

Explorando os conceitos de oxidação e redução a partir de algumas características da história da ciência

Camila R. Dias de Oliva, Amary C. Ferreira, Simone F. B. Tófani e Fernando C. Silva

Os conceitos de oxidação e redução são fonte de diversas dificuldades para os estudantes. Por exemplo, em alguns casos a oxidação está relacionada ao ganho de alguma coisa, e em outros, à perda. Essa oposição para o mesmo processo leva os estudantes a memorizarem regras, distanciando-se da exploração das razões para isso. Considerando essa dificuldade, buscamos discutir os diferentes significados para esses conceitos, abordando também as relações desses significados com a teoria do flogisto. Dessa forma, a construção do texto se deu a partir dos estudos de Douglas Allchin, textos recentes sobre os conceitos de oxidação e redução, e referenciais de História da Ciência para a Educação. A partir desses estudos, trazemos algumas considerações importantes para o ensino dos conceitos de oxidação e redução, ao: i) abordar algumas características do contexto no qual os conceitos surgiram e ii) apresentar os diferentes significados dados para esses conceitos e a articulação que há entre eles. Dessa forma, entendemos poder contribuir para a minimização das dificuldades de aprendizagem apresentadas pelos estudantes, ao propormos que se desenvolva o conhecimento, a articulação e a compreensão dos diferentes significados para esses conceitos.

► educação em química, oxidação e redução, ensino médio ◀

Recebido em 22/03/2019, aceito em 14/10/2019

30

Em muitos livros didáticos são abordados múltiplos modelos para a discussão dos conceitos de oxidação e redução. Por exemplo, o que é oxidação? O ganho de oxigênio, perda de hidrogênio, perda de elétrons, aumento do número de oxidação ou todos esses? Os estudantes muitas vezes não conseguem entender porque os professores introduzem modelos que parecem indicar ações opostas – perda, ao invés de ganho – para o mesmo processo. Dessa forma, os estudantes tendem a memorizar as regras e resistem em explorar as razões para caracterizar a oxidação como ganho e perda (Harrison; Treagust, 2000).

Os professores devem deixar claro para os estudantes que os conceitos são constituídos por um nome e um significado. No entanto, à medida que a Ciência avança, o significado do conceito pode mudar, mas o nome pode permanecer o mesmo (Schmidt, 2000). Isso se aplica aos conceitos de oxidação e redução, para os quais os nomes permaneceram inalterados enquanto seus significados mudaram ao longo do tempo (Österlund *et al.*, 2010). A oxidação foi originalmente definida por Lavoisier como uma reação em que o oxigênio

estaria envolvido formando óxidos. Atualmente, as reações de oxidação são definidas por meio dos elétrons, visto que eles podem ser transferidos de uma espécie química para outra. Se a espécie cede elétrons, o número de oxidação aumenta e o processo é chamado de oxidação. Ao mesmo tempo ocorre uma redução, ou seja, outra espécie recebe os elétrons que foram cedidos, levando a uma diminuição no número de oxidação. Todo o processo tem sido descrito como uma reação redox, visto que oxidação e redução ocorrem ao mesmo tempo. Na oxidação, o oxigênio não estará necessariamente envolvido: a reação entre o magnésio metálico e uma solução aquosa de ácido clorídrico é um exemplo disso (Schmidt, 2000).

A partir dessas considerações, propomos uma reflexão para que os professores de Química busquem articular os diferentes significados para os conceitos de oxidação e redução. Para isso, trazemos alguns elementos da História da Ciência para nos auxiliar nessa reflexão.

Buscando alguns elementos da História da Ciência

Este trabalho foi baseado, principalmente, no artigo de Allchin (1997), no qual o autor apresenta a ideia do flogisto

A seção "Conceitos Científicos em Destaque" tem por objetivo abordar, de maneira crítica e/ou inovadora, conceitos científicos de interesse dos professores de Química.

no seu contexto histórico para ensinar as reações de oxidação e redução. Em seguida, Allchin (1997) busca mostrar como integrar a História, a Filosofia e a Sociologia da Ciência no ensino de conceitos científicos básicos. O autor finaliza argumentando que a sala de aula não é meramente um lugar para aplicar a História, a Filosofia ou a Sociologia, mas também um espaço para a pesquisa nessas áreas (Allchin, 1997). Não se pode dizer que esses significados sejam ultrapassados e, por isso, não precisariam ser discutidos em sala de aula. Em determinado contexto, eles foram úteis para o desenvolvimento de explicações para certos fenômenos químicos. Portanto, a apresentação dos diferentes significados para os conceitos de oxidação e redução em textos de Química pode facilitar o entendimento dos estudantes (Taber, 2015). Partindo dessas ideias, buscamos discutir sobre os diferentes significados para os conceitos de oxidação e redução. Dessa forma, a escrita do texto foi fundamentada em referenciais teóricos que discutem a História da Ciência para a Educação em Ciências. No entanto, é importante esclarecer que não pretendemos que este artigo seja uma referência historiográfica para historiadores da Ciência, mas como uma discussão importante para os professores de Química perceberem a articulação entre os diferentes significados construídos para os conceitos de oxidação e redução. Reconhecemos e salientamos algumas limitações deste trabalho: i) ausência dos nomes de alguns filósofos ou cientistas que defenderam ideias abandonadas pela ciência moderna, e ii) ausência de contextualização sociocultural, ou seja, a falta de destaque para as questões sociais, influências políticas ou de qualquer outra natureza a envolver os problemas ou perguntas que motivaram as pesquisas dos cientistas nos diferentes momentos históricos.

A teoria do flogisto

As reações de redução foram primeiramente conhecidas a partir das atividades metalúrgicas, quando da redução dos minérios aos correspondentes metais. Em geral, mineiros e metalúrgicos consideravam que as propriedades metálicas seriam conferidas por uma “substância do fogo”, ou seja, havia uma associação da superfície brilhante do metal à luz do fogo (Allchin, 1997). Provavelmente, os primeiros metais descobertos pela humanidade foram o ouro e o cobre. Os outros metais conhecidos na Antiguidade seriam a prata, o chumbo, o estanho, o ferro e o mercúrio. As ligas mais importantes desses metais foram o bronze (cobre e estanho) e o *electro* (ouro e prata). Os metais eram trabalhados para adquirirem as formas e propriedades desejadas (Mainz, 2015).

No início do século XVIII, tanto as reações de redução quanto as de oxidação foram relacionadas à noção de um “princípio material da inflamabilidade”, que ficou conhecido como flogisto (Allchin, 1997). Embora a estrutura conceitual

da hipótese do flogisto tenha sido proposta por Johann Joachim Becher na metade do século XVII, ela se tornou uma ideia central do pensamento químico especialmente por meio dos trabalhos de seu seguidor, Georg Ernst Stahl, que utilizou o termo *flogisto* para se referir ao princípio inflamável. O conceito de flogisto foi estabelecido sobre uma crença de que as propriedades das substâncias eram consequência dos “veículos” que as continham, chamados de “princípios”. Por exemplo, as substâncias que possuíam propriedades ácidas continham os “princípios” da acidez. Um único “princípio” poderia ser portador de uma ou mais propriedades, e a diversidade de substâncias foi explicada pelas diferentes proporções dos “princípios” que estavam presentes em cada uma (Labinger e Weininger, 2005).

Usando o conceito de flogisto, explicavam por que as coisas poderiam queimar e emitir luz e calor. Madeira, óleos, álcool, carvão, metais, enxofre e fósforo seriam ricos em flogisto. Na combustão (de materiais orgânicos) e calcinação (de metais) – ambas reações de oxidação – ocorria a liberação de flogisto, que era indicada pela luz e calor. Essa ideia do flogisto,

teria “poderosamente” unificado o reino mineral com os reinos vegetal e animal, anteriormente considerados completamente distintos. A redução de metais foi relacionada a sua reação inversa (calcinação), na qual os minérios “ganhavam” flogisto para produzir os metais

(Allchin, 1997, p. 474; *tradução nossa*).

Em outras palavras, na oxidação ocorreria perda, e na redução ganho de flogisto. Cabe destacar que o panorama conceitual em que a teoria do flogisto fazia sentido era diferente daquele no qual os conceitos de oxidação e redução foram desenvolvidos. A teoria do flogisto se destacou dentre outras ideias e obteve alcance para explicar fenômenos observados nos laboratórios, que hoje seriam enquadrados como temas de estudo da Química, pois

[...] [as] discussões [sobre o flogisto] estavam ocorrendo no período em que se gestava a Revolução Industrial, quando a demanda por combustíveis era muito grande e buscava-se substituto para o carvão vegetal. Neste contexto, o flogístico – princípio considerado responsável pela combustibilidade e outras propriedades dos materiais – ganhou destaque entre todos os demais supostos elementos constituintes da matéria. Desenvolveu-se, assim, a teoria do flogístico, para explicar os fenômenos que envolvem a presença de fogo, mas também outros processos (Alfonso-Goldfarb *et al.*, 2016; p. 60).

Embora a estrutura conceitual da hipótese do flogisto tenha sido proposta por Johann Joachim Becher na metade do século XVII, ela se tornou uma ideia central do pensamento químico especialmente por meio dos trabalhos de seu seguidor, Georg Ernst Stahl, que utilizou o termo flogisto para se referir ao princípio inflamável.

Embora não se conhecesse a existência do gás oxigênio, já se percebia que a quantidade de ar limitava a queima de um material. E a imagem da fumaça saindo desse material sendo queimado levou à ampliação da noção de flogisto (Allchin, 1997).

Durante a combustão (conforme já discutido, há liberação de flogisto), o “ar” tornava-se “flogisticado” (esse “ar flogisticado” seria os gases que cessavam a queima, como por exemplo, o gás carbônico – CO_2), deixando de sustentar a queima. Da mesma forma, o “ar desflogisticado” (esse “ar desflogisticado” seria o gás que possibilitava a queima, atualmente, chamado de gás oxigênio) poderia sustentar a combustão por um tempo prolongado (Allchin, 1997, p. 475; *tradução nossa*).

A busca pela produção e identificação de “ares” (Alfonso-Goldfarb *et al.*, 2016) levou Henry Cavendish a anunciar que tinha isolado o flogisto. Ele teria tratado diversos metais com ácidos, obtendo em cada caso, segundo ele, “ar inflamável”. Para Cavendish, esse “ar inflamável” seria o flogisto, que atualmente é caracterizado como o gás hidrogênio. Por algum tempo, Antoine Laurent Lavoisier considerou que esse “ar inflamável” seria o monóxido de carbono (Feifer, 1964). Conforme discutido a seguir, ainda que Lavoisier tivesse apresentado objeções, os adeptos do flogisto continuavam defendendo suas ideias (Feifer, 1964).

As concepções e objetivos daqueles que defendiam a teoria do flogisto e os que compartilhavam das ideias seguidas por Lavoisier eram muito diferentes. No entanto, a teoria do flogisto não era uma teoria dos alquimistas, mas uma ideia central do pensamento químico (Alfonso-Goldfarb, 2001). Isso porque “grande parte das pessoas que desenvolviam atividades que hoje seriam enquadradas na área da química utilizavam [...] [a teoria do flogisto] para explicar o que acontecia em seus laboratórios (Alfonso-Goldfarb *et al.*, 2016). Na segunda metade do século XVIII, período abordado nesta discussão, a Química já estava muito bem caracterizada como um empreendimento distinto da alquimia (Alfonso-Goldfarb, 2001). Essa distinção rompe com a visão continuísta de que a Química seja uma derivação da Alquimia, conforme discutido por Alfonso-Goldfarb e colaboradores (2016, p. 9-10; *grifo nosso*):

Estudar e refletir sobre a matéria e suas transformações envolve a realização de operações práticas sobre os materiais. Em química, o refletir sobre a composição, as propriedades e as transformações da matéria geralmente ocorre juntamente com o operar a matéria. Nesse sentido, pode-se dizer que uma

característica particular da química é essa forma de “pensar com as mãos”.

Entretanto, essa forma de pensamento já se observava há muito tempo, entre os pensadores que se voltavam a estudar e explicar a composição da matéria e suas relações com o universo. Porém, vivendo em outras épocas e, portanto, tendo por base visões de mundo muito diferentes da nossa, esses pensadores não podem ser considerados químicos, no sentido atual da palavra. Foram magos, alquimistas, médicos e filósofos naturais que também “pensavam com as mãos”, mas com propósitos bastante diversos dos químicos de hoje.

Karl Wilhelm Scheele pode ter sido o primeiro a observar o oxigênio quando aqueceu óxido de manganês com ácido sulfúrico concentrado. Isso pode ter ocorrido três anos antes de Joseph Priestley ou Lavoisier fazerem observações semelhantes (Cassebaum e Schufle, 1975). A decomposição térmica de óxido de mercúrio levou a obtenção de “um ar respirável” (no caso o oxigênio), que sustentava a combustão e era muito melhor para os organismos vivos do que

o “ar comum” (mistura de gases presentes na atmosfera). Para Priestley, esse “ar respirável” era “ar desflogisticado”, ou seja, “ar ordinário” isento de flogisto. Para Lavoisier, esse gás era “oxigênio” que combinava com materiais submetidos a combustão ou calcinação (Allchin, 1997). A explicação de Lavoisier para a combustão, como uma reação com o oxigênio,

foi considerada, no longo prazo, mais satisfatória que todas as outras usando flogisto. Para Lavoisier, o metal não era composto por flogisto, e o minério seria uma combinação entre o metal e o oxigênio. Decidir entre essas ideias envolvia a observação e a interpretação do comportamento de vários “ares” sob diferentes condições químicas e biológicas. As explicações de Lavoisier, por meio do gás oxigênio, reforçaram observações que já haviam sido feitas e publicadas no século XVII sobre as substâncias ganharem massa quando calcinadas. Esse ganho de massa era contraditório para os adeptos da teoria do flogisto, já que, para eles, na combustão e na calcinação as substâncias estariam perdendo flogisto. Labinger e Weininger (2005) afirmam que essa descoberta teria forçado os adeptos do flogisto a defenderem que o mesmo possuía peso negativo, o que não convenceu a todos. No entanto, Chang (2010) argumenta que é um equívoco assumir que adeptos da teoria do flogisto apenas desconsideraram as evidências, ou que eles simplesmente usaram a ideia do peso negativo do flogisto. Não pretendemos aprofundar essa discussão, mas sugerimos os trabalhos de Pyle (2000) e Chang (2010).

Embora os objetivos e concepções fossem diferentes, conforme já discutido anteriormente, a divergência entre as

As concepções e objetivos daqueles que defendiam a teoria do flogisto e os que compartilhavam das ideias seguidas por Lavoisier eram muito diferentes. No entanto, a teoria do flogisto não era uma teoria dos alquimistas, mas uma ideia central do pensamento químico (Alfonso-Goldfarb, 2001).

ideias contribuí para o desenvolvimento dos diversos campos do conhecimento. De acordo com Duschl e Osborne (2002), a racionalidade da Ciência está fundamentada na habilidade de construir argumentos persuasivos e convincentes que justificam as teorias explicativas para os dados observados. A argumentação tem um papel central na Ciência, indicando que os avanços são conquistados, principalmente, pelo conflito de ideias (Duschl e Osborne, 2002).

A teoria do oxigênio

Os resultados de Davy com HCl e Cl₂ provocaram a preocupação de que pudesse ocorrer o retorno da teoria do flogisto. No entanto, a presença do oxigênio na combustão, a reforma da nomenclatura química e outros pilares da Revolução Química propiciaram a manutenção da teoria do oxigênio (Labinger e Weininger, 2005). Isso porque o conhecimento é negociado dentro de uma comunidade de cientistas por uma interação complexa de argumentos, evidências, e, também, na interpretação de cada um. Isso implica que a Ciência não é, totalmente, independente da sociedade em que está localizada. Os critérios de julgamento incluem fatores externos à lógica pura e adequação empírica, incluindo os fatores sociais, econômicos, políticos, morais e éticos que afetam os tomadores de decisão. Considerando que a Ciência é uma atividade comunitária e que as ideias particulares de cada cientista só são aceitas como conhecimento científico quando se obtém consenso nessa comunidade de cientistas, pressupõe-se que muitas das questões sociológicas, psicológicas, políticas e econômicas que influenciam cada cientista poderiam, de diferentes formas, influenciar as decisões dessa comunidade (Hodson, 1998).

Nas últimas duas décadas do século XVIII, os adeptos do flogisto forneciam apenas explicações dos resultados conhecidos, enquanto Lavoisier e os que concordavam com a teoria do oxigênio foram capazes de prever fenômenos ainda desconhecidos (Labinger e Weininger, 2005). A teoria do flogisto foi perdendo espaço nas décadas seguintes, mesmo com a dificuldade de Lavoisier em explicar adequadamente os aspectos do calor, luz e combustibilidade.

Os adeptos do flogisto criticaram essa dificuldade de Lavoisier, enfatizando os pontos fortes correspondentes ao conceito inicial do flogisto. Assim, muitos poderiam aceitar a descoberta do oxigênio, mantendo o conceito inicial do flogisto – por exemplo, para explicar o calor e a luz do fogo (Allchin, 1997; p.475; *tradução nossa*).

O processo de negação de uma teoria não implica, necessariamente, no abandono das teorias anteriores. O que pode ocorrer é uma reordenação dessas teorias, indo além de seus

pressupostos pela introdução de uma nova (Lopes, 1996).

Tanto no sistema original de Lavoisier (que definia ácidos em termos da quantidade de oxigênio) quanto em sua elaboração eletroquímica, efetuada posteriormente por Jöns Jacob Berzelius, os óxidos de não metais foram pensados como sendo ácidos e os de metais como bases. Nas reações entre eles se formariam os sais. Usando uma versão modernizada das fórmulas dualistas de Berzelius, percebe-se que a diferença entre sulfito de cálcio – $\text{CaO} \cdot \text{SO}_2 = \text{CaSO}_3$ – e sulfato de cálcio – $\text{CaO} \cdot \text{SO}_3 = \text{CaSO}_4$ – está no aumento da oxidação do átomo de enxofre no componente de óxido ácido, ao passo que a diferença entre sulfato ferroso – $\text{FeO} \cdot \text{SO}_3 = \text{FeSO}_4$ – e sulfato férrico – $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SO}_3 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ – estaria na oxidação adicional do átomo de ferro no componente de óxido básico. Isso significa que o aumento de oxigênio, seja no óxido básico ou seja no ácido, levaria à oxidação, e o inverso, à redução. De acordo com Lavoisier, o oxigênio também seria fundamental para se compreender a composição dos sais (Jensen, 2007).

O erro é comum na prática científica, e quando não cometido por práticas de má conduta na pesquisa científica (falsificação de dados, por exemplo) não ameaça nem a

busca de conhecimento confiável nem os fundamentos epistêmicos da Ciência. Esse erro devidamente documentado é uma forma de conhecimento, que pode até orientar produtivamente outras pesquisas (Allchin, 2001). Lopes (1996), discutindo as contribuições fundamentais da epistemologia his-

tórica de Gaston Bachelard, afirma que, com esse filósofo, “o erro passa a assumir uma função positiva na gênese do saber e a própria questão da verdade se modifica” (p. 252). O erro é percebido como necessário na Ciência, visto que o conhecimento científico só se constroi pela retificação desses erros (Lopes, 1996). Se, ao longo do desenvolvimento dos conceitos científicos, os próprios cientistas cometeram erros, seria incoerente menosprezar os estudantes pelos erros cometidos na aprendizagem dos conceitos científicos. Nesse sentido, conforme afirma Capecchi (2013, p. 25), “é preciso que [os estudantes] tenham oportunidade de errar, não se atendo apenas a tentativas desprovidas de reflexão, mas, avaliando suas ações e formas de interpretação que levam a erros e acertos”.

O sentido original do termo oxidação estaria relacionado à reação com oxigênio. Já a redução estaria relacionada à extração de um metal de seu óxido pela reação com hidrogênio, carbono ou monóxido de carbono (Mainz, 2015). As descobertas de Davy e outros pesquisadores sobre sais que não continham oxigênio (sais de haletos, formados a partir de hidrácidos) propiciaram o questionamento das ideias de Lavoisier, de que o oxigênio formava o “laço de união” comum em todos os sais, conforme discutido anteriormente. No entanto, apesar dessas descobertas, os termos oxidação e redução continuaram sendo aplicados mesmo para reações de

O processo de negação de uma teoria não implica, necessariamente, no abandono das teorias anteriores. O que pode ocorrer é uma reordenação dessas teorias, indo além de seus pressupostos pela introdução de uma nova (Lopes, 1996).

saís e outros compostos que não continham oxigênio (Lopes, 1996). Isso vai ao encontro do que já foi discutido sobre o significado do conceito poder mudar, ou ser ampliado, mas o nome permanecer o mesmo (Schmidt, 2000). Assim, em 1884, o químico britânico Matthew Moncrieff Pattison Muir afirmou que o significado do termo oxidação já tinha sido consideravelmente alargado. Escrevendo mais de vinte anos depois, os químicos britânicos Robert Martin Caven e George Druce Lander chegaram às seguintes definições: na oxidação, ocorreria a adição de oxigênio, a adição de um átomo mais eletronegativo, ou a remoção de um átomo de hidrogênio; na redução ocorreria o inverso, ou seja, a remoção de oxigênio, a adição de átomo mais eletropositivo, ou a adição de hidrogênio (Lopes, 1996).

A teoria eletrônica

Enquanto isso, no campo da eletroquímica, os defensores da nova teoria iônica de dissociação começaram a forjar uma relação entre a oxidação e redução e as mudanças em cargas iônicas líquidas. Em 1893, Friedrich Wilhelm Ostwald observou que, fundamentalmente, os processos de oxidação e redução em eletrólitos (soluções formadas por íons) consistem na aquisição ou na liberação de cargas iônicas; os oxidantes são aquelas substâncias que adquirem cargas negativas ou liberam as positivas, os redutores são aqueles para os quais o oposto acontece (Jensen, 2007). Assim, o agente oxidante é a espécie que provoca a oxidação, ou seja, o que se reduz, adquirindo carga negativa ou liberando carga positiva. E o agente redutor é a espécie que provoca a redução, ou seja, o que se oxida, adquirindo carga positiva ou liberando carga negativa.

Com o desenvolvimento da teoria eletrônica de ligação no século XX, Caven e Lander, em 1907, definiram que a oxidação ocorre com um aumento da “valência ativa” do átomo central. Joel Henry Hildebrand, em 1918, escreveu que o termo oxidação é aplicado quando a “valência” assume um valor positivo. No processo oposto, de diminuição de “valência”, ocorreria a redução. Harry Shipley Fry veio a concluir, em 1915, que o desenvolvimento de uma “valência” positiva por um átomo, devido à perda de um elétron, corresponde à oxidação. Já o desenvolvimento de uma “valência” negativa, devido ao ganho de um elétron, corresponde à redução. Assim, na oxidação ocorreria um aumento da “valência ativa”, que levaria a um valor positivo ocasionado pela perda de elétron. Na redução ocorreria uma diminuição da “valência ativa”, que levaria a um valor negativo ocasionado pelo ganho de elétron (Jensen, 2007). Assim, os conceitos de oxidação e redução foram relacionados com a perda e o ganho de elétrons. Note-se que, atualmente, o termo “valência ativa” foi substituído por “número de oxidação” (Nox).

Em 1907, H. P. Talbot e A. A. Blanchard fizeram referência aos vários “estados de oxidação” de um elemento, mas usaram a palavra “valência” para descrever sua caracterização numérica, enquanto Hildebrand preferia o termo “número de valência”. Em 1913, G. Branch e W. C. Bray

sugeriram o uso do termo “número polar” e, em 1938, W. M. Latimer introduziu os termos “número de oxidação” ou “estado de oxidação”, juntamente com o termo paralelo “potencial de oxidação”. Embora houvesse controvérsia sobre a definição de oxidação e redução, por perda e ganho de elétrons, respectivamente, a literatura de Educação Química do século XX foi caracterizada pelo debate considerável sobre as duas questões relacionadas a: i) como seria a atribuição de números de oxidação e ii) como esses números seriam utilizados em equações redox (Jensen, 2007).

Em seu livro de 1835, *Unorganische Chemie*, Wöhler menciona a expressão “oxidationsstufe”, que pode ser traduzida por estado de oxidação. A expressão “número de oxidação” é comumente usada no contexto do balanceamento de equações redox. De acordo com a definição para o número de oxidação no *Livro de Ouro* da IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry* – União Internacional de Química Pura e Aplicada), o número de oxidação é definido como um algoritmo para determinar o estado de oxidação de um átomo central. São estabelecidos um conjunto de regras de estados de oxidação postulados para oxigênio e hidrogênio, principalmente, com algumas exceções, como, por exemplo (Karen, 2015):

1. Os átomos em uma substância simples possuem estado de oxidação 0.
2. A soma dos estados de oxidação de átomos em um composto neutro é 0.
3. Átomos de flúor em compostos possuem o estado de oxidação 1-.
4. Átomos de metais alcalinos em compostos possuem estado de oxidação 1+ e os metais alcalinos terrosos 2+.
5. Átomos de hidrogênio em compostos possuem o estado de oxidação 1+.
6. Átomos de oxigênio em compostos possuem o estado de oxidação 2-.

A definição de estado de oxidação ainda tem gerado debates. Em 2009, iniciou-se um projeto intitulado “Rumo à definição abrangente de estado de oxidação”, liderado por Pavel Karen, cujos resultados foram publicados em um extenso relatório técnico (Karen *et al.*, 2014; Karen, 2015). Em 2016, Karen e colaboradores (2016) publicaram um artigo intitulado “Definição abrangente do estado de oxidação (Recomendações IUPAC 2016)”, definindo estado de oxidação, apresentando e discutindo dois algoritmos para a sua determinação. Para Karen e colaboradores (2016), o estado de oxidação fornece o grau de oxidação de um átomo em termos de contagem de elétrons. Em uma nota de rodapé, esses autores ressaltam que o número de oxidação, termo alternativo e usado como sinônimo de estado de oxidação, pode ser utilizado quando o valor representa um mero parâmetro ou número. Já o estado de oxidação é um termo mais amplo que está relacionado à sistemática química ou a um estado do átomo em um composto químico (Karen *et al.*, 2016).

Podemos perceber que a Ciência é “viva”, visto que o conhecimento que se tem hoje ainda pode estar sujeito a

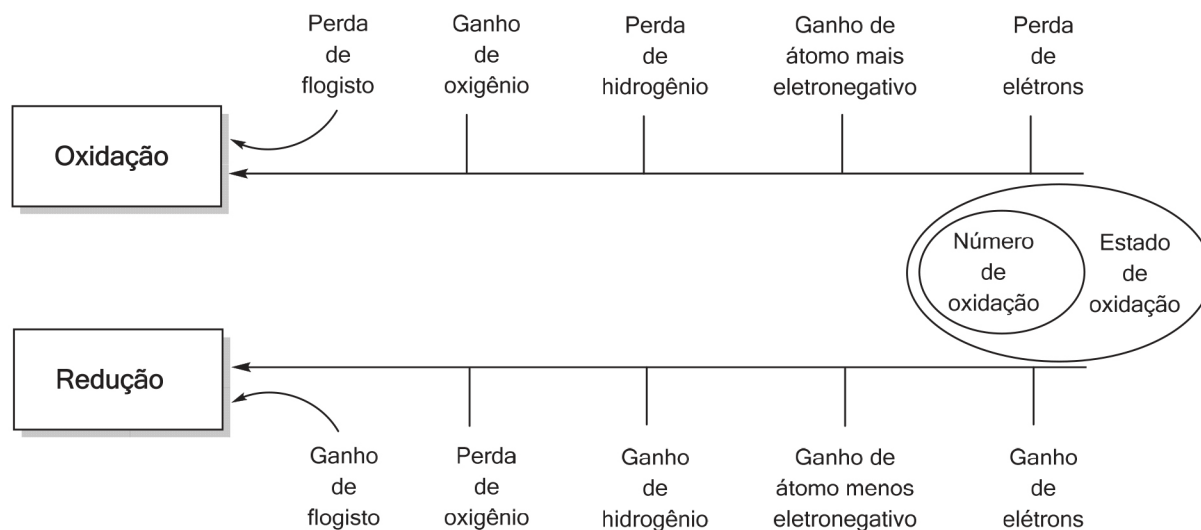


Figura 1: Apresentação e articulação dos diferentes significados para os conceitos de oxidação e redução. Fonte: os autores.

modificação (Nascimento, 2013). Além disso, os conhecimentos científicos não são produzidos por “gênios” isolados, sendo que o que ocorre é um trabalho coletivo e cooperativo entre diferentes equipes de cientistas: as ideias de um cientista ou de uma equipe não são suficientes para verificá-las, refutá-las ou validá-las (Gil-Pérez *et al.*, 2001).

Considerações Finais

Compreender a teoria do flogisto pode ser importante, apesar das críticas, para explorar concepções de oxidação e redução em um nível introdutório para a Educação em Química (Allchin, 1997). Diferentes significados de oxidação e redução podem ser apropriados em diferentes contextos de ensino, mas para isso os estudantes precisam conhecê-los e perceber que há uma articulação entre eles, conforme esquematizado na Figura 1.

As setas específicas para o ganho e perda do flogisto significam que o panorama conceitual dessa teoria é diferente daquele em que os conceitos de oxidação e redução em termos de oxigênio ou de elétrons foram desenvolvidos. No entanto, a discussão dessa relação da teoria do flogisto com os conceitos de oxidação e redução pode ser interessante para a abordagem de algumas características da história da ciência. Além disso, enriquece a articulação entre os diferentes significados. O número de oxidação que provém da discussão em torno da perda e ganho de elétrons, e que

representa um valor, se insere no conceito de estado de oxidação, que é mais amplo e está relacionado a um estado do átomo em um composto químico. O presente trabalho não apresenta um método de como os professores devam ensinar os conceitos de oxidação e redução, mas uma discussão para a reflexão sobre a articulação entre os diferentes significados para esses conceitos.

Certamente, a definição em termos de perda de elétrons ou de átomos de hidrogênio, ou de ganho de átomos de oxigênio, pode ser conveniente em alguns casos, mas em outros não (Silverstein, 2011). A apresentação, exploração e articulação desses significados favorece o processo de ensino e aprendizagem no qual os conceitos de oxidação e redução são problematizados. Essa abordagem pode favorecer também a exploração de aspectos da natureza da ciência dentro da sala de aula.

Camila Rosa Dias de Oliva (mila-oliva@outlook.com), licenciada em Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), leciona na Escola Excelência. Bocaiúva, MG – BR. **Amary César Ferreira** (yrira@ufmg.br), bacharel em Química pela UFMG, doutor em Físico-Química pela Uppsala Universitet, Suécia, e professor do Departamento de Química da UFMG. Belo Horizonte, MG – BR. **Simone de Fátima Barbosa Tófani** (simonephjv@gmail.com), bacharel em Química pela UFMG, doutora em Química Analítica pela UFMG, e professora do Departamento de Química da UFMG. Belo Horizonte, MG – BR. **Fernando César Silva** (fcsquimico@yahoo.com.br), licenciado em Química pela Universidade de Itaúna, doutor em Química pela UFMG, e professor da Faculdade de Educação da UFMG. Belo Horizonte, MG – BR.

Referências

- ALFONSO-GOLDFARB, A. M. *Da alquimia à química*. 2ª ed. São Paulo: Landy, 2001.
- ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; FERRAZ, M. H. M.; BELTRAN, M. H. R.; PORTO, P. A. *Percursos de História da Química*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.
- ALLCHIN, D. Rekindling Phlogiston: From Classroom Case Study to Interdisciplinary Relationships. *Science & Education*, v. 6, p. 473-509, 1997.

ALLCHIN, D. Error Types. *Perspectives on Science*, v.9, p. 38-59, 2001.

CAPECCHI, M. C. V. M. Problematização no ensino de Ciências. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). *Ensino de Ciências por Investigação: condições para implementação em sala de aula*. São Paulo: Cengage Learning, 2013. p. 21-39.

CASSEBAUM, H.; SCHUFLE, J. A. Scheele's Priority for Discovery of Oxygen. *Journal of Chemical Education*, v. 52, n. 7, p. 442-444, 1975.

CHANG, H. The Hidden History of Phlogiston: How

Philosophical Failure Can Generate Historiographical Refinement. *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry*, v. 16, n. 2, p. 47-79, 2010.

DUSCHL, R. A.; OSBORNE. Supporting and Promotion Argumentation Discourse in Science Education. *Studies in Science Education*, v. 38, p. 39-72, 2002.

FEIFER, N. Phlogiston revisited: chemical theories, new and old. *Science Education*, v. 48, n. 5, p. 460-467, 1964.

GIL-PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

HARRISON, A. G.; TREAGUST, D. F. A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, v. 22, n. 9, p. 1011-1026, 2000.

HODSON, D. *Teaching and learning science: towards a personalized approach*. Berkshire: Open University Press, 1998.

JENSEN, W. B. The Origin of the Oxidation-State Concept. *Journal of Chemical Education*, v. 84, n. 9, p. 1418-1419, 2007.

LABINGER, J. A.; WEININGER, S. J. Controversy in Chemistry: How Do You Prove a Negative? – The Cases of Phlogiston and Cold Fusion. *Angewandte Chemie International Edition*, v. 44, p. 1916-1922, 2005.

LOPES, A. R. C. Bachelard: o filósofo da desilusão. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 13, n. 3, p. 248-273, 1996.

KAREN, P.; MCARDLE, P.; TAKATS, J. Toward a comprehensive definition of oxidation state (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, v. 86, n. 6, p. 1017-1081, 2014.

KAREN, P. Oxidation State, A Long-Standing Issue! *Angewandte Chemie International Edition*, v. 54, p. 2-13, 2015.

MAINZ, V. The Metals of Antiquity and Their Alloys. In: RASMUSSEN, S. C. (Ed.). *Chemical Technology in Antiquity*. Washington, DC: American Chemical Society Symposium Series, 2015. p.139-179.

NASCIMENTO, V. B. Sobre a natureza da Ciência e o ensino. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). *Ensino de Ciências por*

Investigação: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013. p. 111-128.

ÖSTERLUND, L.-L.; BERG, A.; EKBORG, M. Redox models in chemistry textbooks for the upper secondary school: friend or foe? *Chemistry Education Research and Practice*, v. 11, n. 3, p. 182-192, 2010.

PYLE, A. The Rationality of the Chemical Revolution. In: NOLA, R.; SANKEY, H. (Eds.). *After Popper, Kuhn and Feyerabend*. Australasian Studies in History and Philosophy of Science, vol 15. Dordrecht: Springer, 2000. p. 99-124.

SCHMIDT, H.-J. Should chemistry lessons be more intellectually challenging? *Chemistry Education Research and Practice*, v. 1, n. 1, p. 17-26, 2000.

SILVERSTEIN, T. P. Oxidation and Reduction: Too Many Definitions? *Journal of Chemical Education*, v. 88, n. 3, p. 279-281, 2011.

TABER, K. Epistemic relevance and learning Chemistry in an academic context. In: EILKS, I.; HOFSTEIN, A. (Eds.). *Relevant Chemistry Education: From Theory to Practice*. Rotterdam: Sense Publishers, 2015. p. 79-100.

Para saber mais

Discussão sobre a teoria do flogisto: ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; FERRAZ, M. H. M.; BELTRAN, M. H. R.; PORTO, P. A. *Percursos de História da Química*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

Discussão sobre a construção do conceito de valência: Nogueira, H. S. A.; Porto, P. A. Entre tipos e radicais: a construção do conceito de valência. *Química Nova*, v. 42, n. 1; p. 117-127, 2019.

Discussão sobre o peso negativo do flogisto: CHANG, H. The Hidden History of Phlogiston: How Philosophical Failure Can Generate Historiographical Refinement. *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry*, v. 16, n. 2, p. 47-79, 2010.

Abstract: *Exploring the concepts of oxidation and reduction from some characteristics of the history of science.* The concepts of oxidation and reduction are a source of several difficulties for students. For example, in some cases the oxidation is related to the gain of something and, in others, to a loss. This opposition in regard to the same process makes the students memorize rules rather than exploring the reasons for it. Considering this complexity, we seek to discuss the different meanings of these concepts by showing their connections to the phlogiston theory. The development of the text is based on the studies of Douglas Allchin, recent texts on the concepts of oxidation and reduction, and studies of History of Science for Education. From these sources, we propose some considerations for the teaching of the concepts of oxidation and reduction: i) addressing some characteristics of the context in which the concepts emerged and ii) presenting the different meanings given to these concepts and the articulation among them. Thus, we understand that we may contribute to the minimization of learning difficulties presented by students, by proposing to develop knowledge, articulation and understanding of the different meanings for the concepts of oxidation and reduction.

Keywords: chemical education, oxidation and reduction, high school.