

Evolução de Grandes Ideias em Química

Sérgio Paulo Jorge Rodrigues

Resumo

Faz-se uma revisão breve da evolução de alguns conceitos e ideias fundamentais em Química, nomeadamente os que são relativos aos elementos químicos e átomos, moléculas e iões e compostos, geometria molecular, estrutura eletrônica, e ligação química, interações e reações químicas que desembocam no conceito de “Grandes Ideias” em Química. É apresentada uma lista simplificada de “Grandes Ideias” comum às propostas analisadas e baseada na evolução histórica dos conceitos em Química.

Palavras-chave: Ensino da Química; História da Química; Filosofia da Química

Abstract

A brief review is made of the evolution of some fundamental concepts and ideas in Chemistry, in particular those relating to chemical elements and atoms, molecules and ions and compounds, molecular geometry, electronic structure, chemical bonding, interactions, and chemical reactions, which lead to the concept of “Big Ideas” in Chemistry. A simplified list of “Big Ideas” common to the analyzed proposals and based on the historical evolution of concepts in Chemistry is presented.

Keywords: Teaching of Chemistry; History of Chemistry; Philosophy of Chemistry

INTRODUÇÃO

A Química teve uma maturação histórica lenta e só se autonomizou, como Ciência moderna, reativamente tarde.¹ Não é propósito deste trabalho abordar esse assunto, sobre o qual já existem milhares de escritos (ver, e.g., as referências anteriores), mas sim o de abordar a evolução histórica dos conceitos que deram origem a “Grandes Ideias” em Química, as quais correspondem a uma vontade e necessidade de simplificação que foram criadas ao longo desta evolução histórica.

A Química é, há mais de dois séculos uma Ciência bem estabelecida, tendo as suas principais explicações atingido a maturidade com o advento da Mecânica Quântica nos anos 1920. Depois disso, a Química não parou de evoluir com os adventos da instrumentação, dos computadores, da miniaturização, da biotecnologia, da nanotecnologia, da Internet das Coisas (IoT) e da Inteligência Artificial (IA), por exemplo.² Esta Ciência, tem uma linguagem e uma forma de agir sobre o mundo que é simultaneamente macroscópica, sub-microscópica, simbólica e contextual³ (há autores que para este último aspecto referem

¹ Ver, e.g., Aaron Ihde, *The Development of Modern Chemistry*. New York: Dover, 1964; J. R. Partington. *A Short History of Chemistry*. New York: Mcmillan, 1960; *A History of Chemistry (Volumes 1-4)*. New York: St. Martin's Press, 1970-1972; B. Bensaude-Vincent, I. Stengers, *História da Química*. Lisboa: Instituto Piaget, 1996; M. Crazon, O. Lafont, *História das Ciências da Antiguidade aos Nossos Dias. Volume II. Física e Química*. Lisboa: Textografia, 2011.

² S. P. J. Rodrigues, P. J. B. S. Caridade, “Contributos para a História da Química Computacional e do Uso dos Computadores em Química.” *História da Ciência: Construindo Interfaces*, 25 (2022): 140-155.

³ Alex H. Johnstone. “Macro- and microchemistry.” *School Science Review*, 64 (1982): 377-379.

também a humanidade).⁴ Observa-se ao nível macroscópico, explica-se ao nível sub-microscópico, comunica-se ao nível simbólico e analisam-se as ações da Química e dos seus protagonistas ao nível contextual. Não admira, portanto, que a linguagem da Química seja considerada complexa e difícil: para além do imenso número de conceitos e regras, misturam-se vários níveis de explicação e de análise. A Química também não é redutível à Física como alguns autores e químicos pensam e referem. Uma análise desse e de outros aspetos epistemológicos e ontológicos pode ser encontrada em Baird, Scerri e McIntyre.⁵

Se consultarmos, por exemplo, um livro de Química do século XIX, encontramos explanadas muitas regras sobre as composição das substâncias, assim como um grande número de capítulos com famílias de materiais e as suas propriedades. Isso corresponde ao desejo de sistematização que a Química sempre teve, mas a imagem que dá é da procura de exaustividade e de assinalar todas as exceções conhecidas. Historicamente, conceitos como os de “flogisto” e “afinidade”, ambos ultrapassados há muito, eram, por um lado, bastante simples e (supostamente) claros, e por outro procuraram fazer essa sistematização. Não admira o terem tido tanto êxito nas épocas em que surgiram.

Em Química, sempre se colocaram os problemas da “pureza” e da “simplicidade” mas o resultado tem sido que esta ciência continua, muitas vezes, a ser vista como “impura”⁶ e complexa. Assim, o principal objetivo deste trabalho é discutir um conjunto de “Grandes Ideias” em Química que seja ao mesmo tempo simples e consensual e por outro lado coerente com a evolução histórica desta Ciência.

DESENVOLVIMENTO

No presente trabalho, vai partir-se da compilação de “Grandes Ideias” realizada por Talaquer⁷ (ver Quadro 1), à qual acrescentamos a lista incluída num recente Programa de Física e Química Português⁸ (entretanto revogado e substituído por um texto mais curto, mas que está relacionado: as Aprendizagens Essenciais). Procura-se traçar um imagem coerente da evolução histórica dos conceitos incluídos nas “Grandes Ideias” e, por fim, fazer um resumo das ideias mais prevalentes em todas as propostas e comuns a todas.

⁴ Jesper Sjöström & Vicente Talanquer. “Humanizing Chemistry Education: From Simple Contextualization to Multifaceted Problematization” *J. Chem. Educ.* 91 (2014): 1125-1131.

⁵ Davis Baird, Eric Scerri, & Lee McIntyre (Eds.) *Philosophy of Chemistry. Synthesis of a New Discipline*. Springer, 2006.

⁶ B. Bensaude-Vincent & J. Simon, *Chemistry: The Impure Science*. World Scientific, 2008.

⁷ V. Talanquer, “Central Ideas in Chemistry: An Alternative Perspective” *J. Chem. Educ.* 93 (2016): 3–8.

⁸ C. Fiolhais (coord. cient.), I. Festas, H. Damião (coord. ped.), A. J. Ferreira, F. Braguez, M.-G. Matos, S. P. J. Rodrigues (Coord. Quim.), C. Fiolhais (Coord. Fis.), C. Portela, G. Ventura, & R. Nogueira, Programa de Física e Química A 10.º e 11.º anos, Ministério da Educação, 2014. Disponível em https://www.dge.-mec.pt/sites/default/files/ficheiros/programa_fqa_10_11.pdf (acedido a 29 de outubro de 2023).

Quadro 1: “Grandes Ideias” em Química propostas para o Ensino (adaptado em parte de Talanquer (2016)⁹).

Autores	Grandes Ideias
Gillespie (1997) ¹⁰	<ol style="list-style-type: none"> 1. Os componentes básicos da matéria são os átomos, as moléculas e os iões 2. As ligações químicas são formadas pelas atrações eletrostáticas entre os caroços positivos e os eletrões negativos 3. Os átomos nas moléculas e em cristais estão dispostos em geometrias particulares 4. Os átomos e as moléculas estão em constante movimento 5. Os átomos nas moléculas e cristais podem reorganizar-se para formar novas moléculas e cristais 6. As reações químicas podem ocorrer quando a desordem do universo aumenta
Atkins (2010) ¹¹	<ol style="list-style-type: none"> 1. A matéria é composta por átomos 2. Os elementos formam famílias 3. As ligações entre os átomos formam-se partilhando pares de eletrões 4. A forma é fundamental 5. As moléculas interagem entre elas 6. A energia conserva-se 7. A energia e a matéria têm tendência a dispersar-se 8. Há barreiras para as reações químicas 10. Há fundamentalmente apenas quatro tipos de reações químicas
Holme & Murphy (2012) ¹²	<ol style="list-style-type: none"> 1. A matéria é feita de átomos com estrutura interna que determinam o seu comportamento 2. Os átomos interagem por forças eletrostáticas para formarem ligações químicas 3. Os compostos químicos têm geometrias que influenciam o seu comportamento químico e físico 4. As forças intermoleculares determinam o comportamento físico da matéria 5. A matéria transforma-se, formando produtos que têm novas propriedades químicas e físicas 6. A energia é chave nas reações químicas em sistemas microscópicos e macroscópicos 7. As transformações químicas têm uma escala temporal 8. Todas as transformações químicas e físicas são, em princípio, reversíveis e muitas vezes atingem um estado de equilíbrio dinâmico 9. A química avança em geral pelas observações experimentais 10. A química constrói o seu significado tanto ao nível das partículas como macroscópico
Fiolhais et al. (2014) ¹³	<ol style="list-style-type: none"> 1. A matéria comum é constituída por átomos 2. As propriedades dos átomos são determinadas pelo modo como se distribuem os eletrões e pelas respetivas energias

⁹ Talanquer (2016), Op. Cit.¹⁰ Ronald J. Gillespie, “The Great Ideas of Chemistry” J. Chem. Educ. 74 (1997): 862–864.¹¹ Peter Atkins, “Chemistry’s Core Ideas”, Chem. Educ. N.Z. (2010): August, 8–12.¹² T. Holme, & K. Murphy, “The ACS Exams Institute Undergraduate Chemistry Anchoring Concepts Content Map I: General Chemistry.” J. Chem. Educ. 89 (2012): 721–723.¹³ Fiolhais et. al. (2014), Op. Cit.

3. Os elementos químicos estão organizados na Tabela Periódica, baseada nas propriedades dos átomos
4. Os átomos podem unir-se para formar moléculas e outras estruturas maiores através de ligações químicas envolvendo essencialmente os elétrons de valência
5. As propriedades dos materiais são determinadas pelo tipo de átomos, pelas ligações químicas e pela geometria das moléculas
6. A estabilidade relativa, do ponto de vista energético, dos átomos e moléculas influencia a sua reatividade
7. Existe um número reduzido de tipos de reações químicas, sendo a este nível considerados três: (a) transferência de próton (ácido-base), (b) transferência de elétrons (oxidação-redução) e (c) deslocamento de iões (precipitação, solubilização e complexação)
8. Nas reações químicas a massa e a energia conservam-se e os reagentes e produtos, num sistema fechado, tendem para o equilíbrio

Talanquer¹⁴ sugere uma perspectiva diferente baseada em “Grandes Questões” que nos conduzem a “Grandes Ideias”: (1) Como identificamos as substâncias químicas? (2) Como prevemos as propriedades de uma substância? (3) Como e porquê as substâncias mudam? (4) Como controlamos as alterações de uma substância? (5) Qual é o impacto das ações químicas? A primeira conduz-nos à grande ideia de Identidade Química, à caracterização da substância e à determinação da estrutura. A segunda às relações Atividade-Estrutura, subjacentes às ideias químicas e à previsão das propriedades moleculares. A terceira à Causalidade Química e aos Mecanismos das Reações Químicas. A quarta ao Controlo Químico e finalmente a quinta conduz-nos ao Agir de Forma Sustentável, uma dimensão indissociável da Química, que é a necessidade de analisar com rigor a relação custo-benefício das descobertas e desenvolvimentos com o origem nesta Ciência. Sendo uma proposta interessante, afasta-se do objetivo do presente trabalho, que é, como foi referido, discutir um consenso entre as várias propostas para “Grandes ideias.”

Há bastante consenso em todos os autores referidos sobre a existência de átomos, mas historicamente a evolução não foi assim tão simples e consensual. Há também ainda alguma discussão filosófica sobre isso.¹⁵ Os átomos dos gregos e os átomos atuais quase só têm em comum a ideia de a dimensão ser muito pequena. Embora a moderna teoria atômica tenha surgido no início do século XIX, durante todo este século houve bastante desconfiança de alguns autores em relação a esta teoria. Só no século XX, com as experiências de Perrin e Einstein, e todas as que se seguiram, se tornou uma ideia consensual.

Outra ideia consensual é a de que as propriedades dos átomos, moléculas e iões são determinadas pelos seus elétrons. Estas estendem-se desde a estrutura eletrônica às interações e reações entre estas partículas e formação e quebra de ligações químicas, passando pela organização em famílias, de que a mais conhecida é Tabela Periódica, a qual procura organizar os átomos. Ora, há quanto a este assunto vários

¹⁴ Talanquer, Op. Cit.

¹⁵ Bensaude-Vincent & Simon, Op. Cit.

aspectos a considerar. Só com a descoberta do elétron e da sua carga, respetivamente no final do século XIX e princípio do século XX, e com o advento da Mecânica Quântica, no início do século XX, foi possível obter explicações para algo que já se verificava há muito, mas não se sabia por que acontecia.

O que está bastante difuso nas várias propostas é o papel da “Energia.” Todas as propostas acham esta quantidade relevante, mas sob diferentes perspetivas. Desde os átomos estarem em constante movimento (energia cinética) às interações e barreiras energéticas entre as partículas (energia potencial), até conceitos de termodinâmica como o de que a energia se conserva em sistemas fechados (primeira lei) ou de que a entropia do universo aumenta ou a de que a energia tende a dispersar-se (segunda lei). O que vemos é que há uma grande diversidade de possibilidades, mas que, na nossa opinião, podem ser sistematizados pela referência à “Energia” apenas como iremos procurar explicar.

Há também, neste momento, grande consenso sobre a “Forma” e a “Geometria” moleculares serem fundamentais para explicar as propriedades das moléculas e iões. Mais uma vez, nem sempre foi assim no início da Química como Ciência moderna. Apenas com as experiências de Wöhler e Liebig nos cianatos e fulminatos, as propostas de Kekulé para o benzeno, as observações de Pasteur nos cristais de ácido tartárico e as deduções de Van't Hoff, entre muitas outras contribuições, começaram a ganhar forma estas ideias. Mas até meados da década de 1820 não havia essa ideia, pensando-se que bastaria conhecer as composições elementares para identificar os compostos. A evolução prodigiosa que conduziu aos conceitos de carbono tetraédrico e de isómeros permitiu que essa ideia se tornasse consensual no século XX. Paralelamente, a difração de raios X e, mais tarde, a Ressonância Magnética Nuclear (RMN), vieram confirmar a centralidade destas ideias.

No quadro 2 podemos encontrar uma proposta de resumo das “Grandes Ideias” em Química. Como já referido, neste momento aceitamos que a matéria é constituída por átomos, moléculas e iões, que a Química é uma ciência molecular e que estas entidades explicam e permitem prever o comportamento da matéria. Deve no entanto notar-se, que só por si, a hipótese da existência de átomos, moléculas e iões não permite explicar o comportamento da matéria, mas é, no entanto, a origem frutífera de um grande número de explicações. Em particular, é a existência de átomos, em conjunto com a ideia de que estes estão em constante movimento, que em última análise, permite explicar o aumento de entropia do universo. Ora “estarem em movimento” implica terem energia cinética. Ou seja, terem “Energia.” Tal como a matéria ser constituída por átomos é uma ideia muito rica em possibilidades sem necessidade de especificar os detalhes no que concerne a esta “Grande Ideia”, também para a “Energia” não é importante, como já foi referido, indicar todos os aspetos particulares desta. Basta, na nossa opinião, referir que são fundamentais como “Grande Ideias.”

Que o comportamento dos elétrons nos átomos e moléculas, atraindo os núcleos e repelindo-se mutuamente, explica o comportamento da matéria é hoje em dia também consensual. O comportamento de

cada caso particular não é previsto apenas por se referirem estas possibilidades de interações, mas pode ser obtido, pelo menos em teoria, a partir da “Grande Ideia” que estas encerram.

Que a “Forma” seja fundamental, incluindo nesta também a geometria e o arranjo molecular que dá origem aos vários tipos de isômeros, não há dúvida entre os químicos, como já foi referido. Fazemos notar, que esta pode, em princípio, sem prevista no âmbito das ideias anteriores, mas assume uma centralidade fundamental em Química e por isso é aqui apresentada como uma “Grande Ideia.”

Também, a proposta de que os constituintes da matéria “Interagem” ou se “Transformam” não é completamente independente das outras, como no caso da “Forma,” mas introduz a ideia de dinâmica como “Grande Ideia” que não estava nas anteriores.

Finalmente, a proposta de que todas as reações químicas se reduzem a um único tipo (reorganização dos elétrons), mais uma vez, não permite fazer sistematizações detalhadas como é feito muitas vezes,¹⁶ mas é verdadeira qualquer que seja o tipo das reações químicas, das reações de oxidação-redução às de dupla-troca. Deve notar-se que existem vários tipos de sistematizações, envolvendo três ou quatro tipos de reação: transferência de próton (ácido-base), transferência de elétrons (oxidação-redução) e deslocamento de iões (precipitação e complexação, de troca-simples ou troca-dupla), por exemplo, mas isto não dá imediatamente conta de algo fundamental e que é claramente uma “Grande Ideia”: a noção de que em menor ou maior grau as reações químicas envolvem reorganização dos elétrons.

Quadro 2: Grandes Ideias em Química de forma resumida.

Origem	Grandes Ideias
Este trabalho	<ol style="list-style-type: none"> 1. A matéria é constituída por átomos, moléculas e iões 2. A Energia é fundamental para explicar a matéria 3. Os elétrons e núcleos explicam os constituintes da matéria e as suas propriedades 4. A Forma é fundamental para explicar o comportamento dos constituintes da matéria 5. Os constituintes da matéria, átomos, moléculas e iões, interagem e transformam-se 6. As reações química envolvem a reorganização dos elétrons

CONCLUSÃO

Procurou-se neste trabalho sistematizar e obter consenso sobre “Grandes Ideias” em Química, partido da evolução histórica destas. Foi verificado que as listas consultadas disponíveis apresentavam redundâncias e procurou-se obter uma lista em que estas fossem minimizadas. Verificaram-se várias limitações, nomeadamente a lista obtida não poder ser usada como postulados fundadores desta Ciência num sentido mais matemático, mas é mais simples e coerente que as listas disponíveis, as quais também não podiam ser usadas nesse sentido.

¹⁶ Por exemplo, Atkins (2010) Op. Cit. considera que haver quatro tipos de reações químicas é uma “Grande Ideia” em Química. Mas, na nossa opinião, tal procurando ser exaustivo, acaba por introduzir complicações desnecessárias no que concerne às “Grandes Ideias.”

Agradecimentos

O Centro de Química de Coimbra (CQC) é apoiado pela Fundação para Ciência e a Tecnologia (FCT), Portugal, através dos projetos UIDB/00313/2020 e UIDP/00313/2020.

Sobre o Autor

Sérgio P. J. Rodrigues,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4640-7039>, Universidade de Coimbra, CQC-IMS, Departamento de Química.

spjrodrigues@ci.uc.pt