

<https://doi.org/10.56117/ReSBEEnQ.2024.v5.e052413>

Problemas Ontológicos dos Conceitos Químicos: uma revisão bibliográfica

Ontological Problems of Chemical Concepts: A Bibliographic Review

Problemas Ontológicos de los Conceptos Químicos: una Revisión Bibliográfica

Samuell de Queiroz Vilas Boas Santos (samuellqueirozzz@gmail.com)

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

<https://orcid.org/0009-0003-7342-6774>

Resumo

Um dos temas investigados pela filosofia da química é o estudo dos fundamentos ontológicos dos conceitos químicos. Questões como a estrutura conceitual, a mereologia, o reducionismo e a natureza das substâncias são centrais nesse campo. Nessa perspectiva, com o objetivo de realizar um panorama geral desse campo, foi conduzida uma pesquisa de natureza bibliográfica, destinada a identificar os principais problemas ontológicos na química e suas implicações na educação química. A filosofia da química constituiu o objeto de pesquisa, concentrando-se em duas das principais revistas acadêmicas especializadas: *Hyle* e *Foundations of Chemistry*. Autores influentes, como Eric Scerri e Vanessa Seifert, exploram abordagens variadas, que vão desde interpretações estruturalistas até visões mais dinâmicas dos processos químicos. A discussão sobre a mereologia destaca-se ao examinar as relações parte-todo nos sistemas químicos, enfatizando as propriedades emergentes que surgem das interações complexas entre componentes químicos. O debate sobre o reducionismo na filosofia da química oscila entre a integração completa da química aos princípios físicos fundamentais e a defesa da autonomia ontológica da química enquanto disciplina. Esse debate é crucial para compreender como os níveis de explicação na química se relacionam com outras ciências naturais e se as propriedades químicas podem ser completamente reduzidas a leis físicas mais fundamentais. A definição de substância química emerge como um ponto crítico na filosofia da química, influenciada por diferentes perspectivas epistemológicas que moldam nossa concepção sobre as entidades químicas individuais e suas propriedades distintivas. Esse aspecto reflete a interação entre teorias científicas e conceitos filosóficos subjacentes, que fundamentam nossa compreensão das entidades químicas no mundo natural. A filosofia do processo na química enfatiza a dinâmica e a temporalidade dos fenômenos químicos,



Este texto é licenciado pela [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

ressaltando o papel do contexto e das condições ambientais na determinação das transformações químicas. Essa abordagem evidencia que os processos químicos não são apenas estáticos, mas também evolutivos, dependendo de uma série de fatores contextuais que influenciam suas dinâmicas.

Palavras-chave: 1. Ontologia 2. Filosofia da Química 3. Educação Química

Abstract

One of the topics investigated by the philosophy of chemistry is the ontological foundations of chemical concepts. Issues such as conceptual structure, mereology, reductionism, and the nature of substances are central to this field. From this perspective, in order to provide a general overview of the field, a bibliographic research was conducted with the aim of identifying the main ontological problems in chemistry and their implications for chemical education. The philosophy of chemistry was the subject of research, with the investigation focusing on two of the main specialized academic journals, *Hyle* and *Foundations of Chemistry*. Influential authors such as Eric Scerri and Vanessa Seifert explore various approaches, ranging from structuralist interpretations to more dynamic views of chemical processes. The discussion on mereology stands out by examining the part-whole relationships in chemical systems, emphasizing the emergent properties that arise from complex interactions between chemical components. The debate on reductionism in the philosophy of chemistry oscillates between the complete integration of chemistry into fundamental physical principles and the defense of the ontological autonomy of chemistry as a discipline. This debate is crucial for understanding how levels of explanation in chemistry relate to other natural sciences and whether chemical properties can be fully reduced to more fundamental physical laws. The definition of a chemical substance emerges as a critical point in the philosophy of chemistry, influenced by different epistemological perspectives that shape how we conceive individual chemical entities and their distinctive properties. This aspect reflects the interaction between scientific theories and underlying philosophical concepts that shape our understanding of chemical entities in the natural world. The process philosophy in chemistry emphasizes the dynamics and temporality of chemical phenomena, highlighting the role of context and environmental conditions in determining chemical transformations. This approach underscores how chemical processes are not merely static but also evolutionary and dependent on a series of contextual factors that influence their dynamics.

Keywords: 1. Ontology 2. Philosophy of Chemistry 3. Chemistry Education

Resumen

La filosofía de la química investiga los fundamentos ontológicos de los conceptos químicos. Cuestiones como la estructura conceptual, la mereología, el reduccionismo y la naturaleza de las sustancias son centrales en este campo. Desde esta perspectiva, con el fin de realizar un panorama general de este campo, se llevó a cabo una investigación de tipo bibliográfico, con el objetivo de identificar los principales problemas ontológicos en la química y sus implicaciones en la educación química. La filosofía de la química fue el objeto de investigación, y la investigación se centró en dos de las principales revistas académicas especializadas, *Hyle* y *Foundations of Chemistry*. Autores influyentes como Eric Scerri y Vanessa Seifert exploran enfoques variados, desde interpretaciones estructuralistas hasta visiones más dinámicas de los procesos químicos. La discusión sobre la mereología se destaca al examinar las relaciones parte-todo en los sistemas químicos, enfatizando las propiedades emergentes que surgen de interacciones complejas entre componentes químicos. El debate sobre el reduccionismo en la filosofía de la química oscila entre la integración completa de la química en los principios físicos fundamentales y la defensa de la autonomía ontológica de la química como disciplina. Este debate es crucial para comprender cómo los niveles de explicación en la química se relacionan con otras ciencias naturales y si las propiedades químicas pueden reducirse completamente a leyes físicas más fundamentales. La definición de sustancia química emerge como un punto crítico en la filosofía de la química, influenciada por diferentes perspectivas epistemológicas que moldean cómo concebimos las entidades químicas individuales y sus propiedades distintivas. Este aspecto refleja la interacción entre teorías científicas y conceptos filosóficos subyacentes que moldean nuestra comprensión de las entidades químicas en el mundo natural. La filosofía del proceso en la química enfatiza la dinámica y la temporalidad de los fenómenos químicos, resaltando el papel del contexto y de las condiciones ambientales en la determinación de las transformaciones químicas. Este enfoque destaca cómo los procesos químicos no son solo estáticos, sino también evolutivos y dependientes de una serie de factores contextuales que influyen en sus dinámicas.

Palabras clave: 1. Ontología 2. Filosofía de la Química 3. Educación química

Introdução

A pergunta orientadora que guiou esta pesquisa é a seguinte: Qual é a natureza ontológica dos conceitos químicos, e como estes se relacionam dentro da estrutura conceitual da química e da educação química? De acordo com Oliveira (2022), a aprendizagem de conceitos emerge como o segundo tema mais explorado nas pesquisas em Ensino de Química no Brasil. Tendo em vista essa assertiva, no contexto do ensino, o

estudo dos conceitos é parte fundamental. Contudo, uma investigação exploratória conduzida no portal de periódicos da CAPES revela uma lacuna significativa: a análise da estrutura ontológica dos conceitos químicos está notavelmente ausente nas pesquisas relacionadas ao segundo tema mais investigado na literatura sobre o ensino de química. Isso nos impõe uma reflexão importante: como o principal instrumento de compreensão da natureza dos conceitos, fundamentos e dos principais problemas do conhecimento químico pode possuir uma invisibilidade tão marcante?

A ontologia é o ramo da filosofia que se concentra no estudo do ser e da existência (Heidegger, 1927). É a ferramenta filosófica capaz de analisar a essência última que define um objeto, isto é, um estudo sobre qual característica essencial define um ser (Smith, 2004). Nesse sentido, a ontologia pode contribuir significativamente para o estudo das coisas, considerando que estas são entidades que fazem parte da realidade e que podem ser analisadas sob diferentes perspectivas ontológicas (Hafidh, 2019).

Deve-se ressaltar que o estudo ontológico dos conceitos químicos é legítimo, pois é possível aceitar a autonomia ontológica do mundo químico (Lombardi; Labarca, 2005, p. 2). Na química, a ausência, a priori, de um estudo ontológico gerou lacunas retroativas, que também afetam o ensino dessa ciência como um todo. Até onde se sabe, não foram feitas tentativas para desenvolver uma ontologia química formal (Feldman, 2005, p. 10). Por conta disso, não há concordância acerca de conceitos químicos fundamentais. Segundo Brakel (2014, p. 8): “Embora a química frequentemente tenha sido descrita como o estudo da transformação de substâncias, não há uma definição geralmente aceita de substância (química).” Ribeiro (2014) ressaltou em sua pesquisa que a literatura de filosofia da química tem explorado a interseção entre ontologia e química. Sua análise revelou que os conceitos químicos têm raízes em diferentes ontologias e são contextualizados em diversas epistemologias.

Para contextualizar essa investigação no campo da educação, é relevante destacar que vários pesquisadores enfatizam a importância de que a educação em ciências, especialmente no campo das ciências naturais, como a química, se apoie em uma fundamentação teórico-filosófica atualizada, analisando aspectos ontológicos e epistemológicos das ciências (Segura, 1991; Izquierdo-Aymerich, 2003; Burbules e Linn,

1991). Assim, a articulação entre filosofia e educação torna-se uma questão central na investigação em educação química (Paixão; Cachapuz, 2003).

Partindo dessas premissas, esta pesquisa buscou realizar uma primeira aproximação à interface filosófica entre ontologia e conceitos químicos. Deve-se esclarecer que a proposta não é discutir um conceito específico; busca-se abordar o que está subjacente à ideia geral de conceito químico, isto é, ao estudo ontológico da química.

Princípios Metodológicos

Esta é uma pesquisa de revisão bibliográfica. Foram analisadas duas revistas especializadas em filosofia da química: Hyle e *Foundations of Chemistry*. A escolha dessas revistas foi motivada por serem consideradas os principais veículos de divulgação acadêmica na área de filosofia da química. Artigos sobre essa temática publicados em outras revistas não foram incluídos nesta análise. Utilizou-se o radical "ontolog*" na barra de pesquisa para localizar artigos contendo variações da palavra "ontologia", como "ontologias", "ontológico" e "ontológica".

A pesquisa não se restringiu a um intervalo específico de anos; ao contrário, buscou-se coletar todos os artigos já publicados que contivessem a palavra-chave. Isso se deve ao período de existência das revistas, sendo que Hyle começou a ser publicada em 1995 e *Foundations of Chemistry*, em 1999.

Concomitantemente, utilizou-se também o Portal de Periódicos da CAPES, analisando os trabalhos publicados no mesmo período. Nesta parte da pesquisa, além do marcador utilizado nas revistas dedicadas à filosofia da química, foram utilizados os marcadores *chemistry* e *education* ou *teaching*. Os marcadores em inglês foram empregados para aumentar a abrangência da pesquisa.

Como resultado da primeira parte da pesquisa, identificaram-se cerca de 200 artigos que possuíam em sua constituição a palavra "ontologia" e suas variações. Essas publicações foram encontradas em Hyle e *Foundations of Chemistry*. Deve-se ressaltar que, durante esse processo, ao longo de vários meses, a revista Hyle esteve fechada, o que afetou a quantidade de material de pesquisa disponível.

Os 200 trabalhos inicialmente identificados continham o termo "ontologia" em suas composições; no entanto, não abordavam diretamente questões ontológicas na química, enfocando outros temas em suas discussões. A amostra foi reduzida para 59 trabalhos que discutem diretamente os problemas ontológicos da química. A partir desse ponto, esses trabalhos foram analisados, e a categorização resultante é apresentada em um quadro nas seções seguintes.

Na segunda etapa da pesquisa, com o objetivo de conectar a discussão ao campo da educação química, foi realizada uma investigação no Portal de Periódicos da CAPES, que identificou 39 trabalhos, dos quais apenas 2 abordavam diretamente as implicações ontológicas na educação química. Além disso, para investigar a presença das temáticas discutidas na filosofia da química na produção de conhecimento em educação química, foi conduzida uma pesquisa a posteriori no banco de teses e dissertações da CAPES. O objetivo dessa investigação foi verificar se as temáticas discutidas na filosofia da química apresentam interface com a educação. Foram encontrados apenas 2 trabalhos de autoria de pesquisadores vinculados ao campo da educação química.

A metodologia utilizada no escrutínio dos trabalhos foi a análise temática. A análise temática é uma técnica de análise qualitativa que busca identificar, analisar e relatar padrões (temas) dentro de dados (Silva, 2020). Um tema representa uma ideia relevante para a questão de pesquisa e agrega significados comuns encontrados nos dados, organizando ideias que ajudam a responder ao problema investigado.

O processo de análise temática envolve várias etapas. Inicialmente, é necessário familiarizar-se com os dados, lendo e revisitando o material coletado. Em seguida, geram-se códigos iniciais, agrupando trechos de dados que possuem similaridades. Posteriormente, os códigos são organizados em temas mais amplos, que representam padrões significativos (Riessman, 2020). Esses temas são então revisados e refinados, garantindo que se relacionem adequadamente aos dados e à questão de pesquisa. Por fim, ocorre a definição e a nomeação dos temas, além da interpretação coesa dos dados analisados.

Principais Problemas Ontológicos discutidos pela Filosofia da Química

O quadro a seguir apresenta os resultados da pesquisa, destacando as principais temáticas abordadas em filosofia da química nas revistas analisadas. Foi realizada uma categorização emergente dos temas identificados nos textos relacionados à filosofia da química através da análise temática.

A categorização foi realizada com base na análise dos 59 artigos selecionados. Durante essa análise, foram identificados temas centrais recorrentes nos trabalhos. Os temas de maior frequência foram consolidados nas categorias apresentadas na primeira coluna. Nas segunda e terceira colunas encontram-se, respectivamente, os autores da filosofia da química e da educação química que discutem as temáticas referenciadas.

Quadro 1 - *Temas discutidos na filosofia da química e suas interfaces com a pesquisa em educação química*

Temas na Filosofia da Química	Autores da Filosofia da Química	Autores da Educação Química
Estrutura dos Conceitos	Sharlow (2006), Taber (2020), Chalmers (2011), Lombardi e Labarca (2005), e Vermulapalli e Byerly (1999).	Não foi encontrado.
Mereologia e Parte-Todo	Pierre-Llored (2010,2012), Prentner (2017), Harré e Pierre-Llored (2011), Sukumar (2013), Ochiai (2020) e Earley (2003).	Não foi encontrado.
Filosofia do Processo	Alassia (2023), Stein (2004,2006), Earley (2004,2008), Sukumar (2013), Friend (2020) e Vancik (2003).	Não foi encontrado.
Reduccionismo	Brakel (2014), Thomas (2012), Ruthenberg e Harré (2012), Gómez (2013), Newman (2008), Arriaga, Fortin e Lombardi (2019), Drago (2020), Miller (2023), Vihalemm (2011), Banchetti-Robino (2012), Manafu (2013), Sukumar (2020).	Pires (2023).
Substância	Harré (2008), Ghibaudi e Cerruti (2017), Earley (2005), Hendry (2012), Scerri (2012), Klein (2012).	Silva (2011).

Sharlow (2006), Taber (2020), Chalmers (2011), Lombardi e Labarca (2005), e Vermulapalli e Byerly (1999) discutem a formação de conceitos químicos, oferecendo perspectivas distintas. Nota-se que na filosofia da química existem diferentes abordagens para a origem dos conceitos químicos, gerando uma discussão que não possui um fundamento único.

Pierre-Llored (2010,2012), Prentner (2017), Harré e Pierre-Llored (2011), Sukumar (2013), Ochiai (2020) e Earley (2003) abordam a mereologia. Sendo um ramo da filosofia e da lógica, a mereologia está focada no estudo das relações entre as partes e o todo. Especificamente, analisa como as partes se relacionam entre si e como se integram para constituir o todo, investigando, assim, a estrutura das composições e as interações entre os componentes em diferentes níveis de agregação.

Neste resultado de pesquisa, observa-se uma diversidade de abordagens teóricas e metodológicas entre os autores, o que evidencia a necessidade de uma análise crítica acerca da aplicação da mereologia em diferentes contextos e disciplinas.

A filosofia do processo, explorada por Alassia (2023), Stein (2004,2006), Earley (2004,2008), Sukumar (2013), Friend (2020) e Vancik (2003), apresentam desafios inerentes. Sua natureza dinâmica e enfatizada no devir pode suscitar questões epistemológicas e ontológicas na química, a relação substância-processo é constantemente explorada, levantando a questão: a química se refere a substâncias ou a processos?

A construção do saber químico, conforme abordada por Brakel (2014), Thomas (2012), Ruthenberg e Harré (2012), Gómez (2013), Newman (2008), Arriaga, Fortin e Lombardi (2019), Drago (2020), Miller (2023), Vihalemm (2011), Banchetti-Robino (2012), Manafu (2013), Sukumar (2020), é influenciada por diversas formas de reducionismo. No entanto, a problematização surge ao considerar como essas abordagens reducionistas podem afetar a complexidade intrínseca dos fenômenos químicos, levantando questões sobre a precisão, integridade e adequação das explicações reducionistas diante da riqueza e interconexão dos processos químicos.

Harré (2008), Ghibaudi e Cerruti (2017), Earley (2005), Hendry (2012), Scerri (2012), Klein (2012) contribuem para a problematização da ideia de substância,

instigando a reflexão sobre sua definição. As questões fundamentais emergem: o que realmente constitui uma substância? O que é uma substância química?

Nos autores da educação química, encontra-se Rozentalski (2013), Pires (2023) e Silva (2011). Através desses dados, nota-se que as temáticas discutidas na filosofia da química ainda possuem pouca penetração nas discussões em educação química.

Reduccionismo na Química

Para Vihalemm (2010) a autonomia inerente à disciplina da química e a validade da filosofia da química são comumente examinadas no contexto da problemática da redução da química aos princípios da física, sendo suas defesas fundamentadas na inadequação das alegações reducionistas.

Até um período recente, uma perspectiva amplamente difundida argumentava, contudo, que o insucesso dessas alegações restringia-se essencialmente ao âmbito epistemológico da redução, enquanto a redução ontológica da química à física era considerada incontestável. O debate do reduccionismo na química envolve a redução epistêmica, ontológica e merológica (Miller, 2020).

Nessa perspectiva, de acordo com Gómez (2013), a química, então, seria vista como uma abordagem qualitativa e provisória, com sua nomenclatura servindo apenas como ferramenta prática. Para os reducionistas, os termos químicos não refletem a realidade material, mas são convenções úteis. Assim, a química seria uma contingência histórica, um substituto temporário da física.

Dentro do âmbito da química, o reduccionismo denota a concepção de que as propriedades e o comportamento de sistemas químicos podem ser plenamente elucidados e compreendidos mediante os princípios fundamentais da física subjacentes (Brakel, 2010). Essa abordagem sugere a possibilidade de reduzir a química à física, indicando que os conceitos e leis químicas podem ser, em última instância, derivados dos princípios fundamentais da física.

Apesar da dependência das propriedades químicas das físicas, isso não implica em uma redução completa, pois as propriedades químicas possuem uma realidade ontológica própria e não são meramente heurísticas (Newman, 2008). De forma semelhante, o reduccionismo químico ocorre também quando os fenômenos químicos são explicados

exclusivamente em termos das propriedades e interações de entidades fundamentais, como átomos e moléculas, sem considerar as propriedades emergentes ou holísticas que surgem do arranjo específico dessas entidades (Banchetti-Robino, 2012).

A exemplo, a redução da química pela física pode ser explicada pela relação da química molecular e a física quântica. Para Arriaga, Fortin e Lombardi (2019), a teoria quântica define átomos e ligações moleculares baseando-se na topologia da densidade eletrônica, identificando pontos críticos e superfícies de separação que delimitam regiões correspondentes a átomos individuais. Essa abordagem visa reconciliar a visão clássica das moléculas com a mecânica quântica. No entanto, certos conceitos topológicos usados não são totalmente compatíveis com todos os aspectos da química. De forma análoga, à medida que a compreensão da física e da química avança, os cientistas buscam desenvolver teorias unificadas que abranjam ambos os campos (Drago, 2020). Por exemplo, a teoria do campo de densidade eletrônica na química quântica une conceitos da física de partículas e da química para descrever a distribuição de elétrons em moléculas.

De acordo com Sukumar (2020) existem outras formas de reducionismo na química além do reducionismo físico. A química constantemente também é reduzida à biologia. As diferentes formas de reducionismo variam de acordo com o que se investiga.

Esta redução de algumas questões químicas à biologia não é necessariamente um retorno ao positivismo dos séculos anteriores. Alguns físicos, por exemplo, argumentam pela redução da questão mais fundamental não respondida na física, a saber, por que as constantes fundamentais em nosso universo têm os valores que têm, à evolução de seres inteligentes, e, portanto, à biologia—isto é conhecido como o princípio antrópico. (Sukumar, 2020, p.12).

Dialogando com Ruthenberg e Harré (2012) o reducionismo na filosofia da química questiona se a química quântica, como teoria subjacente universal, elimina um domínio químico autônomo. Propostas como a "química fenomenalista" de Benjamin Brodie buscam reduzir a química a mudanças observáveis. A superveniência é usada para explorar se a química pode ser totalmente reduzida à física ou se há fenômenos químicos autônomos. A discussão aborda a integração da química com a física fundamental e a existência de explicações químicas independentes.

Segundo Manafu (2012) o debate sobre reducionismo ontológico na química destaca as propostas de Lombardi e Labarca, usando o realismo interno para justificar a autonomia ontológica. Críticos como Needham e Vihalemm argumentam que tal

abordagem não é necessária. Vihalemm sugere o "realismo prático" como alternativa, enfatizando a singularidade dos métodos químicos. Needham apoia uma visão mais crítica da redução ontológica, evitando soluções drásticas. A nota crítica argumenta que o realismo interno sozinho não é suficiente, defendendo uma análise mais refinada das relações entre teorias químicas e físicas. Em suma, o debate destaca a complexidade na busca pela autonomia ontológica da química.

O problema compartilhado por todos os diferentes pontos de vista apontados é a questão do reducionismo na filosofia da química, especialmente no que diz respeito à possível redução da química aos princípios fundamentais da física ou da biologia. Há debates sobre a validade e extensão do reducionismo na química, com diferentes filósofos e teóricos apresentando perspectivas variadas sobre a autonomia da disciplina química em relação às outras ciências, especialmente a física.

Levando a discussão para o campo da educação química, foi encontrada uma única dissertação de mestrado de Diogo Pires, cujo título é *Fisicalismo Redutivo no Sistema Pedagógico da Química*. Pires (2023) realizou uma pesquisa bibliográfica para investigar a interface entre o reducionismo físico e a educação química. A seguir, estão apresentadas suas contribuições.

A relação entre a educação química e o reducionismo fisicalista se revela como um campo de investigação caracterizado por uma notável escassez de estudos que abordem essa temática, conforme evidenciado pelo levantamento realizado nos anais do Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ) e do Encontro Nacional de Pesquisa e Ensino de Ciências (ENPEC). Ao longo da última década, não foram identificados trabalhos que estabelecessem uma correlação entre o fisicalismo redutivo e a educação química, apesar de sua relevância ter sido discutida no âmbito da Filosofia da Química. Tal ausência de pesquisa sugere uma desarticulação entre a teoria e a prática pedagógica no domínio da química.

Ademais, a análise dos periódicos especializados corrobora a limitação no tratamento do reducionismo fisicalista enquanto objeto de estudo na educação química.

Essa lacuna na pesquisa pode ter impactos adversos na formação de professores e na compreensão dos alunos acerca dos conceitos químicos. A ausência de um diálogo efetivo entre a filosofia da química e a educação química ressalta a necessidade de

investigações futuras que busquem explorar essa interseção, permitindo que educadores desenvolvam práticas pedagógicas mais fundamentadas, capazes de promover uma reflexão crítica sobre as abordagens de ensino em química.

Mereologia e Parte Todo

Na perspectiva de Pierre-Llored (2010) um importante debate sobre o conceito de "propriedade" aborda a evolução do estudo das relações entre uma unidade caracterizada como um "todo" e suas partes identificadas como tais. Os conceitos de propriedades intrínsecas (que pertencem ao objeto estudado independentemente do restante do mundo) e propriedades extrínsecas ou relacionais, bem como propriedades resultantes ou cooperativas, são afetados por uma mudança epistemológica. A massa de um objeto na mecânica não relativista, a absorção óptica de um complexo hidratado de íons divalentes de cobre em luz monocromática ou na atividade óptica de uma solução de sacarose são exemplos de propriedades previsíveis do todo que surgem da simples combinação das propriedades de suas partes. As cooperativas ou emergentes são propriedades totais não redutíveis em relação às partes. Por exemplo, podem ser as propriedades químicas e espectroscópicas de certas moléculas em comparação com as propriedades dos átomos presentes nas fórmulas químicas que as identificam, ou o comportamento mereológico de uma mistura de polímeros em outro campo. Fundamenta-se em Earley (2003, p. 54).

A maioria dos filósofos ainda não reconheceu que, quando componentes entram em combinação química, esses componentes geralmente não mantêm a mesma identidade que teriam na ausência dessa combinação... As interações de tais percepções com o estudo filosófico de inteiros e partes (mereologia) estão em seus estágios iniciais. Seria útil desenvolver uma mereologia adequada para lidar com sistemas químicos, a fim de facilitar o progresso futuro no tratamento de outros problemas mais complexos.

A mereologia auxilia na análise e descrição da estrutura e composição de moléculas, íons e compostos, esclarecendo como os átomos se combinam para formar moléculas e estruturas maiores (Harré e Pierre-Llored, 2011). Ela também é útil para distinguir misturas de compostos: misturas contêm diferentes substâncias, enquanto compostos possuem arranjos específicos de átomos. A mereologia fornece uma estrutura conceitual para entender como as partes se conectam ao todo em sistemas químicos (Harré e Pierre-Llored, 2010).

Em contrapartida, Sukumar (2013) afirma que mereologia clássica é insuficiente, pois moléculas apresentam propriedades emergentes não redutíveis à soma de suas partes.

No entanto, a mereologia clássica falha para entidades estruturadas como moléculas, onde o todo não é apenas a soma de suas partes. Quando o todo é maior do que a soma mereológica de suas partes, falamos de emergência. (Sukumar, 2013, p.1)

A exemplo, embora o estudo mereológico (molecular) seja distante da realidade das moléculas. A análise mereológica sugere que a estrutura molecular é uma emergência contextual (Ochiai, 2020).

De outra, em Prentner (2017), o estudo mereológico aprimora a compreensão da estrutura e comportamento dos sistemas químicos, facilitando a análise da composição molecular e das relações entre suas partes. Ela oferece um quadro para estudar a estrutura de partes de sistemas materiais, permitindo que os químicos façam afirmações precisas sobre propriedades como afinidade, eletronegatividade e reatividade.

Observa-se que determinados autores do campo educacional realizam profícuas aproximações com o pensamento mereológico, destacando-se nesse contexto a contribuição teórica de Jean Piaget (1967), que amplamente trabalhou a ideia de que o conhecimento se estrutura em complexos sistemas cognitivos formados por unidades menores. Para Piaget, o processo de desenvolvimento cognitivo emergente resulta da interação entre essas partes constituintes, sendo o todo mais do que uma mera soma dessas partes. Tal perspectiva articula-se com a mereologia na medida em que ambos exploram como o conhecimento emerge a partir de um processo dialético, que envolve o movimento do entendimento fragmentado ao global, um conhecimento que, inicialmente segmentado, se desenvolve para uma compreensão emergente.

Também, Vygotsky critica a fragmentação do fenômeno psicológico em partes isoladas, que elimina a integridade e historicidade do desenvolvimento mental (Feitosa; Moraes; Júnior, 2022). Ele propõe a "unidade de análise", que retém as características essenciais do todo, em vez de elementos atomizados. No pensamento vygotskiano, essa abordagem mereológica aparece especialmente na relação entre pensamento e linguagem, com a palavra e seu significado servindo como a unidade mínima que integra o processo de pensamento verbalizado. O significado da palavra reflete tanto o mundo externo quanto o processo psicológico interno, sendo simultaneamente parte e totalidade.

Nesse sentido, a aplicação da mereologia na educação química propicia uma compreensão mais profunda das interrelações entre partes e todo, enfatizando que as propriedades emergentes das substâncias transcendem a mera soma de seus componentes. Tal abordagem não apenas estimula o desenvolvimento de habilidades de análise crítica, mas também permite que os alunos explorem as interações complexas e a identidade química das substâncias em diferentes contextos.

A Ideia de Substância Química

Através da pesquisa de Ghibaudi e Cerruti (2017) é possível notar as mudanças ontológicas do conceito de substâncias químicas em locais diversos, como laboratórios e depósitos de resíduos. Esta tarefa é desafiadora dada a consideração das substâncias químicas em ambientes sociais, onde as definições públicas podem diferir das acadêmicas.

Def1: Substância química: Matéria de composição constante melhor caracterizada pelas entidades (moléculas, unidades formais, átomos) das quais é composta. Propriedades físicas como densidade, índice de refração, condutividade elétrica, ponto de fusão etc. caracterizam a substância química (IUPAC 2014, p. 265). Como químicos, consideraríamos inaceitável tomar material de composições variáveis como uma substância química. No entanto, deve-se ter cautela ao desaprovar, porque a definição legal de substância química nos 27 Estados da União Europeia é a seguinte: Def2: Substância: um elemento químico e seus compostos no estado natural ou obtidos por qualquer processo de fabricação, incluindo qualquer aditivo necessário para preservar sua estabilidade e qualquer impureza derivada do processo utilizado, mas excluindo qualquer solvente que possa ser separado sem afetar a estabilidade da substância ou alterar sua composição (ECA 2011). (Ghibaudi e Cerruti, 2017, p.8)

Para designar ontologias separadas, essas definições usam o mesmo termo (substância). Sua comparação enfatiza a capacidade de identificar substância química em vários níveis materiais (macroscópico e microscópico); além disso, mostram a falta de concordância epistêmica.

É possível notar uma clara diferença entre as definições investigadas por Ghibaudi e Cerruti, i.e, noções fundamentais do que é uma substância química não demonstrando referência e compatibilidade em diferentes meios. Nota-se que parte da definição explicitada pela IUPAC sofre do reducionismo físico, onde os principais elementos que caracterizam uma substância química, são na realidade físicos (densidade, condutividade, ponto de fusão...). Já a segunda definição é focada na visão de substância química como processo, i.e, o que caracteriza uma substância é o processo utilizado. É possível notar

como as duas definições atravessam questões fundamentais da filosofia da química: como o reducionismo afeta o entendimento químico? A química se refere a substâncias ou a processos?

Já a definição de Harré (2008), no contexto da química, uma substância refere-se a um tipo específico de matéria que possui uma composição distinta e um conjunto de propriedades únicas. É uma unidade fundamental da matéria que não pode ser decomposta em componentes mais simples por meios físicos. Substâncias podem existir em diferentes estados (sólido, líquido, gasoso) e podem passar por reações químicas para formar novas substâncias. Exemplos de substâncias incluem elementos (como oxigênio e carbono), compostos (como água e sal) e misturas (como ar e água salgada).

É possível notar que a concepção de substância apontada por Harré transcende o mundo físico, i.e, a ideia de substância como unidade fundamental.

As diferentes concepções do que é uma substância química geram um pluralismo de conceitos que podem, ou não, ser referenciados a noção prática de substância do pesquisador. Segundo Hendry (2012) o pluralismo na compreensão dos conceitos químicos afeta como a linguagem científica se relaciona com outros tipos de linguagem. A defesa de uma perspectiva realista dos tipos químicos requer aceitar o pluralismo classificatório, mas existem limites a esse pluralismo. No entanto, nem todas as palavras vernáculas são relacionadas a um corpus de teoria ou prática classificatória desenvolvida. Certos termos, como "água", não têm extensão vernacular a menos que sejam relacionados ao químico "H₂O". Isso indica que a compreensão pluralista dos tipos naturais é limitada.

Em suma, a reflexão sobre as diferentes definições e concepções de substâncias químicas revela a complexidade ontológica e epistemológica subjacente à compreensão desse campo científico. A divergência entre definições acadêmicas e legais, a variedade de perspectivas sobre a natureza das substâncias e a questão do pluralismo conceitual ressaltam a necessidade de um diálogo interdisciplinar e uma abordagem contextualizada ao analisar as substâncias químicas. Reconhecer a amplitude e as limitações do pluralismo conceitual é crucial para a comunicação e compreensão mútua entre diferentes esferas científicas e sociais, destacando a importância de considerar a interconexão entre teoria,

prática e linguagem na investigação da natureza das substâncias químicas e seus papéis diversificados nos contextos científicos e sociais.

A crítica ao reducionismo físico, conforme evidenciado nas definições do conceito de substância, pode ser explorada no contexto educacional como um meio para discutir as limitações que a ênfase exclusiva nas propriedades físicas impõe à compreensão dos alunos sobre a natureza das substâncias. Os educadores têm a oportunidade de utilizar essa discussão para promover uma visão mais holística do conceito de substância química, bem como dos processos subjacentes que tornam possível essa categorização.

Em seu trabalho intitulado “Um Perfil Conceitual para o Conceito de Substância”, Silva (2011) realizou uma investigação bibliográfica sobre o conceito de substância ao longo da história da ciência. Além disso, conduziu um estudo empírico com alunos do ensino médio e superior, conduzindo questionamentos a respeito do conceito de substância. A seguir, estão apresentadas suas contribuições.

A investigação revelou a coexistência de diversas zonas de pensamento sobre o conceito de substância, que variam desde formas mais simplistas, como as zonas essencialista e generalista, prevalentes no senso comum, até abordagens mais sofisticadas, como a zona racionalista, amplamente adotada em contextos acadêmicos. Essas diferentes concepções operam simultaneamente nos indivíduos, sendo mobilizadas conforme a situação, o que evidencia a pluralidade de formas de pensar observada entre os alunos, tanto no Ensino Médio quanto no Ensino Superior.

As implicações pedagógicas indicam a necessidade de que os educadores considerem essa diversidade de perspectivas em suas práticas, reconhecendo que múltiplas concepções sobre um mesmo conceito podem coexistir. Ao promover a reflexão sobre essas diferentes zonas de pensamento, os alunos são encorajados a integrar novos conhecimentos ao seu repertório conceitual preexistente, facilitando uma compreensão mais ampla e significativa dos conceitos científicos. Isso contribui para o aprimoramento do ensino de Química, tornando-o mais inclusivo e eficaz.

O Entendimento Processual da Química

A filosofia de processo na química destaca a natureza dinâmica e interativa das reações químicas, enfatizando o papel do contexto, dos instrumentos e do cientista,

reconhecendo a interdependência e a transformação contínua das propriedades das substâncias (Friend, 2020). Nessa perspectiva, a realidade química é a transformação, um processo (Stein, 2006). Dialogando com Earley (2004) a química é vista como um sistema dinâmico com redes complexas de processos químicos, e o estudo desses processos é essencial para uma compreensão abrangente do assunto. O entendimento químico pode ser significativamente melhorado incorporando a ideia de processo. A química explora a complexidade das interações e entidades químicas, considerando propriedades emergentes que não se reduzem a leis físicas fundamentais. A complexidade estrutural e dinâmica abrange desde átomos até estruturas supramoleculares, envolvendo a energia na formação desses níveis e reconhecendo um limite estrutural para a complexidade química (Vancik, 2003).

Para Stein (2004), uma ontologia de processo, na qual as moléculas são entendidas como máquinas e a mudança é vista como um rearranjo de partes, é fundamental para a compreensão da transformação molecular.

Pode uma ontologia que, em seu limite, reduz a química a maquinações de 'bolas e varetas' fornecer recursos explicativos suficientes para explicar todos os aspectos da mudança molecular, especialmente seu papel fundamental na evolução de estruturas moleculares complexas e da vida? Acredito que a resposta a essas perguntas seja não; a ontologia da substância é incapaz de fornecer bases metafísicas adequadas para nos permitir construir uma teoria abrangente da mudança molecular. Para entender a estrutura profunda da mudança molecular, devemos substituir a substância material pelo processo. (Stein, 2004, p.16)

De acordo com Earley (2008), a química está dotada de um realismo estrutural de processo; trata-se de uma estrutura que descreve como combinações de processos podem gerar coerências ontologicamente significativas. Sukumar (2013) reforça essa ideia ao afirmar que, no contexto da química, o realismo estrutural de processo oferece uma perspectiva pela qual diversas estruturas e fenômenos químicos podem ser compreendidos como fenômenos emergentes ou estruturas dissipativas. O realismo estrutural de processo reconhece que os componentes de sistemas químicos agem em conjunto devido à sua inclusão em um conjunto fechado de interações, o que define a coerência do sistema. Essa estrutura proporciona uma compreensão mais profunda das relações e interações entre átomos, moléculas e reações químicas, e de como elas originam propriedades e comportamentos emergentes nos sistemas químicos. O realismo estrutural de processo também contribui para reduzir a lacuna entre os níveis

macroscópico e microscópico dos fenômenos químicos, oferecendo uma compreensão mais abrangente da natureza dos processos químicos.

Em síntese, a ontologia processual concebe os processos químicos como entidades dinâmicas e relacionais. De acordo com Alassia (2023), a mudança química é entendida como uma progressão de um estado dinâmico para outro, em vez de uma transformação estática de substâncias. As substâncias químicas não são consideradas entidades fixas e imutáveis, mas sim sistemas dinâmicos que exibem padrões de estabilidade ao longo do tempo. A estabilidade das substâncias químicas é alcançada de forma relacional e influenciada pelas condições em que ocorrem. No contexto de processos bioquímicos, como as reações enzimáticas, a abordagem processual enfatiza os relacionamentos dinâmicos entre macromoléculas e seu ambiente, ao invés de vê-los como entidades separadas e isoladas. No geral, a ontologia processual fornece um quadro para entender os processos químicos como fenômenos contínuos e interconectados.

A filosofia do processo na química sublinha que as reações químicas são essencialmente dinâmicas e interativas, questionando a perspectiva tradicional que considera as substâncias como entidades fixas e imutáveis. Essa abordagem sugere que a educação em química deve enfatizar a análise de processos em detrimento da mera observação de propriedades estáticas, levando os alunos a investigar como variações nas condições experimentais influenciam as reações químicas. Essa perspectiva pode resultar em uma aprendizagem mais abrangente dos conceitos químicos, permitindo que os estudantes examinem fenômenos químicos como processos, aprofundando a compreensão das relações entre estruturas moleculares, suas funções e as implicações práticas associadas.

Estrutura dos Conceitos Químicos

A Química é uma disciplina altamente conceitual, com uma alta densidade de ideias abstratas, e depende fortemente de explicações em termos de um reino submicroscópico, invisível e conjecturado, de entidades desconhecidas (Taber, 2013). É possível fazer duas assertivas desse entendimento: a) a química relaciona-se diretamente com o mundo sensível, sendo concreta e particular; b) a química relaciona-se com estruturas lógicas,

sendo abstrata e universal. Nessa perspectiva, uma questão emerge: os conceitos químicos fundamentam-se em qual dessas realidades?

Ao longo da discussão nas seções anteriores, é possível notar que a química é oriunda de diferentes formas de entendimento, um misto de origens distintas. A química sofre uma ausência fundamental na estrutura de muitos conceitos (Vancik, 1999). A gênese do fundamento ontológico dos conceitos químicos foi afetada por diferentes elementos, conforme discutimos ao longo do trabalho. Segundo Vermulapalli e Byerly (1999), boa parte dessas afetações são oriundas dos resquícios do fisicalismo. A redução pode, de fato, levar à reconceitualização do domínio reduzido ao mostrar como a teoria desse domínio é limitada por circunstâncias especializadas (Vermulapalli e Byerley, 1999).

Os conceitos se relacionam mas não possuem um referencial único. Esse desentendimento implica uma defasagem de uma ontologia química capaz de analisar todos os conceitos sob uma única ótica, organizá-los e criticá-los de forma eficaz como válidos ou não. Para Lombardi e Labarca (2005) a química é dotada de um pluralismo ontológico. O pluralismo ontológico é uma posição filosófica que sugere que podem existir múltiplas ontologias válidas ou formas de entender a natureza da realidade. Ele reconhece que diferentes domínios do conhecimento, como a química e a física, podem exigir estruturas ontológicas distintas para explicar completamente seus fenômenos.

A exemplo, o trabalho de Paneth (1962) demonstra um conflito conceitual presente na química: a ideia de elemento não é bem estabelecida. O pesquisador Sharlow (2006) investiga essa questão e identifica a problemática estrutural por trás do conceito de elemento químico. Nessa perspectiva, não há clareza se a natureza do conceito de elemento é, por exemplo, concreto ou abstrato, é particular ou universal.

Em um artigo clássico (Paneth, 1962), o renomado radioquímico F.A. Paneth argumentou que os primeiros químicos, incluindo Mendeleev, empregavam dois conceitos distintos de elementos químicos. Um desses conceitos, que Paneth chamou de “substância simples” (“einfacher Stoff” no original alemão), é o conceito de um elemento como uma substância observável com propriedades físicas e químicas. (Sharlow, 2006, p.1)

Para além dessa questão, é notável como ainda existem concepções químicas que são opostas entre si, fundamenta-se em Laszlo (1999, p. 21).

A ciência química utiliza conceitos centrais duais que não apenas emparelham opostos, mas também enfatizam sua complementaridade. Essa complementaridade pode ser adequada apenas para a descrição, como a complementaridade de partícula e onda, ou

pode ser inerente ao mundo físico, como a complementaridade das cargas elétricas de qualquer sinal.

No campo da química, o pluralismo ontológico reconhece que entidades e processos químicos têm sua própria existência autônoma e não podem ser completamente reduzidos ou explicados apenas pelos princípios da física. Ele enfatiza a importância de reconhecer as propriedades e comportamentos únicos das substâncias químicas e suas interações, em vez de tentar reduzi-los a explicações puramente físicas.

O pluralismo ontológico na química permite a coexistência de diferentes ontologias, como as ontologias da mecânica quântica e da mecânica clássica, sem a necessidade de priorizar uma sobre a outra.

Ao abraçar o pluralismo ontológico, os químicos podem lidar melhor com as complexidades e desafios específicos de seu campo e desenvolver uma compreensão mais abrangente dos fenômenos químicos.

Na perspectiva de Chalmers (2011) a natureza estrutural dos conceitos químicos baseia-se na ideia de composição e combinação química. Os conceitos de substância química pura, composto e combinação são fundamentais para entender o comportamento das substâncias na química. Esses conceitos envolvem a análise de compostos em seus componentes e a síntese de compostos a partir de seus componentes. As propriedades dos compostos estão correlacionadas com a presença de seus componentes. O foco está nas evidências empíricas e na realizabilidade prática da análise e síntese, em vez de explicações mais profundas do comportamento químico no nível dos elementos, princípios ou corpúsculos. A concepção da composição química é uma abstração teórica de teorias anteriores da matéria e é restrita ao âmbito da análise e síntese realizáveis (Klein, 2001).

Em síntese, a química adota um pluralismo ontológico, reconhecendo múltiplas formas de entender a realidade. Essa divergência ontológica cria discordâncias epistemológicas na estrutura dos seus conceitos, na forma que são adquiridos e como se relacionam com o sistema geral de sua ciência.

A discussão sobre o pluralismo ontológico na química se relaciona diretamente à educação química ao destacar a importância de um ensino que reconheça a diversidade de conceitos e abordagens dentro da disciplina. Isso requer uma formação docente que valorize a complexidade das interações químicas e a importância de diferentes

perspectivas epistemológicas, criando um ambiente de aprendizagem que promova a reflexão. Além disso, ao abordar as tensões entre os conceitos de substância e elemento, os educadores podem preparar os alunos para enfrentar ambiguidades e incertezas, que são aspectos cruciais na prática científica. A inclusão desse entendimento pluralista pode também contribuir para o desenvolvimento de habilidades de análise e síntese, fundamentais para a formação de cidadãos informados e capacitados em relação às questões químicas contemporâneas.

Ontologia e Educação Química

O estudo ontológico é altamente eficaz para a representação do conhecimento. Ele detalha todas as propriedades e condições relevantes, além das relações entre os conceitos envolvidos, permitindo uma representação abrangente de um campo de aprendizado específico (Grivokostopoulou, 2019, p. 9). Na química, o estudo ontológico aplicado à educação é capaz de moldar como o conhecimento químico é definido, posicionado e encapsulado para o ensino (Erduran; Mangaloglu, 2014, p. 12).

A investigação ontológica na química e suas implicações no ensino criam uma estrutura semântica organizada para representar elementos, relações e propriedades no campo educacional. Isso não apenas facilita a compreensão dos conceitos, mas também ajuda os educadores a projetar currículos mais abrangentes e sofisticados (Salem e Nikitaeva, 2019).

Uma estrutura para representar conceitos e relações no ensino é oferecida pelo escrutínio ontológico, que organiza melhor as informações e facilita a compreensão dos alunos (Abdellaoui, 2013). Na educação química, essa abordagem ajuda os estudantes a conectar diferentes níveis de organização e interpretar fundamentos conceituais de forma mais integrada.

A ontologia veiculada a educação química proporciona uma melhor compreensão dos conceitos químicos e suas inter-relações, permitindo uma análise filosófica desses elementos. O objetivo é otimizar a compreensão e a integração de conteúdos, apoiando o desenvolvimento pedagógico e a aquisição de conhecimento em suas respectivas áreas.

Levando a discussão para os conceitos químicos, realizou-se uma pesquisa no Portal de Periódicos da CAPES para buscar trabalhos que problematizam a interface

ontológica dos conceitos químicos dentro das pesquisas de educação química. Atualmente, as implicações ontológicas dos conceitos químicos continuam pouco discutidas nas pesquisas em educação química. Percebe-se que o encontrado através desta pesquisa corrobora com os dados apresentados na pesquisa tipo estado da arte realizada por Oliveira (2022) anteriormente.

A invisibilidade da ontologia nos estudos dos conceitos químicos pode ser atribuída a várias razões. Proponho duas possibilidades. Primeiramente, muitos pesquisadores em educação química podem não estar familiarizados com o conceito de ontologia ou com sua aplicação prática na estruturação do conhecimento químico. Há ênfase histórica na abordagem experimental e prática na química, que pode ter priorizado outras formas de investigação sobre a compreensão conceitual e epistemológica dos conceitos químicos.

Foram apenas dois trabalhos encontrados que de fato problematizam essa interface, o pesquisador Joseph Earley avança na discussão integrativa da filosofia ao ensino de química. Earley avança na dimensão epistemológica-filosófica do ensino de química em seu trabalho "*A New 'Idea of Nature' for Chemical Education*". A discussão, de cunho mereológico, fundamenta-se na filosofia processual de Whitehead e propõe um rompimento com a ideia estática e substancial que a química possui: como as características fixas que definem um elemento ou substância. Neste trabalho, Earley discute a ideia de sistemas dinâmicos, o entendimento químico de processos que se combinam para produzir arranjos de equilíbrio que se auto-organizam. Earley (2013) discute que tais arranjos consistem em redes de processos (coleções de reações químicas, conjuntos de interações de *quarks* e glúons, combinações de ações de organismos biológicos, aglomerados de transações econômicas, etc.) que se ajustam para produzir estados dinâmicos. Uma proposta que em sua ontologia define os conceitos químicos como entidades dinâmicas e pertencentes a uma rede de relações difere fundamentalmente da visão filosófica substancial dos conceitos químicos. A passagem para essa visão dinâmica do entendimento químico é necessária, fundamenta-se em Earley (2013).

Para que o desenvolvimento tecnológico necessário seja efetivamente alcançado, a ideia atualmente aceita de natureza (uma perspectiva atomística adotada na Renascença) precisa ser substituída (ou complementada) por uma visão de mundo diferente—uma que

ênfatize a auto-organização espontânea de coerências dinâmicas de sistemas abertos. Educadores de química têm sido centralmente importantes na adoção geral da visão de mundo atual: a educação química precisa se desenvolver de forma a facilitar a mudança conceitual que nossa situação requer.

Nessa perspectiva, a proposição de que a filosofia da química proverá ganhos para a educação já era debatida na pesquisa de Earley. Em *“Would Introductory Chemistry Courses Work Better With a New Philosophical Basis?”*. O autor propõe uma visão cosmológica evolutiva para o enfoque da educação química, uma forma de manter claro o propósito de se ensinar química.

Nossa sociedade requer uma compreensão geral e ampla da cosmologia evolutiva – uma compreensão que seja consistente com a prática científica contemporânea. Esta é uma importante missão de ‘educação geral’ que difere da missão de preparar os alunos para trabalhos futuros em ciência e disciplinas relacionadas – mas não é necessariamente inconsistente com essa missão pré-profissional. (Earley, 2004).

De forma análoga, aos seus demais trabalhos, em sua ontologia, Earley continua explorando as relações químicas em um entendimento processual. O trabalho discute temas fundantes da cosmologia do universo, desde a origem das estrelas até a vida na terra. Segundo Earley (2004) as aulas de química devem estar em movimento, devem incluir discussões sobre as mudanças evolutivas atuais e futuras, já que novos materiais desenvolvidos por químicos irão desempenhar papéis cruciais nessas transformações.

A educação em química deve se afastar do modelo tradicional de história natural e análise, adotando uma abordagem que enfatize os princípios e problemas que refletem a prática científica contemporânea. Isso se alinha com a necessidade de preparar os alunos para desafios profissionais e para uma melhor compreensão das questões sociais relacionadas à ciência (Earley, 2004).

Conclusão

A análise ontológica dos conceitos químicos revela a complexidade inerente a esses fundamentos, abordando questões como reducionismo, estrutura mereológica, filosofia do processo e a natureza das substâncias químicas. A investigação evidencia a tensão entre a redução da química a princípios fundamentais de outras disciplinas e o reconhecimento de sua autonomia epistemológica. Observa-se que a discussão sobre o reducionismo fisicalista é amplamente presente na filosofia da química, assim como nota-

se uma crescente no estudo das discussões mereológicas relativas aos conceitos. No entanto, outras questões permanecem pouco pormenorizadas. Identifica-se uma fragilidade em relação à noção estática em contraposição à noção dinâmica dos conceitos, questionando se a química deve ser considerada por meio de um panorama epistemológico das substâncias ou dos processos. Esta questão demanda maior estudo filosófico. É crucial destacar que a educação química ainda apresenta pouca aproximação com essas questões levantadas na filosofia da química. Apesar das contribuições de Joseph Earley, a interface entre ontologia e educação química continua a ser pouco investigada. Essa situação indica uma necessidade premente de mais pesquisas para aprofundar o entendimento e a aplicação dessa interseção no contexto educacional.

Agradecimentos

Esta pesquisa integra as investigações desenvolvidas em percurso no mestrado. Gostaria de expressar minha gratidão ao meu orientador, Professor Doutor Marcos Antonio Pinto Ribeiro. Agradeço também ao nosso grupo de pesquisa Investigações em Filosofia, Química e Currículo. Por fim, registro meu reconhecimento à FAPESB pelo apoio financeiro que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa.

Referências

- Alassia, F. (2023). Correction to: A process ontology approach in biochemistry: the case of GPCRs and biosignaling. *Foundations of Chemistry*, 25, 189–206. <https://doi.org/10.1007/s10698-022-09461-8>
- Arriaga, J. Fortin, S. & Lombardi, O. (2019). A new chapter in the problem of the reduction of chemistry to physics: the Quantum Theory of Atoms in Molecules. *Foundations of Chemistry*, 21, 125–136. <https://doi.org/10.1007/s10698-018-09332-1>
- Brakel, Jaap. (2014). Philosophy of Science and Philosophy of Chemistry. *International Journal of Philosophy of Chemistry Hyle*, 20, 11-57. <http://www.hyle.org/journal/issues/20-1/vanbrakel.htm>
- Banchetti-Robino, M. P. (2012). The ontological function of first-order and second-order corpuscles in the chemical philosophy of Robert Boyle: the redintegration of potassium nitrate. *Foundations of Chemistry*, 14, 221–234.

<https://doi.org/10.1007/s10698-012-9159-8>.

- Burbules, N. C. e LINN, M. C. (1991). Science education and philosophy of science: congruence or contradiction. *International Journal of Science Education*, 13 (3), 227-241. <https://doi.org/10.1080/0950069910130302>
- Drago, A. (2020). A new definition of reduction between two scientific theories: no reduction of chemistry to quantum mechanics. *Foundations of Chemistry*, 22, 421-445. <https://doi.org/10.1007/s10698-020-09377-1>
- Earley, J.E. (2013). A New 'Idea of Nature' for Chemical Education. *Science and Education*, 22, 1775-1786. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9525-x>
- Earley, J. E. (2005). Why there is No Salt in the Sea. *Foundations of Chemistry*, 7, 85-102. <https://doi.org/10.1023/B:FOCH.0000042881.05418.15>.
- Earley, J.E. (2004). Would Introductory Chemistry Courses Work Better with a New Philosophical Basis?. *Foundations of Chemistry*, 6, 137-160. <https://doi.org/10.1023/B:FOCH.0000034992.42777.95>
- Earley, J. (2003). Chemical Explanation: Characteristics, Development, Autonomy. *Annals of the New York Academy of Sciences*. New York Academy of Sciences.
- Feitosa, Eveline. Moraes, Betânea. Júnior, Antonio. (2022). Data analysis in Vygotsky: a study based on Historical-Dialectical Materialism. *Research, Society and Development*, 11 (7), e18311729872. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i7.29872>
- Feldman, Howard J., Dumontier Michel, LING Susan, Haider Norbert and Hogue Christopher W. (2005). CO: A chemical ontology for identification of functional groups and semantic comparison of small molecules, *FEBS Letters*, 579, 4685-4691, doi: 10.1016/j.febslet.2005.07.039
- Friend, M. (2020). The beginnings of a formal language for conceptual analysis of processes in macro-chemistry. *Foundations of Chemistry*, 22, 31-42. <https://doi.org/10.1007/s10698-019-09343-6>
- Gómez, S. P. J. (2013). The semantics of chemical education: constructivism, externalism and the language of chemistry. *Foundations of Chemistry*, 15, 103-116. <https://doi.org/10.1007/s10698-011-9130-0>.
- Ghibaudi, E.; Cerruti, L. (2017). Chemical substance, material, product, goods, waste: a changing ontology. *Foundations of Chemistry*, 19, 97-123. <https://doi.org/10.1007/s10698-017-9281-8>.
- Hafidh, R.; Sharif, M.; Alsallal, M. (2019). Smart holistic model for children and youth with special educational needs and disabilities. *International Conference on*
-

Computing, Electronics & Communications Engineering (iCCECE), University of Wales Trinity.

- Harré, R., Llored, JP. (2011) Mereologies as the grammars of chemical discourses. *Foundations of Chemistry*, 13, 63–76. <https://doi.org/10.1007/s10698-011-9103-3>
- Harré, R. (2008). Some presuppositions in the metaphysics of chemical reactions. *Foundations of Chemistry*, 10, 19–38. <https://doi.org/10.1007/s10698-005-9000-8>
- Hendry, R. F. (2012). Chemical substances and the limits of pluralism. *Foundations of Chemistry*, 14, 55–68. <https://doi.org/10.1007/s10698-011-9145-6>.
- Heidegger, Martin. (2019). *Ser e Tempo*. Editora Vozes.
- Abdellaoui, M. A. Ben Mohamed, K. Bacha and M. Zrigui. (2013). Ontology based description of an accessible learning object, *Fourth International Conference on Information and Communication Technology and Accessibility (ICTA)*. IEEE.
- Izquierdo-Aymerich, M., Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Science & Education* 12, 27–43. <https://doi.org/10.1023/A:1022698205904>
- Piaget, Jean (1967). *A psicologia da inteligência*. Editora Fundo de Cultura.
- Klein, U. (2012). Objects of inquiry in classical chemistry: material substances. *Foundations of Chemistry*, 14, 7–23. <https://doi.org/10.1007/s10698-011-9122-0>.
- Lombardi, O., Labarca, M. (2005). The Ontological Autonomy Of The Chemical World. *Foundations of Chemistry*, v7, 125–148. <https://doi.org/10.1007/s10698-004-0980-6>
- Llored, JP. (2010). Mereology and quantum chemistry: the approximation of molecular orbital. *Foundations of Chemistry* 12, 203–221. <https://doi.org/10.1007/s10698-010-9092-7>
- Llored, JP. (2012). Emergence and quantum chemistry. *Foundations of Chemistry*, 14, 245–274. <https://doi.org/10.1007/s10698-012-9163-z>
- Manafu, A. (2013). Internal realism and the problem of ontological autonomy: a critical note on Lombardi and Labarca. *Foundations of Chemistry*, 15, 225–228. <https://doi.org/10.1007/s10698-012-9165-x>.

- Miller, R. (2023). Chemical reduction and quantum interpretation: A case for thomistic emergence. *Foundations of Chemistry*, 25, 405–417. <https://doi.org/10.1007/s10698-023-09479-6>
- Newman, M. (2008). Chemical supervenience. *Foundations of Chemistry*, 10, 49–62. <https://doi.org/10.1007/s10698-006-9029-3>
- Ochiai, H. (2020). Overcoming skepticism about molecular structure by developing the concept of affordance. *Foundations of Chemistry*, 22, 77–86. <https://doi.org/10.1007/s10698-019-09349-0>
- Oliveira, I. (2022). Pesquisa em ensino de química no Brasil entre 2002 e 2017 a partir de periódicos especializados. *Educação e Pesquisa*, 48, e235097. <https://doi.org/10.1590/S1678-4634202248239057>
- Prentner, R. (2017). Chemistry, context and the objects of thought. *Foundations of Chemistry*, 19, 29–47. <https://doi.org/10.1007/s10698-017-9273-8>
- Paixão, Fátima; Cachapuz, António (2003) - Mudanças na Prática de Ensino da Química pela Formação dos Professores em História e Filosofia das Ciências. *Química Nova na Escola*, 18, p. 31-36. <http://hdl.handle.net/10400.11/1322>
- Pires, Diogo Ricardo Gaspar. (2023). *Fisicalismo Redutivo no Sistema Pedagógico da Química* [Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia]
- Ribeiro, M. (2014). *Integração da filosofia da química no currículo de integração da filosofia da química no currículo de formação inicial de professores. Contributos para uma filosofia do ensino*. [Tese de Doutorado, Universidade de Lisboa Instituto de Educação].
- Riessman, Catherine Kohler. (2008). *Narrative Methods for the Human Sciences*. Sage Publications.
- Ruthenberg, K., Harré, R. (2012). Philosophy of chemistry as intercultural philosophy: Jaap van Brakel. *Foundations of Chemistry*, 14, 193–203. <https://doi.org/10.1007/s10698-012-9161-1>
- Scerri, E. R. (2012). What is an element? What is the periodic table? And what does quantum mechanics contribute to the question? *Foundations of Chemistry*, 14, 69–81. <https://doi.org/10.1007/s10698-011-9124-y>.
- Segura, D. (1991). Una premissa para el cambio conceptual: el cambio metodológico. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*. 9 (2), 175-180. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/51379>
- Sharlow, M.F. (2006). Chemical elements and the problem of universals. *Foundations of Chemistry*, 8, 225–242. <https://doi.org/10.1007/s10698-006-9016-8>
-

- Silva, João Roberto Ratis Tenório da. (2011). *Um perfil conceitual para o conceito de substância*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco).
- Silva, Manuela Ramos da. (2020). Usos e possibilidades metodológicas para os estudos qualitativos em Administração: explorando a análise temática. *Revista Pensamento Contemporâneo em Administração*, 14 (1), 10-26.
<https://doi.org/10.12712/rpca.v14i1.38405>
- Stein, R.L. (2004). Towards a Process Philosophy of Chemistry. *Journal of Philosophy of Chemistry Hyle*, 10, 5-22. <https://hyle.org/journal/issues/10-1/stein.htm>
- Stein, R.L. (2006). A Process Theory of Enzyme Catalytic Power – the Interplay of Science and Metaphysics. *Foundations of Chemistry*, 8, 3-29.
<https://doi.org/10.1007/s10698-005-7907-8>
- Sukumar, N. (2013). The atom in a molecule as a mereological construct in chemistry. *Foundations of Chemistry*, 15, 303-309. <https://doi.org/10.1007/s10698-012-9171-z>
- Sukumar, N. (2020). Ontological status of time in chemistry. *Foundations of Chemistry*, 22, 353-361. <https://doi.org/10.1007/s10698-020-09370-8>
- Smith, Barry (2003). Ontology. In Luciano Floridi (ed.), *The Blackwell guide to the philosophy of computing and information*. (pp. 155-166). Blackwell.
- Taber, K.S.(2020). Conceptual confusion in the chemistry curriculum: exemplifying the problematic nature of representing chemical concepts as target knowledge. *Foundations of Chemistry*, 22, 309-334. <https://doi.org/10.1007/s10698-019-09346-3>
- Thomas, G.F. (2012). The emancipation of chemistry. *Foundations of Chemistry*, 14, 109-155. <https://doi.org/10.1007/s10698-011-9118-9>
- Vancik, H. (2003). Philosophy of Chemistry and Limits of Complexity. *Foundations of Chemistry*, 5, 237-247. <https://doi.org/10.1023/A:1025656727195>
- Vihalemm, R. (2011). The autonomy of chemistry: old and new problems. *Foundations of Chemistry*, 13, 97-107. <https://doi.org/10.1007/s10698-010-9094-5>
- Vemulapalli, G.K., Byerly, H. (1999). Remnants of Reductionism. *Foundations of Chemistry*, 1, 17-41. <https://doi.org/10.1023/A:1009984310105>

Submetido em: 31/07/2024 **Aceito em:** 27/11/2024 **Publicado em:** 22/12/2024

Periódico organizado pela Sociedade Brasileira de Ensino de Química – SBEnQ



Este texto é licenciado pela [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)