo	DLG-UC
	Vol. II - Vida na Terra: como é possível?	DLG-VT
	Vol. III - Terra: um sistema dinâmico de matéria e energia	DLG-ME
	Vol. IV - Energia e sociedade: uma reflexão necessária	DLG-ES
	Vol. V - Ser humano: origem e funcionamento	DLG-SH
	Vol. VI - Ser humano e meio ambiente: relações e consequências	DLG-HA
Matéria, Energia e Vida	Vol. I - Desafios Contemporâneos das Juventudes	MEV-DCJ
	Vol. II - Evolução, Diversidade e Sustentabilidade	MEV-EDS
	Vol. III - Materiais e Energia, Conservação e Transformação	MEV-MEC
	Vol. IV - Materiais, Luz e Som, Modelos e Propriedades	MEV-MLZ
	Vol. V - O mundo atual, Questões Sociocientíficas	MEV-MQS
	Vol. VI - Origens, o Universo, a Terra e a Vida	MEV-OUT
Multiversos	Vol. I - Movimentos e Equilíbrios na Natureza	MTV-MEN
	Vol. II - Matéria, Energia e Vida	MTV-MEV
	Vol. III - Eletricidade e Sociedade na Vida	MTV-ESV
	Vol. IV - Origens	MTV-ORG
	Vol. V - Ciências Sociedade e Ambiente	MTV-CSA
	Vol. VI - Ciência, Tecnologia e Cidadania	MTV-CTC
Ser Protagonista	Vol. I - Ambiente e Ser Humano	SPT-ASH
	Vol. II - Composição e Estrutura dos Corpos	SPT-CEC
	Vol. III - Energia e Transformações	SPT-ETR
	Vol. IV - Evolução, Tempo e Espaço	SPT-ETE
	Vol. V - Matéria e Transformações	SPT-MTR

Títulos dos livros analisados e seus respectivos descritores.

**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).

A importância do livro didático no processo de ensino e aprendizagem, sobretudo na disciplina de química e no ensino das reações redox é destacada por diversos autores (Sanger & Greenbowe, 1999, Mendonça, Campos & Jófili, 2004, Österlund, Berg & Ekborg, 2010). Estas pesquisas sugerem que nos livros há presença de linguagem inadequada, distorções conceituais, coexistência de diferentes modelos redox que não são discutidos com os alunos, excesso de analogias de senso comum e propostas experimentais impossíveis de serem reproduzidas (Österlund, Berg & Ekborg, 2010, Bocanegra, 2010, Fontes et al., 2012). A presença desses aspectos pode dificultar a compreensão de conceitos e gerar ou reforçar concepções alternativas nos estudantes.

#### 4. Metodologia

Em função dos objetivos de pesquisa caracterizou-se este estudo como pesquisa qualitativa (Yin, 2016), na qual utilizou-se a Análise de Texto Qualitativa Temática (Kuckartz, 2014) para sistematização e interpretação dos resultados. Operacionalmente a Análise de Texto Qualitativa Temática compreende a realização de 7 fases. A primeira fase consiste na leitura inicial dos documentos e destaque dos trechos importantes, no caso desta pesquisa os documentos correspondem aos livros de ciências da natureza do objeto II do PNLD 2021.

A segunda fase consiste na criação das categorias iniciais, emergentes da leitura inicial dos textos (Kuckartz, 2014). Para esta pesquisa as categorias iniciais foram estabelecidas a priori e tratam dos modelos de oxirredução descritos na literatura e apresentados na seção introdutória deste artigo.

A terceira fase da Análise trata da codificação dos dados nas categorias iniciais (Kuckartz, 2014). Nessa fase de codificação selecionou-se todos os trechos em que uma reação de oxirredução era definida, assim como a definição de NOx. É importante ressaltar que foram analisados todos os volumes das 7 coleções selecionadas neste estudo,

mas constituem o corpus de pesquisa apenas os volumes em que os conceitos de oxirredução são abordados.

Na quarta fase realiza-se a leitura atenta dos dados codificados para compor a análise. Já na quinta fase possíveis subcategorias são criadas para complementar a análise (Kuckartz, 2014), porém, no caso deste trabalho não foram necessárias novas subcategorias, uma vez que encontramos um modelo redox para cada coleção analisada.

Na sexta fase o sistema de categorias refinado é utilizado para codificar todos os dados (Kuckartz, 2014). Nesta fase os dados foram organizados no quadro 3 que é apresentado no tópico seguinte onde discute-se os resultados da pesquisa.

Por fim, a sétima fase corresponde à análise e interpretação dos dados (Kuckartz, 2014). Tal análise e interpretação é descrita na sequência onde se apresenta considerações sobre os modelos utilizados e as implicações para a pesquisa e prática em ensino de ciências, assim como as conclusões deste estudo. Além disso, destaca-se que a análise foi realizada com auxílio do software acadêmico para análise de dados qualitativos e métodos mistos de pesquisa MAXQda (Kuckartz, 2014).

#### 5. Os modelos redox nos livros didáticos brasileiros

Nesta seção apresenta-se os resultados obtidos na investigação sobre a presença dos modelos redox nas coleções de ciências da natureza do PNLD 2021. O quadro 3 apresenta as principais definições para as reações redox encontradas.

Tecendo breves considerações sobre as coleções analisadas é possível destacar que cinco, das sete coleções analisadas, abordam o conteúdo de oxirredução em apenas um volume. A coleção CNX discute o conteúdo em dois volumes, dividindo entre os conceitos básicos apresentados no volume



Matéria e Energia e as reações envolvendo pilhas, baterias, corrosão e eletrólise, no volume Energia e Ambiente. Já a coleção LRO distribui o conteúdo de oxirredução em quatro volumes, no volume I aborda-se a eletrólise e os processos metalúrgicos de extração de metais; no volume II aborda-se os princípios básicos da oxirredução; no volume V apresenta-se as reações de oxirredução orgânica, já no volume VI discute-se a corrosão e formação de ferrugem.

**Quadro 3:** Definições redox nos livros didáticos de ciências da natureza do PNLD 2021

Coleção	Descrição
MEV-MEC	Estudaremos as transformações químicas que envolvem a transferência de elétrons entre as espécies reagentes, ou seja, analisaremos como a energia, na forma de energia elétrica, se transforma nas reações químicas. Essas reações envolvem mudanças no número de elétrons de valência de átomos ou de íons. Isso é possível porque átomos e íons podem perder ou ganhar elétrons. Quando isso acontece, o átomo ou o íon muda seu estado de oxidação. (p. 136)
DLG-ES	A movimentação dos elétrons em uma pilha ocorre porque um dos elementos químicos que a compõe perde elétrons, ou seja, oxida enquanto o outro elemento químico recebe esses elétrons, ou seja, reduz. Essa movimentação de elétrons, que ocorre de forma espontânea, gera a corrente elétrica. Esse tipo de reação recebe o nome de reação de oxirredução. (p. 47)
MDP-CT	Em toda cela eletroquímica ocorre uma transformação química em que há transferência de elétrons de uma espécie química (átomo, molécula, íon) para outra, denominada reação de oxirredução, oxidorredução ou redox. (p. 75) Então, uma reação química é de oxirredução se houver modificação do número de oxidação de um ou mais elementos químicos quando os reagentes se transformam em produtos. (p. 91)
CNX-ME	A palavra oxidação era empregada originalmente para designar reações em que uma substância interage com o oxigênio (O <sub>2</sub> ) e até hoje é usada para indicar o processo que leva um metal a perder o brilho e outras características metálicas. O significado químico do termo, porém, ampliou-se, como veremos mais adiante. Chamamos de reações de oxirredução as transformações em que há transferência de elétrons, como a apresentada anteriormente. O termo oxirredução deriva de dois processos que ocorrem na transformação: a oxidação (que envolve a perda de elétrons) e a redução (que envolve o ganho de elétrons). Assim, na transformação representada acima, o Mg se oxida (cede elétrons) e o O <sub>2</sub> se reduz (ganha elétrons). (p. 124)

SPT-MT	Os processos de oxidação e de redução sempre ocorrem simultaneamente, e pode-se dizer que a reação ocorre mediante uma transferência de elétrons. Por não envolver a formação de íons, entretanto, a transferência de elétrons entre as espécies não é facilmente percebida ou constatada. Para reconhecer uma reação de oxirredução, é preciso determinar o número de oxidação (Nox) dos átomos dos elementos envolvidos no processo. Esse número indica o excesso ou a falta de elétrons nos átomos. (p. 77)
LRO-ECS	Muitos processos metabólicos envolvem reações de oxirredução, também chamadas de redox, que se caracterizam pela transferência de elétrons entre espécies químicas. Às vezes, percebemos a ocorrência desse tipo de reação pela mudança na carga elétrica das partículas – por exemplo, quando o Fe <sup>2+</sup> da proteína citocromo c é oxidado, passando a Fe <sup>3+</sup> na cadeia de transporte de elétrons durante a respiração celular. Para nos ajudar a reconhecer uma reação de oxirredução e acertar os coeficientes estequiométricos de algumas equações químicas, como veremos mais à frente, recorreremos ao conceito de estado de oxidação e à determinação do número de oxidação (Nox) das espécies químicas. Dessa forma, uma reação de oxirredução pode ser entendida como aquela em que ocorre a variação do Nox de uma ou mais espécies químicas. A reação de oxidação levaria ao aumento do Nox e a reação de redução, a sua diminuição. (p. 55)
MTV-ESV	Oxidação é a diminuição do número de elétrons e Redução é o aumento do número de elétrons. Ambos acontecem simultaneamente e caracterizam uma reação de oxirredução. (p. 94) Comparando os participantes da reação em seu estado inicial e final, o átomo que oxida terá aumento de Nox e o átomo que reduz terá diminuição do Nox, sendo que o número de elétrons envolvidos nesses processos deve ser o mesmo, afinal, as transferências eletrônicas ocorrem de um átomo para o outro. (p. 96)

Trechos referentes às definições de oxirredução presentes nos livros didáticos analisados. **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).

Ao analisar o Quadro 3, é evidente que em seis das coleções estudadas, o modelo predominante utilizado para definir as reações redox é o de transferência eletrônica. Mesmo quando as reações envolvem o oxigênio de maneira destacada, os autores optam por descrevê-las como transferência de elétrons entre as espécies.

Além do modelo de transferência eletrônica, os livros também apresentam outros modelos redox. Um exemplo disso é a coleção CNX, que introduz

o modelo de oxigênio no início do capítulo sobre oxirredução, como indicado no trecho:

A palavra oxidação era empregada originalmente para designar reações em que uma substância interage com o oxigênio ( $O_2$ ) e até hoje é usada para indicar o processo que leva um metal a perder o brilho e outras características metálicas. O significado químico do termo, porém, ampliou-se, como veremos mais adiante. (CNX, I, p. 124)

No entanto, neste exemplo, o modelo de oxigênio não é empregado para definir as reações redox; ele serve como um elemento que remete à história da ciência. Nesse contexto, a utilização de dois modelos explicativos não parece gerar confusão conceitual, já que os próprios autores destacam que o significado do termo se ampliou, refletindo a evolução histórica da química.

Uma definição que merece destaque é a apresentada pela coleção MTV, na qual define-se uma reação redox como: “Oxidação é a diminuição do número de elétrons e Redução é o aumento do número de elétrons. Ambos acontecem simultaneamente e caracterizam uma reação de oxirredução” (MTV, III, p. 94). Nessa definição, parece haver uma mistura entre os modelos de transferência eletrônica e número de oxidação, sem seguir precisamente a descrição de nenhum deles. A utilização dessa definição pode criar confusão conceitual nos estudantes, já que alguém não familiarizado com o conceito poderia interpretar que, se uma reação de oxidação ocorre em um recipiente separado da reação de redução, ainda assim seria um processo redox, desde que ambas as reações aconteçam simultaneamente. Não é explicada a transferência eletrônica, na qual os reagentes precisariam estar em contato direto uns com os outros. Além disso, embora as palavras “diminuição” e “aumento” sejam utilizadas, não há uma abordagem clara sobre o NOx. Portanto, não se recomenda o uso de definições incompletas como essa, e, por conseguinte, essa definição

não seria atribuída a nenhum dos modelos redox discutidos.

Além disso, observou-se que os livros fazem menção explícita ao modelo de número de oxidação. Contudo, esse modelo não parece justificar uma reação redox, mas sim serve como uma ferramenta para reconhecer (na coleção SPT) e equilibrar os coeficientes estequiométricos (na coleção LRO) das reações redox. Ficou claro o uso frequente desse modelo para balancear as equações químicas na maioria das coleções analisadas.

Ghibaudi, Regis e Roletto (2015) descrevem que, no processo de ensino-aprendizagem, o professor deve ter clareza da existência desses modelos e das relações estabelecidas entre eles. Os autores ainda afirmam “no que diz respeito ao modelo mais amplo, o modelo n.o., sua natureza formal e abstrata requer uma consciência clara das operações de modelagem que o precedem e constituem sua justificativa lógica.” (Ghibaudi, Regis & Roletto, 2015, p.20, tradução nossa).

A sobreposição dos modelos de número de oxidação e de transferência eletrônica apresenta problemas significativos na abordagem dos livros didáticos. Isso ocorre porque essa afirmação implica uma relação causal entre a transferência de elétrons e a modificação do NOx, uma relação que não é sustentável. Além disso, a utilização do modelo de número de oxidação para equilibrar reações redox é alvo de críticas, uma vez que não é necessário hipotetizar uma transferência de elétrons para alcançar o equilíbrio em uma reação redox. O balanceamento das equações químicas redox tem uma base matemática que depende exclusivamente das regras dos números de oxidação das espécies: a soma dos NOx em uma molécula deve ser igual à carga da molécula. Portanto, o equilíbrio das reações redox não requer a suposição de equivalência entre ganho e perda de elétrons (Sisler & Wanderwerf, 1980; Vitz, 2002, Sima, 2013).

Sisler e Wanderwerf (1980) são enfáticos ao afirmar que a única definição logicamente consistente das reações redox é aquela em que se define em termos da mudança do número de oxidação. A mesma discussão é realizada por Vitz (2002) que aponta que o modelo de número de oxidação seria o mais adequado para o ensino das reações redox.

Porém, tal definição apresenta alguns problemas do ponto de vista didático. Primeiro, os estados de oxidação são definidos com base em regras amplamente reconhecidas como “arbitrárias” (Ghibaudi, Regis & Roletto, 2015). Além disso, os métodos mais comuns e aceitos para calcular o número de espécies de oxidação são as regras propostas pela IUPAC e por Pauling que apresentam inúmeras limitações (entre elas: procedimento de cálculo complexo, muitas exceções às regras, dificuldade no cálculo com compostos que não tem H ou O na molécula) (Paik, Kim & Kim, 2017).

Apesar disso, é importante ressaltar que generalizar todas as reações redox como simples transferência de elétrons entre átomos não pode ser aplicado indiscriminadamente a reações que envolvem espécies poliatômicas em solução (como a redução de íons de permanganato) ou a muitas reações entre espécies orgânicas. Nestes casos, as reações redox são reconhecidas com base nas variações dos números de oxidação (NOx).

Nesse sentido, ressalta-se que a coleção MDP apresenta o modelo de número de oxidação na principal definição da reação redox, conforme podemos observar em: “Então, uma reação química é de oxirredução se houver modificação do número de oxidação de um ou mais elementos químicos quando os reagentes se transformam em produtos” (MDP, V, p. 91). Essa definição está de acordo com as pesquisas citadas anteriormente e corresponde a um exemplo em que não houve justaposição do modelo de transferência eletrônica, muito embora o modelo de transferência eletrônica também tenha sido apresentado em momento anterior.

## 6. As consequências do uso dos modelos no ensino de reações redox

Devido às críticas apontadas sobre a sobreposição dos modelos de transferência de elétrons e números de oxidação (NOx), e reconhecendo as dificuldades e limitações do modelo de NOx, Paik e colaboradores (2017) propuseram uma nova definição dos processos redox com base nas proposições feitas por Goodstein (1970). De acordo com essa proposta, as reações redox seriam definidas como “aquelas em que a ordem relativa das eletronegatividades atômicas nas ligações muda durante a reação” (Paik, Kim & Kim, 2017). No entanto, é importante observar que essa proposição apresenta as mesmas limitações dos modelos anteriores.

Em relação à revisão dos livros, uma proposta interessante é apresentada por Ghibaudi, Regis e Roletto (2015) no que diz respeito à utilização do modelo de NOx. Primeiramente, é essencial compreender a natureza formal específica desse modelo; ele é teórico e matemático, portanto, não possui um significado físico intrínseco. Nesse contexto, o modelo NOx seria uma ferramenta prática e útil para:

- 1) escrever as fórmulas compostas e dar nome às espécies na química inorgânica
- 2) identificar todas as reações de oxirredução (inorgânicas e orgânicas)
- 3) balancear as reações químicas, pois permite aplicar procedimentos de balanceamento simples e imediatos

Além disso, é fundamental reconhecer a limitação intrínseca ao próprio conceito de modelo. Os modelos tentam descrever os processos macroscópicos observados, mas não capturam completamente a realidade física das reações redox. Isso significa que embora eles possam oferecer explicações valiosas sobre o

comportamento das substâncias, esses modelos têm suas próprias limitações inerentes.

## 7. Conclusão

A investigação apresentada buscou revelar quais os modelos redox mais utilizados em livros didáticos e se a justificativa para uso de mais de um modelo é apresentada. Observou-se que a maioria dos livros didáticos definem as reações redox de acordo com o modelo de transferência eletrônica. Além disso, apresentou-se a sobreposição presente nos livros entre o modelo de transferência eletrônica e do número de oxidação, discutindo-se as implicações dessa sobreposição no ensino de oxirredução.

O uso do modelo de transferência eletrônica nos livros, conforme é discutido pode influenciar algumas concepções alternativas. Por exemplo, nas coleções analisadas neste trabalho, na definição presente nos livros 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. Nesse sentido, aponta-se a necessidade de investigações sobre a influência dos livros didáticos nas concepções alternativas dos estudantes.

Uma conclusão também importante deste estudo é a falta de clareza de que os modelos têm limitações intrínsecas. É necessário que os modelos sejam bem definidos, usados com cautela, discutindo seus limites e como eles tentam descrever os processos macroscópicos observados. Isso seria coerente na aprendizagem de toda a área de ciências da natureza, influenciando o ensino de outros tópicos no ensino médio.

## 8. Agradecimentos

As autoras agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo apoio financeiro recebido (processos #2013/07937-8 e #2019/15461-0).

## 9. Referências

- Aguilar, J. B., Nahas, T., Aoki, & V. L. M. (2020). *Ser protagonista: ciências da natureza e suas tecnologias*. (1ª edição), Editora SM.
- Amabis, J. M., Martho, G. R., Ferraro, N. G., Penteadó, P. C. M., Torres, C. M. A., Soares, J., Canto, E. L., & Leite, L. C. C. (2020). *Moderna plus: ciências da natureza e suas tecnologias*. (1ª edição). Editora Moderna.
- Bocanegra, C. H. (2010). *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, Universidade Estadual Paulista.
- Brasil (2002). Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) - Ciências da Natureza e suas Tecnologias*. Brasília: MEC.
- Brasil (2006). Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. *Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias - Orientações Curriculares para o Ensino Médio*. (v. 2).
- Brasil (2018). Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Base Nacional Comum Curricular*, Brasília: MEC.
- Fontes, A. M., Lourenço, M. F. De P. & Messeder, J. C. (2012). *A representação experimental da pilha de Daniell nos Livros didáticos: um erro questionado* [Comunicação oral]. XVI Encontro Nacional de Ensino de Química (XVI ENEQ) e X Encontro de Educação Química da Bahia (X EDUQUI), Salvador, Brasil.
- Fry, H. S. (1915). The electronic conception of positive and negative valences. *Journal of the American Chemical Society*, 37, p. 2368-2373. <https://doi.org/10.1021/ja02175a016>

- Ghibaudi, E., Regis, A. & Roletto, E. (2015). *Le reazioni redox: un pasticcio concettuale?* Perspectives in Science, 5, p. 14-24. <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2015.05.001>
- Godoy, L. P. (2020). Multiversos: ciências da natureza. (1ª edição). Editora FTD.
- Goodstein, M. P. (1970). *Interpretation of Oxidation–Reduction*. Journal of Chemical Education, 47, p. 452-457.
- Harrison, A. G. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), p. 1011-1026. <https://doi.org/10.1080/095006900416884>
- Justi, R. S. & Gilbert J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), p. 369-387. <https://doi.org/10.1080/09500690110110142>
- Kuckartz, U. (2014). *Qualitative Text Analysis, A Guide to Methods, Practice & Using Software*. SAGE.
- Lopes, A. R. C. (1992). Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química I- obstáculos animistas e realistas. *Química Nova*, 15(3), p. 254-261.
- Lopes, S. (2020). Ciências da natureza: Lopes & Rosso. (1ª edição). Editora Moderna.
- Megid Neto, J. & Fracalanza, H. (2003). O livro didático de ciências: problemas e soluções. *Ciência & Educação*, 9(2), p. 147-157. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132003000200001>
- Mortimer, E., Horta, A., Mateus, A., Munford, D., Franco, L., Matos, S., Panzera, A., Garcia, E. & Pimenta, M. (2020). *Matéria, energia e vida: uma abordagem interdisciplinar*. (1ª edição). Editora Scipione.
- Ocotero, V. M., Casas, C. P., Vázquez, S. M. & Espinal, M. de J. M. (2015). *Los procesos redox y su relevancia en la vida*. In Ocotero, V. M. (coord.) *Lecturas de apoyo para comprender mejor la Química* (1ª edição). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México,
- Österlund, L. (2010). *Redox models in chemistry A depiction of the conceptions held by secondary school students of redox reactions*. Dissertação de mestrado, Umeå University, Umeå, Sweden.
- Österlund, L. L.; Berg, A. & Ekborg, M. (2010). Redox models in chemistry textbooks for the upper secondary school: friend or foe? *Chemical Education Research and Practice*, 11, p. 182-192. <https://doi.org/10.1039/C005467B>
- Paik, S-H, Kim, S. & Kim, K. (2017). Suggestion of a Viewpoint Change for the Classification Criteria of Redox Reactions. *Journal of Chemical Education*. 94 (5), 563–568. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00593>
- Ringnes, V. (1995). Oxidation-reduction – learning difficulties and choice of redox models. *School Science Review*, 77(279), p.74-78.
- Rios, E. P., Spinelli, W., Reis, H., Sant'Anna, B., Novais, V. L., & Antunes, M. T. (2020) *Conexões: ciências da natureza e suas tecnologias*. (1ª edição). Editora Moderna.
- Sanger, M. J. & Greenbowe, T. 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>
- Santos, K. C. (2020). *Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias*. (1ª edição). Editora Moderna.
- Shibley J. R. I. A., Amaral, K. E., David, J. A. & Mccaully. J. (2010). Oxidation and Reduction Reactions in Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 87(12), p. 1351-1354. <https://doi.org/10.1021/ed100457z>
- Sima, J. (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, H., Vanderwerf, C. (1980). Oxidation—reduction: an example of chemical sophistry. *Journal of Chemical Education*, (57), p. 42. <https://doi.org/10.1021/ed057p42>
- Vitz, E. (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>
- Yin, R. K. (2016). *Pesquisa qualitativa do início ao fim*. Tradução de Daniela Bueno. Penso.

