



instituto de **química**

Universidade Federal do Rio de Janeiro

EQUIVALENTISMO E A ELEVAÇÃO DE UMA CULTURA ANTIATOMISTA NA HISTÓRIA DA QUÍMICA

Ana Luiza de Oliveira Ramalho

Projeto Final de Curso

Orientador

Prof. Dr. Waldmir Nascimento de Araujo Neto

Janeiro / 2023

EQUIVALENTISMO E A ELEVAÇÃO DE UMA CULTURA ANTIATOMISTA NA HISTÓRIA DA QUÍMICA

Ana Luiza de Oliveira Ramalho

Projeto Final de Curso submetido ao Corpo Docente do Instituto de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Licenciada em Química.

Aprovado por:

Waldmir Nascimento de Araujo Neto
DQO – IQ - UFRJ

Raoni Schroeder Borges Gonçalves
DQO – IQ - UFRJ

Anita Ferreira do Valle
DBQ – IQ - UFRJ

Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Janeiro de 2023

Ficha Catalográfica

Ramalho, Ana Luiza de Oliveira
EQUIVALENTISMO E A ELEVAÇÃO DE UMA CULTURA ANTIATOMISTA NA HISTÓRIA DA QUÍMICA / Ana
Luiza de Oliveira Ramalho. -- Rio de Janeiro, 2023.

56 f.

Orientador: Prof. Dr. Waldmir Nascimento de Araujo Neto.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Química,
Licenciado em Química, 2023.

1. equivalentismo. 2. história da química. 3. ciência. 4. atomismo. I. Nascimento de Araujo Neto, Prof. Dr.
Waldmir, orient. II. Título

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso à minha mãe, Regina, que tanto batalhou (e ainda batalha) para eu chegar aonde eu cheguei. E a minha avó, Thelma, que estaria muito contente com mais essa conquista.

EPÍGRAFE

“A persistência é o caminho do êxito.”
(Charles Chaplin)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço ao meu Pai Maior e aos meus orixás por toda força e iluminação que recebi durante esta longa caminhada na Universidade, pra chegar aonde eu cheguei.

À minha mãe, Regina, que com toda a sua personalidade nunca me deixou desistir, e me fez seguir em frente. Graças à toda a sua persistência e luta, eu desenvolvi o meu gosto pelos estudos e pude os aproveitar ao máximo.

À minha família, em especial, tia Célia, tia Virgínia e meu primo Henrique, eu agradeço por todo apoio e incentivo ao longo desta árdua jornada e por vibrarem comigo na mesma sintonia que eu em cada conquista até aqui.

Aos meus amigos que ouviram pacientemente todas as minhas reclamações, que não foram poucas, que vibraram comigo, que choraram e caminharam ao meu lado. Àqueles que me fizeram companhia à distância enquanto eu estava no intercâmbio. Seria impossível listar todos sem que ficasse em falta alguém, mas em especial, agradeço às minhas irmãs da vida Thainá, Mariana Pimpa, Letícia e Clara. Aos meus amigos que o IFRJ me deu: Wallace, Mariana Colonese, Maria Mariana, Edson, Caio e Christian. Às amigas que a UFRJ me deu: Yasmim, Isabelle e Luciana. Em destaque, um eterno agradecimento à Laíssa, que sem ela, com toda certeza eu não teria finalizado esse TCC. O nosso apoio mútuo para terminar a graduação foi extremamente essencial. Aos meus colegas de trabalho que foram muito compreensivos nas horas que eu precisei.

Ao meu orientador, Prof. Waldmir, o querido Barroco, por tantos tempos de aula ministrados, por tanta sabedoria repassada. Do senhor eu absorvi ao máximo e sempre me recordo das suas aulas. Obrigada por ter aceitado caminhar comigo nessa empreitada tão importante.

Ao Prof. Michel por toda a assistência ao longo do meu intercâmbio. Sem o senhor não teria sido possível vivenciar a experiência mais incrível da minha vida.

Por último, mas não menos importante, ao meu namorado Adriano, por sempre estar ao meu lado, nos pontos mais baixos e altos. Pela paciência, pelo carinho e pela compreensão. Por ter me ajudado nessa fase final do TCC, com tanto amor.

EQUIVALENTISMO E A ELEVAÇÃO DE UMA CULTURA ANTIATOMISTA NA HISTÓRIA DA QUÍMICA

Ana Luiza de Oliveira Ramalho
Janeiro de Dois Mil e Vinte e Dois

Orientador Responsável: Prof. Dr. Waldmir Nascimento de Araujo Neto

A educação científica escolar não destaca com a relevância apropriada o contexto histórico em que foram concebidas as ideias que modificaram completamente os rumos da Ciência. Entretanto, a história por detrás dos conceitos que utilizamos atualmente são de suma importância para o entendimento de que o fazer ciência é um trabalho progressivo, que envolve o esforço de muitas pessoas. Com isso, o presente trabalho tem como objetivo ressaltar a importância da História da Química, escolhendo como recorte histórico o período equivalentista, que foi precedente para a Química Moderna. Através de uma seleção de artigos em bases bibliográficas sobre os assuntos “equivalentismo”, “peso equivalente” e “congresso de Karlsruhe”, foi possível coletar as informações necessárias para a construção deste texto. Em meio a revolução científica se dá o surgimento do equivalentismo, período no qual o peso equivalente, proposto por Richter, dá o pontapé inicial à Química como conhecemos atualmente. O nascimento da estequiometria e o desenrolar da teoria abre novos caminhos, dessa vez sob o olhar quantitativo das reações químicas. Apesar da tratativa matemática da Química, a noção do equivalente sofre fortes abalos quando John Dalton propõe a teoria atômica, que divide opiniões entre a comunidade científica. Além disso, a expansão da Química como uma ciência independente trás dificuldades de compreensão entre os cientistas da época, que precisam chegar a um acordo em comum sobre as noções de “átomo”, “molécula” e “equivalente”. Para isso, foi organizado o Congresso de Karlsruhe, que foi o primeiro congresso internacional de Química. Este evento teve consequências positivas como o trabalho de Cannizzaro, que foi um divisor de águas e trouxe definições coerentes em relação aos átomos e moléculas e seus respectivos pesos. Através das prerrogativas deste trabalho, Mendeléiev descreveu as propriedades periódicas e esboçou a primeira tabela periódica. Ainda assim, o atomismo experimentou bastante resistência por parte dos químicos franceses, que por razões sociais como a doutrinação positivista e questões políticas negavam a teoria atômica como algo adequado para o futuro da Química. Além disso, a concepção de uma hipótese pautada em uma realidade metafísica, sem evidências empíricas corroborava com a resistência francesa, visto que o equivalentismo era completamente pautado na experimentação e trazia resultados, de certo, modo satisfatórios para a realidade da época.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVOS GERAIS	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. METODOLOGIA	17
4. CONTEXTO HISTÓRICO E SOCIAL	20
4.1. O ILUMINISMO	20
4.2. A REVOLUÇÃO QUÍMICA	23
5. O SURGIMENTO DO EQUIVALENTISMO	25
6. O ATOMISMO DE DALTON	31
7. O CONGRESSO DE KARLSRUHE E O CONSENSO DA COMUNIDADE CIENTÍFICA	35
8. A RESISTÊNCIA FRANCESA AO ATOMISMO	42
9. CONSEQUÊNCIAS DO CONGRESSO DE KARLSRUHE	48
10. O EQUIVALENTE-GRAMA E A NORMALIDADE NA QUÍMICA ANALÍTICA MODERNA	50
11. CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Capa dos livros Méthode de nomenclature chimique (1787) e Traité élémentaire de chimie (1789)	22
Figura 2: Jeremias Benjamin Richter.....	25
Figura 3: Auguste Laurent e Charles Frederic Gerhardt, respectivamente.....	28
Figura 4: Duhem e Wollaston, respectivamente.....	30
Figura 5: Retrato de John Dalton.....	31
Figura 6: Os cientistas Kekulé, Weltzien e Wurtz, respectivamente.....	38
Figura 7: Retrato de Stanislao Cannizzaro.....	39
Figura 8: Jean-Baptiste Dumas.....	45
Figura 9: A primeira versão da tabela periódica proposta por Mendeléiev em 1869.....	49
Figura 10: Exemplos de expressões para o cálculo do equivalente-grama das substâncias HCl e Mg(OH) ₂	51
Figura 11: Equação geral para expressão da concentração em normalidade de uma solução.....	51

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: “Pesos equivalentes” de Richter de algumas substâncias químicas.....	27
Tabela 2: Exemplos de notações químicas diferentes propostas por Davy e Berzelius para os mesmos compostos, de acordo com o peso equivalente concebido.....	28
Tabela 3: Exemplo de refinamento de fórmulas proposto por Duhem.....	29
Tabela 4: Países participantes do Congresso de Karlsruhe e seus respectivos cientistas.....	36
Tabela 5: Pesos atômicos estabelecidos por Cannizzaro em 1858 em comparação com as massas atômicas médias estabelecidas pela IUPAC em 2019.....	40

1. INTRODUÇÃO

A prática do ensino de química está imbricada com o atomismo. Esse é o tema que, normalmente, abre os estudos de química no ensino médio, e mesmo ao se falar de química no ciclo fundamental esse conteúdo emerge com diferentes transposições. Esse é um aspecto peculiar quando refletimos acerca da práxis dessa disciplina na educação básica, pois ao visitarmos a história do atomismo, percebemos que sua aceitação é pequena, quando comparada com o ciclo temporal daquilo ao que podemos nos referir historicamente como “química”.

A história do atomismo é um dos temas mais visitados e revisitados, tanto no campo acadêmico da história da química, quanto nas pesquisas sobre incorporação de episódios históricos no ensino de química. Todavia, a química tem início, enquanto disciplina, rejeitando o atomismo. Os motivos são diferentes, e desejamos problematizá-los nas linhas à frente, mas estão ancorados em uma posição exclusiva: sua condição especulativa e quase-mística ao longo da história.

Acreditar em átomos é uma prática recente, com algo em torno de uns cem anos. É famosa, a manifestação agressiva promovida por Hermann Kolbe (1818-1884) contra quem se tornaria o primeiro Prêmio Nobel de Química (KOLBE, 1877). Jacobus Henricus Van't Hoff (1852-1911) reagiu aos ataques de Kolbe em 1878, ao tomar posse na Universidade de Amsterdam, com um discurso a favor na “Imaginação na Ciência”, mas acabou indo, aos poucos, ao encontro de outros objetos de pesquisa, longe da química estrutural (SNELDERS, 1974). Esse interregno entre van't Hoff e Kolbe e o Primeiro Nobel para a química em 1901 podem ser indicados como um momento inicial de disputa entre o átomo e a noção prevalente nas pesquisas em química até o século XIX: o equivalentismo.

A recepção de novas ideias nem sempre é bem-vinda em toda a comunidade científica. Esse foi o caso da hipótese atômica de Dalton. Seu surgimento dividiu os estudiosos do século XIX entre aqueles que acreditavam que as partículas indivisíveis eram a chave para o desenvolvimento da química e aqueles que acreditavam que a teoria equivalentista, até então amplamente

aceita entre os cientistas, deveria permanecer como a proposta que ditaria os rumos da química.

O chamado “intervalo equivalentista” que ocorreu entre 1806 e 1860, foi um período muito conturbado em relação ao estabelecimento e a determinação dos pesos equivalentes e a efetivação da química como disciplina. Em meio a este período, o cenário antagônico entre a teoria equivalentista e a hipótese atômica, permitiu que os termos “átomos, equivalentes e proporções” fossem utilizados indiferentemente, pois sua definição conceitual não era inteligível a todos os químicos da época.

Muitos dos cientistas que defendiam a manutenção do equivalentismo, possuíam nacionalidade francesa. Eles sustentavam que a noção de átomo não era necessária a fim de compreender o progresso químico realizado durante o século XIX, como se tivessem realizado um voto de “castidade epistêmica” (BENSAUDE-VINCENT, 1999) contra o átomo. Esse ceticismo generalizado sobre o atomismo fundamentou-se em diversos argumentos contrários à, até então insuficiente, hipótese atômica, partindo-se do ponto que o equivalentismo poderia continuar suprindo aquilo que a nova vertente não poderia (NEEDHAM, 2008).

Na prática do ensino de química, pouco ainda se movimenta acerca da história da química, sua abordagem continua ocorrendo “de modo dogmático, existindo pouco espaço para que controvérsias científicas sejam apresentadas ou discutidas” (OKI, 2007). O Equivalentismo representa uma controvérsia poderosa e muito influente. Ao negar os sentidos históricos que advém das controvérsias, estamos permitindo o apagamento de todos os anos de esforço e estudo de diversos cientistas, estudiosos e filósofos, que dedicaram suas vidas em prol do desenvolvimento da Ciência. E esse comportamento é evidenciado ao se perceber que estes empenhos raramente são relatados nos livros-textos escolares ou em trabalhos acadêmicos, e quando são, tem pouco destaque em suas páginas.

O termo Equivalentismo é um neologismo com características latinas. Ao pesquisarmos o termo em sua tradução para o inglês “*equivalentism*” na máquina do Google Acadêmico (realizada em 08/12/2023) encontramos somente 39 ocorrências, das quais 17 não estão relacionadas à história da química, perfazendo finalmente 22 ocorrências sobre o termo no contexto da nossa

pesquisa. Ao contrário, ao pesquisarmos (na mesma data de referência) o termo “equivalentismo”, retornam 49 entradas de artigos e trabalhos, das quais somente 5 não estão relacionadas à história da química, totalizando agora 44 ocorrências, o dobro, em relação às entradas. Há sobreposições de itens entre as duas pesquisas, mas parece peculiar perceber o baixo volume de resposta existente para o termo em uma plataforma caracterizada pela robustez tal e qual o Google Acadêmico.

Uma das justificativas para o baixo volume de entradas é a utilização de outro termo para designar o que costumamos significar por equivalentismo: “controvérsia atômica” (*atomic controversy*). Essa pesquisa (realizada em 08/12/2022) no Google Acadêmico ofereceu como retorno mais 12 entradas, das quais foram excluídas 2, totalizando 10 entradas, o que permanece nos causando surpresa pelo baixo interesse na delimitação do tema.

Equivalente significa “que tem o mesmo peso, valor, força” (a partir do dicionário Michaelis online¹, em 08/12/2022). Equivaler carrega o sentido de valer o mesmo, coisas que equivalem têm o mesmo valor. Valor é um sentido muito especial desde longa data na Química, que por exemplo desdobra-se no conceito de Valência. Por sua vez, o sufixo “ismo” denota um conceito de ordem geral, sua raiz é grega, atravessa o latim e passa a ser incorporada em definitivo no Português do Brasil a partir do século XIX (FURLAN, 2006). Equivalentismo será então um conceito em movimento entre pessoas de um dado lugar, em determinado tempo, que adotam (ação) a noção de Equivalente como opção, em detrimento de referirem-se a, ou adotarem o termo e a categoria Átomo como fundamento para seu trabalho em práticas associadas ao segmento de conhecimento conhecido como química na Filosofia Natural.

Não há na literatura nenhum texto que ofereça o título “História do Equivalentismo”, e consideramos ser prudente não adotar essa locução como nosso título, pois representaria desde seu início uma proposição ousada e além das possibilidades de nossa construção. Todavia, isso não nos impede de assumir com o leitor uma posição de compromisso para pensarmos “certos aspectos históricos do equivalentismo”. A História nos ensina e nos lembra

¹ Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=equivalente>

sobre os períodos já vividos que foram e ainda serão importantes para o desenvolvimento da sociedade.

A História da Ciência tem papel importante e salienta em sua formulação que a Ciência não é feita de um dia para o outro, que o fazer Ciência é um processo demorado, composto de mais erros do que acertos. Esse processo de ir e vir do conhecimento é desconhecido daqueles que estão em idade escolar e muita das vezes, é também pouco considerado pelos professores da área. A ausência de momentos reservados para estas explanações e discussões a respeito do fazer Ciência, leva à falsa impressão de que quem constrói o conhecimento, que atualmente é estudado na escola, são pessoas dotadas de inteligência excepcional, exclusivas. Isso também promove a ideia de que o conhecimento descrito nos livros escolares conseguiu alcançar o patamar que possui hoje de forma mágica, como se de repente um cientista tivesse uma brilhante ideia e descobrisse, por exemplo, o átomo.

A compreensão de que a História, mais especificamente da História da Química, é apenas uma atividade de memorização de datas e nomes, vinculados a acontecimentos, muita das vezes abstratos, promove a compreensão de que o conhecimento não está diretamente ligado à construção social e cultural da época em que ele foi produzido (KING, 1991). Atrelado a isso, perde-se também o contexto, a definição original na qual aquele conceito foi elaborado e a evolução dele ao longo do tempo.

A familiarização da História envolvida por detrás de um conceito ou definição pode facilitar o trabalho de professores de Química em sala de aula. A grande maioria dos alunos possui uma relação difícil com a disciplina, pois envolve muitos conceitos que necessitam de alto grau de abstração. Essas dificuldades se não sanadas de imediato, são levadas até o fim do curso e tornam a convivência com a Química muito atribulada. Logo, com o conhecimento sobre o desenrolar das teorias científicas, da evolução de conceitos básicos, o professor tem maior possibilidade de compreender as dificuldades do alunado e assim, construir estratégias mais inteligentes de ensinar e esclarecer as dúvidas dos mesmos (PADILLA, FURIO-MAS, 2007). Esse conhecimento químico, em perspectiva histórica, além de não ser abordado no ensino básico, também não é suficientemente colocado em movimento nas

universidades (KING, 1991). A familiaridade com o saber histórico é deficiente mesmo no ensino superior e merece mais espaço nas atividades e currículos.

2. OBJETIVOS

A química possui certos episódios históricos que são, por vezes, eclipsados pelo culto a pessoas e a outros conceitos considerados “funcionais” ou “mais importantes”. De certo que não é possível tanger a totalidade histórica, mas também de certo ela deve ser pretendida, ao menos, como utopia, sob o risco de posicionarmos nossa visão de mundo sob a lente do fascismo. Perseguir essa totalidade significa olhar embaixo e ao lado das pilhas de produções que, confortavelmente, manifestam conhecimento a respeito de lugares seguros, para com todo risco entregar-se ao estranho lugar daqueles que não foram visitados ainda.

2.1. Objetivos gerais

O objetivo geral deste projeto é estudar a noção de equivalentismo, a partir do solo teórico e metodológico da história da química, em uma perspectiva externalista, como um conceito que se contrapôs ao atomismo, mas que foi capaz de viabilizar desdobramentos importantes e decisivos para a química e a prática dos químicos.

2.2. Objetivos específicos

- Explicitar o que foi o movimento equivalentista, suas características regionais em torno da França e a sua ampliação como movimento estruturador do conhecimento químico no século XIX;
- Contrapor as questões conceituais do equivalentismo em relação ao atomismo;
- Demonstrar os motivos da resistência à adoção do atomismo;
- Assinalar as contribuições do Congresso de Karlsruhe para a química, e os seu papel para firmar a química como disciplina acadêmica;
- Apresentar aplicações do equivalentismo no cenário da química contemporânea.

3. MÉTODO

Um dos princípios do método de trabalho adotado nesta pesquisa é o movimento. Esse movimento se situa na articulação entre três categorias: (i) pessoa; (ii) coisa; (iii) lugar. Essas três categorias são articuladas e movimentadas em função do tempo histórico. O tempo histórico se distingue do tempo cronológico pela admissão da perspectiva do viés, um conceito que pode assumir outros nomes, como por exemplo, “recorte”. Um exemplo, enquanto na perspectiva cronológica o século XIX tem somente cem (100) anos, para a história da química podemos dizer que ele não acabou. O tempo histórico tem a propriedade de transformar a finitude em infinitude, de tal forma que temos, em sentido histórico, um infinito século XIX.

O século XIX é o tempo histórico central do equivalentismo. Mas para entender como se pensa em termos de equivalentes no século XIX, devemos percorrer outros lugares para conhecer outras pessoas e outras coisas que determinaram esse equivalentismo. O maior amigo e ao mesmo tempo inimigo da produção histórica é o tempo. Não há história sem tempo, mas é preciso muito tempo para contar uma história, e por isso escolhas são necessárias. Um capítulo sobre o método de uma produção-pesquisa histórica é praticamente um festival de desculpas, academicamente consideradas justificativas, que tentam fazer com que o leitor aceite as escolhas do autor sobre um determinado olhar para conversar-se sobre. Seria possível olhar para muitos lugares, mas escolhas são necessárias.

Nossas escolhas são de transitar entre pessoas, coisas e lugares, mas para isso tomamos como referência os estudos que foram produzidos sobre equivalentismo. A seleção de artigos foi realizada nas bases bibliográficas Google Acadêmico e JSTOR. Devido à baixa abordagem do assunto na literatura, foram adquiridos artigos publicados em um período de tempo entre 1928 e 2016.

Para a base de dados JSTOR, a seleção de artigos foi realizada com a palavra “equivalentism”, utilizando os filtros “journals” em academic content, e em subject foram marcadas as opções “chemistry”, “education” e “history of Science & technology”. A seleção realizada entre os resultados obtidos foi

baseada no título dos artigos, os quais tinham relação com a química. Para a base de dados Google Acadêmico, foram pesquisados os termos “equivalentismo”, “peso equivalente” e “congresso de Karlsruhe”, em relação ao contexto químico. Foram dispensadas as entradas referentes à livros. Os artigos selecionados foram escritos em português, inglês, espanhol ou francês, em ambas as plataformas. Para o contexto histórico foram pesquisadas as palavras-chaves “iluminismo” atrelado ao termo “educação” e “revolução científica” atrelada ao termo “química” e “França” na base de dados Google Acadêmico. Neste caso só foram analisadas as referências em português.

O método que utilizamos para traçar as linhas à frente adotam justificação epistêmica por meio do externalismo, que nos indica os fatores externos, sociais, culturais, artísticos, políticos, materiais, ou de qualquer área da atividade humana como determinantes da função histórica (AGASSI, 1981). Com essa escolha, assumimos que o caminho para o equivalentismo tem como trilha a própria história do capitalismo e as práticas decorrentes geradas: pela ascensão da burguesia, pela instalação da contra-reforma, sobre a necessidade de uma nova visão de mundo para substituir a visão medieval, aliada ao desenvolvimento da crença na capacidade do conhecimento como agente de transformação da realidade.

O equivalentismo manifesta-se como uma possibilidade de conhecimento regulado pela ordem matemática, que provê à química, ainda pouco confiável, um estribo para o caminho tortuoso à frente. O fim da Alquimia não se deveu diretamente a um abandono às questões místicas e transcendentais da Grande Arte, mas à derrocada sócio estrutural do trabalho artesanal. Entre os séculos XVI e XVIII, a produção industrial, que até então se organizara de forma artesanal, por meio de artesãos independentes, passa por diferentes formas de organização. O sistema doméstico, no qual um intermediário entrega ao artesão a matéria-prima, que trabalhando em sua casa, com ferramentas próprias, transforma-a em produto acabado, que é apoderado novamente pelo intermediário. Esse sistema é substituído pelo de manufatura, no qual um conjunto de trabalhadores é reunido sob o mesmo teto e participam em conjunto da elaboração do produto, mas agora não detém mais os instrumentos de produção, nem o conhecimento do processo, pois cada um só realiza uma parte.

A alquimia representava essencialmente um processo artístico, um artesanato, essencialmente um processo de formação e transformação pessoal.

As imbricações históricas entre as dinâmicas capitalista e científica no período não são diretas ou necessariamente sincrônicas. Por exemplo, Hobsbawm (1981) afirma que não foram as invenções técnicas que mobilizaram a Revolução Industrial, e nem mesmo as máquinas a vapor rotativas, e cientificamente sofisticadas, de James Watt (1784) necessitavam de novos conhecimentos de física. A Teoria inerente e adequada ao funcionamento das máquinas a vapor foi desenvolvida *ex-post-facto* pelo francês Sadi Carnot (1820) (HOBBSAWM, 1981). Assim, o infinito século XIX marca o abraço definitivo entre ciência e burguesia.

A pesquisa que realizamos procura atingir os objetivos postulados ao investigar na bibliografia os determinantes do conceito de equivalentismo e circunstanciar algumas de suas consequências, mantendo como contraponto a este conceito a noção de atomismo, que entre os séculos XIX e XX passará de marginal a central, por razões que não exploraremos em nosso texto. Nas linhas à frente delimitaremos algumas características históricas e sociais que envolvem os atores e os lugares do equivalentismo: destacaremos as condições do seu surgimento; demarcaremos o papel e as características que o Congresso de Karlsruhe (1860) para o início, lento seguro e gradual, do tensionamento sobre o equivalentismo como fundamento da prática dos químicos; ao final fixaremos alguns aspectos da permanência do equivalentismo em noções e conceitos contemporâneos, em boa medida para reafirmar proposições já apresentadas na literatura acerca da impossibilidade de se considerar invariavelmente a sobreposição de conceitos científicos “antigos” por “novos”.

4. CONTEXTO HISTÓRICO E SOCIAL

Os séculos XVIII e XIX foram períodos da história de grande prestígio. O conhecimento produzido ao longo desses séculos abriu portas para a construção de uma ciência que destoava da já existente. A caracterização do filósofo como propriamente um cientista lutava contra as trevas, a ignorância, o despotismo e a superstição (CHASSOT, 1994).

O século XVIII, também chamado de Século das Luzes, deu entrada para uma nova construção de conhecimento, modificando a forma de enxergar o mundo dos filósofos, que culminou no iluminismo. Esse movimento, alterou a maneira com que a sociedade se organizava e a forma com que a ciência era concebida. O mundo e os seus eventos deixaram de ser vistos por uma perspectiva religiosa e sagrada e passou a ser interpretado através da razão (MELLO, 2011).

Enquanto no século XIX, a ciência tomou forma e alcançou novos caminhos. Além de suprir as necessidades da curiosidade basal do homem em relação à natureza, a ciência passou a ser construída como uma ferramenta de auxílio para a melhoria da própria natureza (CHASSOT, 1994). A química ganha destaque e se consolida como um ramo da ciência de relevância. E passa a gerar conhecimentos que alteram os rumos da vida, que refletem até os dias atuais (CHASSOT, 1994).

4.1. O iluminismo

O iluminismo foi um movimento político, social, histórico e científico que surgiu no final do século XVIII a fim de romper com os dogmas do absolutismo predominante nos países da Europa. Este pensamento tinha como embasamento “a crença no poder da razão humana de compreender nossa verdadeira natureza e de ser consciente de nossas circunstâncias.” (MELLO, 2011, p. 252).

Isso significa, que o homem é o detentor da sua própria razão e que deveria suprimir toda e qualquer vertente religiosa em âmbitos não relacionados com a fé propriamente dita. A Igreja, deixaria de ser uma entidade formadora de

opinião, regente da sociedade absolutista de forma coadjuvante, para uma apenas uma parte de um todo.

Este movimento ganha força, e têm seu auge, ao longo do século XVIII, o chamado “Século das Luzes”, abandonando o misticismo da erudição e trazendo por detrás de toda a produção de conhecimento científico-filosófico duas novas vertentes, o empirismo e o racionalismo:

As fontes principais do Iluminismo estão na filosofia do racionalismo e do empirismo, de modo que o racionalismo fornece ao iluminismo o método crítico, a atitude demolidora da tradição, para instaurar a luz, a evidência, a clareza e a distinção da razão e o empirismo contribui para tudo isto proporcionando um procedimento simples, a fim de reconstruir toda a realidade por elementos primitivos mediante o mecanismo e o associacionismo (PADOVANI, 1977, p. 337).

Assim, o iluminismo composto por diversos filósofos, entre eles os franceses Rousseau, Montesquieu e o inglês Locke, se pauta em movimento liberal, empírico e racional, no qual,

“A ciência, portanto, seria atingida por um novo paradigma, abarcada por uma dimensão social e pessoal, atingindo as regiões mais profundas da existência humana. Perderia os valores eclesiásticos, predominantes em seu pensamento pré-liberais. O Universo perderia o seu encanto. Além de ser despojado das suas características mais significativas, que dariam, subjetivamente, sentido à vida como um todo”. (MELLO, 2011, p. 262).

Na França do século XVIII, tem-se um período de questionamentos sobre a prática social, econômica, jurídica e religiosa. Essas questões recolocaram a noção de natureza humana. Outra questão colocada é saber se o modo de investigação e exercício dos fenômenos físicos, a matemática, pode ser aplicado na íntegra à investigação de todo e qualquer fenômeno. Outro Enciclopedista, Denis Diderot (1713-1784) afirma que a metodologia e sistematização necessárias a qualquer investigação devem adequar-se aos diferentes objetos de estudo.

As reflexões sobre a natureza do homem recaem também sobre a necessidade de formação de um novo indivíduo. Para mudar a sociedade é necessário mudar o indivíduo, por isso é necessário criar um lugar específico para essa missão, a escola. Juntamente com a admissão de um sentido de necessidade de formação da pessoa, nitidamente alguém que possa estar

alinhado aos interesses do estado, admite-se também a prioridade de pensar uma Teoria Linguística, uma ordenação para o uso correto da linguagem. Falar corretamente na França passará também a ser um meio de qualificar esse indivíduo como indivíduo social. No interior desse movimento estão as contribuições de Antoine Lavoisier (1743-1794), que a partir de 1787, publica trabalhos (Figura 1) que modificariam os rumos da Química. Suas obras traziam estudos da nomenclatura dos elementos e compostos químicos, e o primeiro tratado da Química Moderna (POLO, 2010).

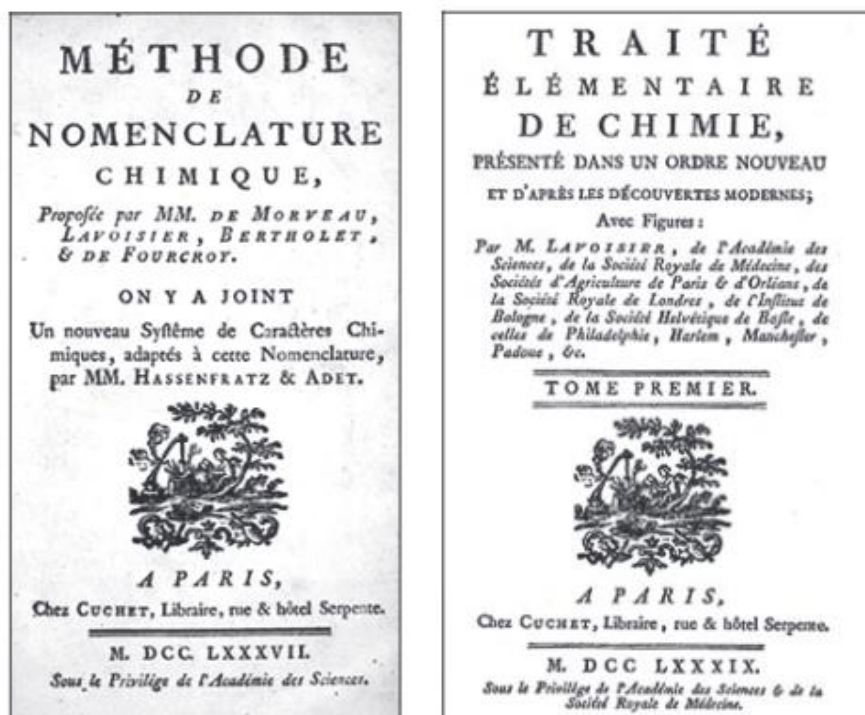


Figura 1: Capa dos livros *Méthode de nomenclature chimique* (1787) e *Traité élémentaire de chimie* (1789)

Fonte: POLO (2010, p. 232 e 233)

As contribuições de Lavoisier impuseram problemas à primeira grande teoria da química, a Teoria do Flogisto (1659), e são indicadas como o marco inicial da chamada Revolução Química, que tem sua relevância evidenciada ao longo do século XIX (POLO, 2010). Os textos de Lavoisier influenciaram, por exemplo, John Dalton, que adotou a tabela de elementos químicos publicada no *Traité élémentaire de chimie* (1789) (NYE, 1996, p.31).

4.2. A Revolução Química

O século XIX se consolida como um século que marca a alvorada das ciências, tanto exatas quanto humanas. Um novo olhar sob o mundo é estabelecido quando “a ciência não só passa a responder às interrogações [sobre a natureza], mas também, ao interferir na própria natureza, a determinar novas e melhores maneiras de viver.” (CHASSOT, 1994, p. 130).

No campo das ciências exatas, foram estabelecidos muitos avanços: na biologia, a publicação do livro “A Origem das Espécies” de Darwin e na física, os avanços nos estudos da eletricidade. A Química teve grande destaque devido aos diversos avanços obtidos a partir dos trabalhos de Lavoisier e a descoberta do oxigênio, e da descoberta da pilha por Alessandro Volta (1745-1827) (CHASSOT, 1994).

Foram descobertos 30 novos elementos no início do século, em grande parte, por H. Davy (1778-1829) e J. J. Berzelius (1779-1848), que sozinhos encontraram um terço destes elementos entre 1807 a 1828 (POLO, 2010).

“É importante ressaltar esse feito, pois a aplicação de novas técnicas desempenhou um papel determinante no avanço da Química no alvorecer do século XIX. Nesta época a química tinha acabado de ser considerada como uma ciência exata e haviam sido estabelecidas as principais leis estequiométricas.” (POLO, 2010, p. 233).

Além disso, a insurgência de uma visão mais quantitativa da Química, trouxe a necessidade de instrumentos mais precisos, devido ao estabelecimento de novas leis de proporcionalidade e combinação, que precisavam ser validadas. O surgimento da teoria atômica de Dalton, a concepção de uma nomenclatura universal de compostos e a classificação periódica dos elementos, são exemplos dos avanços químicos notáveis conquistados ao longo do século XIX (CHASSOT, 1994).

O berço predominante da produção de conhecimento científico, ao longo deste período, foi a França. O país foi território de duas revoluções importantes, que tiveram suas execuções de forma coincidente: a revolução química, no âmbito científico, e a revolução francesa, no âmbito social (MOCELLIN, 2003).

“A Revolução Francesa foi o acontecimento que marcou a História do Ocidente. A transformação da sociedade francesa derrubou

uma monarquia absolutista, rompendo definitivamente com os costumes seculares que submetiam os camponeses a obrigações feudais e pôs fim à sociedade de Ordens abrindo espaço para uma nova classe social: a burguesia que iria comandar o século XIX.” (SCHMIDT, 2012, p 2).

Assim, o contexto histórico, científico e social da época foi marcado por significativas transformações, que alteraram completamente o rumo do pensamento humano, que resultou em grandiosas contribuições para a sociedade moderna.

5. O SURGIMENTO DO EQUIVALENTISMO

Os primeiros passos da Química como de fato uma ciência moderna, tal qual estamos acostumados atualmente, tem sua trajetória marcada pelo surgimento da estequiometria. Este campo de estudo promoveu uma ruptura na Química, delineando com mais afinco os limites da Química analítica quantitativa e qualitativa. (PADILLA, FURIO-MAS, 2007).

Esta caracterização mais matemática da Química foi cunhada por um matemático alemão, Jeremias Benjamin Richter (1762-1807), que possuía um grande interesse na Química e acreditava que ela era, na verdade, um subcampo da Matemática, e por isso ele se ocupava em encontrar regularidades nas proporções combinadas (PARTINGTON, 1961) das reações químicas.



Figura 2: Jeremias Benjamin Richter

Fonte: DARMSTAEDTER, OESPER. (1928, p. 786)

Richter observou em 1792, que os produtos obtidos através de uma reação que envolvem dois sais neutros mantêm a neutralidade, independentemente se ambos os reagentes passam por decomposição (DARMSTAEDTER, OESPER, 1928).

Além disso, ele observou que a massa dos reagentes se mantém constante, em quantidades equivalentes, em uma reação de neutralização. Assim, Richter formulou a “lei das proporções recíprocas” ou “lei dos equivalentes”, que afirma que a quantidade dos corpos A e B que reagem com um corpo C, também reagem na mesma quantidade entre si (LAUGIER, 2001). Essa relação pode ser mais bem expressada da seguinte maneira:

“Todas as reações químicas ocorrem em proporções de peso, representadas por ‘pesos equivalentes’ elementares. Um ou mais ‘pesos equivalentes’ adimensionais podem ser atribuídos a cada elemento, que para um dado elemento formam uma série de pequenos submúltiplos integrais de um número característico (frequentemente, embora nem sempre, ele próprio um peso equivalente)” (ROCKE, 1984, p. 10)

Ainda que Richter não fosse um excelente analista químico, e sua escrita fosse confusa, ele afirmava que seu teorema proposto fosse de grande relevância e que era verdadeiro, apesar dos seus resultados obtidos fossem provenientes de experimentos com fontes de erros (DARMSTAEDTER, OESPER, 1928).

Seu trabalho só teve destaque quando, em 1802, Ernest Gottfried Fischer (1754-1831) tabelou os resultados encontrados por Richter (DARMSTAEDTER, OESPER, 1928). Alguns dos resultados obtidos são demonstrados na Tabela 1, e são referentes ao equivalente necessário para reagir em comparação com 1000 partes de ácido sulfúrico.

Isso significa que, por exemplo, o equivalente-grama referente ao ácido fosfórico, é a quantidade desta substância necessária para neutralizar tanta soda quanto em comparação com o ácido sulfúrico. (PADILLA, FURIO-MAS, 2007). Em 1803, Richter publicou uma nova tabela expandindo-a para 18 ácidos e 30 bases.

Nas três décadas seguintes, o sistema equivalentista proposto por Richter, e publicado em seu livro, ganhou destaque, sendo aceito de maneira geral pelos academicistas (SHINN, 1980).

De modo geral, o conceito de equivalente-grama consistia em uma unidade relativa. Logo, uma definição operacional do peso equivalente pode ser expressa como “a quantidade de um elemento que combina com, ou substitui, uma parte de hidrogênio ou oito partes de oxigênio” (ROCKE, 1984, p. 11). Essa quantidade é expressa em massa, e é válida para elementos, compostos ou íons (CATANI, 1950).

O termo “equivalente”, cunhado por Richter, foi enunciado pela primeira vez por Henry Cavendish (1731-1810), no século XVIII, mas foi popularizado somente em 1814 por William H. Wollaston (1766-1828) (OKI, 2007).

Tabela 1 - “Pesos equivalentes” de Richter de algumas substâncias químicas²

	Substâncias	Pesos Equivalentes
Bases	Alumina	525
	Magnésio	615
	Cal	793
	Soda	859
	Potassa	1605
Ácidos	Carbônico	577
	Muriático	712
	Fosfórico	979
	Sulfúrico	1000
	Nítrico	1405
	Acético	1480

Fonte: PADILLA, K. FURIO-MAS, C. (2007, p. 405)

Os pesos equivalentes, além de caracterizarem a química sob um viés mais matemático, também ajudaram os químicos da época a desenvolver uma ciência mais focada na combinação dos elementos, ainda que as reações estudadas fossem somente no campo macroscópico (PADILLA, FURIO-MAS, 2007).

Assim, de maneira resumida, para estabelecer o peso equivalente de um elemento, precisava-se adquirir a informação sobre o equivalente através da experimentação analítica, com entidades “perfeitamente empíricas”, mas que sofriam modificações de acordo com o composto analisado. Essa particularidade resultava em diversos elementos que apresentavam muitos valores diferentes de equivalência. E, por último, sendo uma característica observada posteriormente, os pesos equivalentes são números iguais ou submúltiplos dos pesos atômicos dos elementos analisados (ROCKE, 1978).

Os químicos franceses C. F. Gerhardt (1816-1856) e A. Laurent (1807-1853), trouxeram inovações em relação ao sistema equivalentista proposto por Richter. Eles focaram na questão da notação química e na sua adequação ao equivalentismo (LAUGIER, 2001).

² A referida tabela expressa algumas substâncias com a nomenclatura antiga. Alumina: Al_2O_3 , Cal: CaO , Soda: Na_2CO_3 , Potassa: K_2O e Muriático: HCl .

Visto que um único valor de peso equivalente poderia corresponder a diversas substâncias, pois dependia da substância analisada (ROCKE, 1978), e que essa característica gerava resultados dúbios, eles tiveram que recorrer a novas estratégias a fim de estabelecer os pesos equivalentes. A situação pôde ser contornada considerando modificar a base oxidante para alguns elementos, como o caso do alumínio. Ao invés de se utilizar a base primária deste elemento, seria necessário utilizar a terciária (modificando o equivalente do alumínio de 8 para 13,75). Essas adaptações também poderiam ser realizadas para os ácidos iodídrico e clorídrico (SHINN, 1980).

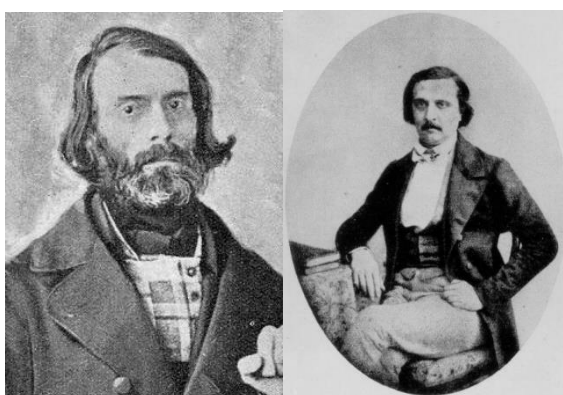


Figura 3 – Auguste Laurent e Charles Frederic Gerhardt, respectivamente.

Fonte: Tourisme Langres; VIEL, C. (2007, p. 191)

Outro fator problemático no uso dos equivalentes era a discordância quanto à determinação do valor para o oxigênio. Diferentes equivalências geravam diferentes notação químicas, o que permitiu produzir fórmulas diferenciadas para cada estudioso (Tabela 2).

Tabela 2: Exemplos de notações químicas diferentes propostas por Davy e Berzelius para os mesmos compostos, de acordo com o peso equivalente concebido.

Substância	Fórmula de Davy	Fórmula de Berzelius
Ácido Sulfúrico	S^2O^8, H	S^2O^6, H^2O^2
Sulfato de potássio	$S^2O^8K^2$	S^2O^6, K^2O^2

Fonte: SHINN, T. (1980, p. 541)

Além disso, Laurent e Gerhardt, foram os pioneiros a propor uma estrutura para álcoois, gorduras e fenóis. Ainda que eles estivessem convencidos de que o equivalentismo, e nem a teoria dualista de Berzelius, provesse fundamentos suficientes para serem aplicados à química orgânica (SHINN, 1980).

Para P. Duhem (1861-1916), os equivalentes são apenas uma quantidade de massa que um elemento utiliza proporcionalmente para se combinar com outro elemento e assim formar um composto. E que a partir destes compostos, é possível, arbitrariamente, “refinar” fórmulas que expressem não somente o número de equivalentes de cada composto como também destacar partes de um composto (Tabela 3) de forma coerente (ZWIER, 2011).

Tabela 3 – Exemplo de refinamento de fórmulas proposto por Duhem

Etanol	
Fórmula bruta	Fórmula com grupo etil em destaque
C^2H^6O	$(C^2H^5)HO$

Fonte: ZWIER (2011, p. 849)

Além disso, Duhem explicita que a noção de valência, proposta por Kekulé e utilizada na teoria atômica de Dalton, nada mais é que um simples método de contabilização de grupos intercambiáveis. E que, com isso, o termo *atomicidade* poderia ser substituído pelo termo *valência*, assim como os *átomos* poderiam ser substituídos por *equivalentes* (ZWIER, 2011).

Para Wollaston, os equivalentes tinham um significado diferente. Ele escolheu um valor invariável de equivalente para cada elemento, que seria utilizado para calcular o peso molecular dos compostos naturais. O valor escolhido não foi aleatoriamente, mas sim de acordo com a fórmula proposta para o menor óxido do elemento em análise. Assim, Wollaston consegue transportar os equivalentes do campo experimental para o campo teórico (ROCKE, 1978).

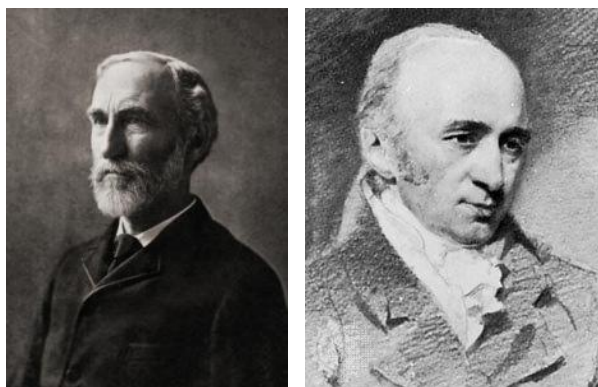


Figura 4 – Duhem e Wollaston, respectivamente.

Fonte: Filosofia e História da Ciência da UFABC e Britannica

O equivalente-grama perdeu seu conceito original com a adoção universal da teoria atômica como pilar da Química moderna. Entretanto, este conceito foi tão importante para a compreensão das reações químicas, que a definição de “equivalente químico” foi adaptada, sendo associada atualmente a quantidade de “partículas” equivalentes em uma reação, ao invés da quantidade de massa (PADILLA, FURIO-MAS, 2007). E o nome foi melhor traduzido como equivalente-grama (vide capítulo 10).

6. O ATOMISMO DE DALTON

Os átomos propostos por J. Dalton (1766-1844) seriam entidades quimicamente indivisíveis, no qual cada elemento possuiria um peso atômico único e que se combinariam com outros elementos em pequenas proporções de integrais múltiplas (ROCKE, 1978). Para Dalton, a química e a filosofia da química seriam uma só (ZWIER, 2011). O que nos leva a crer que toda a hipótese atômica proposta por ele, se baseava nos fenômenos observados e procurava formas, que os explicassem acima de tudo, se pautando também na filosofia.



Figura 5: Retrato de John Dalton

Fonte: Science and Industry Museum

Essa ideia pode ser ilustrada com os manuscritos e as publicações de Dalton, que eram abundantes de teorias especulativas e trabalhos variados repletos de possibilidades que poderiam talvez explicar os fatos observados (ZWIER, 2011).

“A teoria atômica de John Dalton, como publicada em sua forma final em 1810, passa por dois momentos distintos de construção: em um primeiro momento, Dalton baseou sua proposta em uma teoria ligada a seus estudos acerca da física proposta por Isaac Newton [...] ancorada no corpuscularismo newtoniano. E um segundo momento, através seus estudos sobre misturas gasosas (1802 e 1805), com todas as discussões e críticas feitas pelos seus contemporâneos que o fizeram analisar e conceber uma união entre a proposta Newtoniana de partícula com as propostas de afinidade química, ambas apresentadas em sua época.” (MELZER, AIRES, 2015, p. 66 e 67).

O primeiro trabalho de Dalton que dá base à teoria atômica é a lei das múltiplas proporções. Ela não é derivada de resultados experimentais, contudo foi originada de forma teórica, e em seguida, testada através de experimentação. Um dos primeiros e mais básicos fatos químicos que o atomismo de Dalton

pretendia explicar era a lei das proporções constantes, o fato de que os compostos químicos são compostos de proporções constantes de elementos em peso.

A lei pode ser enunciada como ‘quando elementos combinam com outros e produzem um ou mais compostos, a massa do primeiro e do segundo elemento combinam em uma relação fixa entre si’. Esse é o caso, por exemplo, do N_2O , NO e NO_2 (NIAZ, 2001). A explicação para este fato se dá, pois os elementos sempre se combinam em proporções múltiplas inteiras simples, pois há partes integrais dos elementos que permanecem inteiras e quimicamente estáveis em uma reação química. Essas partes se desassociam uma das outras e se rearranjam com outras (ZWIER, 2011).

Em certos momentos da prática do ensino de química, outras vezes induzida por sentidos pontuados em livros didáticos, chama-se o atomismo de Dalton de Teoria Atômica, e coloca-se esta teoria como uma decorrência inequívoca das afirmações de Lavoisier sobre conservação da massa. Não faz parte dos objetivos deste texto discorrer sobre as características de enunciados tipo-Teoria, mas consideramos importante pontuar que os enunciados de Dalton podem ser considerados no máximo como tipo-Hipótese.

Considerar o atomismo de Dalton como um corpo de enunciados hipotéticos, não é desmerecer em nada o corpo de conhecimento deixado por ele. Ao contrário, é reconhecer sua coragem em se comprometer, ao nível da representação pictórica, icônica, com entes tidos como “malditos” na Filosofia Natural até ali, os átomos. Na opinião de Karen Zwier (2011), colocar essas últimas unidades de combinação (átomos) à frente do nosso olhar é o ingrediente explicativo considerado “mágico” por outros autores (NEEDHAM, 2004) em um debate sobre o sistema de proposições de Dalton.

As Proporções Fixas de partículas quimicamente indivisíveis (átomos) explicam a homogeneidade dos sistemas de materiais que podem ser observados. Não temos evidências diretas de que essa homogeneidade exista lá no interior dos sistemas, porque não é possível ver o que acontece nesse lugar. Portanto, Dalton não precisava fornecer uma explicação para nada além da homogeneidade no nível sensível. Por isso também, seus átomos são categorias em um sistema tipo tipo-Hipótese do ponto de vista dessas

categorias, pois não há nenhum tipo de estrutura axiomática sobre essa categoria que nos permita derivar as propriedades que observamos³.

Depois dos enunciados de Dalton sobre proporções constantes, quem rejeitasse o atomismo e propusesse que é possível haver homogeneidade “até o fim” (ZWIER, 2011, p. 845) tinha que dar uma razão para a combinação química ocorrer apenas em proporções específicas. A explicação de Dalton respondeu à questão de por que os elementos em combinações químicas sempre ocorrem em proporções específicas de peso e não em um *continuum* de proporções combinatórias.

Em 1807, Dalton manifesta em um conjunto de seminários (*lectures*) em Edimburgo, seu compromisso ontológico com a chamada “regra da simplicidade” (NYE, 1996, p. 32). Esse princípio indicava que: se dois elementos estão presentes em uma substância que forma um único tipo de composto, esse composto é binário, ou seja, um átomo de A combina com um átomo de B formando AB. Se esses dois elementos formam dois tipos de compostos, presume-se que um será binário (AB) e o outro ternário (A_2B ou AB_2). Se forem quatro tipos de compostos, um é binário, dois terciários e o próximo quaternário (A_3B ou AB_3). É possível decidir entre os pares combinados através da aferição da densidade do vapor, por exemplo se a relação é A_2B ou AB_2 . Uma vez que se sabe a massa relativa de cada elemento individualmente, a presença em quantidade maior (maior atomicidade) do mais pesado irá derivar vapor mais denso no mesmo volume.

O compromisso com a regra da simplicidade é uma posição importante para o atomismo de Dalton. Perceba que o “ser átomo” de Dalton é uma função secundária, mas nem por isso menor, em sua hipótese atômica. O atomismo daltoniano é um sistema de relações de massa, a menos de uma parte pouco explorada normalmente ao se falar do Quaker. No sistema daltoniano, os átomos são envolvidos pelo fluido material chamado *Calórico*, nada menos do que a causa dos fenômenos de calor. Assim, um dos aspectos centrais, e quase estruturais do átomo de Dalton é que ele está circundado por linhas de Calórico. As diferenças de tamanho inobserváveis que existem nos diferentes átomos dos elementos produzem diferentes formas de associação (estrutural) entre as linhas

³ Esse tipo de enunciado (uma Teoria Atômica) sobre categorias só estará completamente apresentado de forma axiomática (adequadamente tipo-Teoria) com Niels Bohr, cem anos depois, no século XX.

de Calórico. A associação entre dois átomos diferentes, AB por exemplo, manifesta uma associação assimétrica entre as linhas de calórico na fronteira desses dois átomos, causando um movimento “intestinal” (pense em algo similar ao cinético) desses átomos⁴.

A especulação atômica de Dalton segue ao firmar que compostos com menor diversidade de átomos são mais estáveis, pois exibem menos “movimentos intestinais” (NYE, 1996, p. 35). Com Dalton mantendo a regra da simplicidade, a representação da água são dois círculos, um vazio (oxigênio), e um com um ponto no centro (hidrogênio). Dalton rejeitou as formas de representação propostas pelo Barão sueco Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), rejeitou os resultados de Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) que contestavam a proporção um para um entre as quantidades em volume de oxigênio e hidrogênio na composição da água, e também não deu suporte à divulgação do princípio formulado por Lorenzo Romano Carlo Avogadro (1776-1856).

⁴ O movimento intestinal dos átomos, principalmente em sistemas gasosos, foco das pesquisas de Dalton, continuou a ser admitido durante o século XIX. Thomas Graham (1865-1869) usa esse termo ao postular suas questões acerca da “mobilidade molecular dos gases” em 1863 (GRAHAM, 1863).

7. O CONGRESSO DE KARLSRUHE E O CONSENSO DA COMUNIDADE CIENTÍFICA

Em setembro de 1860, em Karlsruhe, na Alemanha, foi realizado o primeiro congresso internacional de química, que dispôs da presença de 129 cientistas de 12 diferentes nacionalidades. Este encontro tinha como objetivo principal unificar alguns conceitos e definições que divergiam demasiadamente entre os cientistas, a fim de promover o desenvolvimento e a consolidação da Química, além de expandir a área.

O evento surgiu por ideia do químico alemão August Kekulé (1829-1896), que em conjunto com Charles Adolphe Wurtz (1817-1884), químico francês e do alemão Karl Weltzien (1813-1870), professor da Escola Politécnica de Karlsruhe, convidaram por meio de uma circular, 140 congressistas informando os principais tópicos a serem debatidos ao longo do congresso (OKI, 2009):

“O grande desenvolvimento que teve a química nesses últimos anos e as divergências manifestadas nas opiniões teóricas, tornaram oportuno e útil a realização de um congresso, tendo como objetivo a discussão de algumas questões importantes do ponto de vista dos progressos futuros da ciência. Tal assembleia não poderia tomar resoluções ou deliberações obrigatórias para todos, mas, através de uma discussão livre e aprofundada, ela poderia acabar com certos mal-entendidos e facilitar um entendimento comum a respeito de alguns dos seguintes pontos: Definição de noções químicas importantes, como as que são exprimidas pelas palavras: átomo, molécula, equivalente, atômico, basicidade; Exame da questão dos equivalentes e das fórmulas químicas; Estabelecimento de uma notação e de uma nomenclatura uniforme” (NYE apud OKI, 2009).

Ao longo de três dias, na cidade de Karlsruhe, 127 cientistas (Tabela 4), discutiram temas muito importantes para o desenvolvimento da Química, em especial à linguagem química e suas representações, visto que a comunidade científica estava em expansão. Entre esses temas estava a necessidade de se delimitar a utilização dos conceitos de peso atômico e equivalente químico, além da diferenciação conceitual dos termos moléculas e átomos (OKI, 2007).

O surgimento da teoria atômica, proposta por Dalton foi um dos motivos que levaram à necessidade de realização deste congresso. A dificuldade de aceitação desta teoria por uma parte dos cientistas da época se deu devido às dúvidas que assolavam a comunidade científica. Essas dúvidas eram

estruturadas por uma ausência de fatos empíricos, dificuldade de interpretação dos fatos, além de outros aspectos ontológicos e epistemológicos (OKI, 2009).

Tabela 4: Países participantes do Congresso de Karlsruhe e seus respectivos cientistas⁵

Alemanha:	França:
Babo, Baeyer, Becker, Beistein, Bibra, Boeckmann, Braun, Bunsen, Carius, Erdmann, Erlenmeyer, Fehling, Finck, Finckh, Frankland, Fresenius, Geiger, Gorup-Besanez, Grimm, Guckelberger, Gundelach, Hallwachs, Heeren, Heintz, Hirzel, Hoffmann, Kassermann, Keller, Klemm, Knop, Kopp, Kuhn, Landolt, Lehmann, Ludwig, Mendius, Meyer, Mühlhäuser, Muller, Naumann, Nessler, Neubauer, Petersen, Quinke, Scherer, Schiel, Schmidt, Schneyder, Schroeder, Schwarzenbach, Seubert, Strecker, Streng, Weltzien, Will, Winkler e Zwenger.	Béchamp, Boussingault, Dumas, Friedel, Gautier, Grandeau, Jacquemin, Kestner, Le Canu, Nicklès, Oppermann, Persoz, Reichauer, Riche, Scheurer- Kestner, Schlagdenhaussen, Schneider, Schützenberger, Thénard, Verdét e Wurtz.
Grã-Bretanha	Rússia
Abel, Anderson, Apjohn, Crum Brown, Daubeny, Duppa, Foster, Gladstone, Griffeth, Guthrie, Müller, Noad, Normandy, Odling, Roscoë, Schickendantz e Wanklyn.	Borodin, Mendeléiev, Lesinski, Natanson, Sawitsch, Schischkoff e Zinin.
Áustria	Suíça
Folwarezny, Hlasiwetz, Lang, Lieben, Pebal, Wertheim e Schneider	Bischoff, Brunner, Marignac, Planta, Schiff e Wislicenus
Itália	Suécia
Cannizzaro e Pavesi	Bahr, Berlin, Blomstrand e Gilbert
Bélgica	Portugal
Donny, Kekulé e Stas	Augusto Simões-Carvalho
México	Espanha
Posselt	Torres Muñoz de Luna

Fonte: POLO, P. R. (2010, p. 237)

O francês Jean Baptiste André Dumas (1800-1884), um renomado químico, foi um dos grandes nomes contrários à hipótese atômica. De início, Dumas “aceitou as ideias de Dalton, mas posteriormente passou a desconfiar da sua validade em função das dificuldades para utilizá-las na interpretação de seus resultados empíricos” (OKI, 2007). No seu importante livro “*Leçons sur la philosophie chimique* (1878)”, Dumas considera que os cientistas estariam tomando um voto de “castidade epistêmica” (LAUGIER, 2001):

⁵ Nesta época, a Polônia ainda fazia parte do território russo.

O que nos resta da excursão ambiciosa que nos permitimos na região dos átomos? Nada ou pelo menos nada de necessário. O que nos resta é a convicção de que a Química se perdeu aí, como sempre quando abandonando a experiência, quis caminhar sem guia através das trevas. Com a experiência à mão encontrareis os equivalentes de Wenzel, os equivalentes de Mitscherlich, mas procurareis em vão os átomos tal como a vossa imaginação os sonhou [...]. Se eu fosse o mestre, apagaria a palavra átomo da Ciência, persuadido que ele vai mais longe que a experiência; e na Química nunca devemos ir mais longe que a experiência. (DUMAS, 1878 p. 314-315).

Outro químico importante, August Kekulé (1829-1896) também expôs sua opinião a respeito da hipótese atômica pautando-se nessa concepção de que o atomismo não seria empírico, apesar de recomendável (OKI, 2009).

“Eu não hesito em dizer que, de um ponto de vista filosófico, eu não acredito na existência real de átomos, tomando a palavra no seu significado literal de partículas indivisíveis de matéria. Eu prefiro esperar que nós possamos algum dia encontrar, para o que nós agora chamamos átomos, uma explicação mecânico-matemática para o peso atômico, a atomicidade e numerosas outras propriedades dos chamados átomos. Como químico, porém, eu recomendo a suposição de átomos, não apenas como recomendável, mas como absolutamente necessária à química. Eu irei até mais longe, e declaro minha crença de que átomos químicos existem, de modo que o termo seja compreendido para denotar aquelas partículas da matéria que não possam ser submetidas a divisões posteriores em metamorfoses químicas. Deverá o progresso da ciência levar à uma teoria da constituição de átomos químicos, importante tal como um conhecimento poderia ser para a filosofia geral da matéria, isto seria apenas uma pequena alteração na própria química. O átomo químico permanecerá sempre a unidade química” (KEKULÉ apud OKI, 2009, p. 1075).

Ao longo do “intervalo equivalentista” que compreendeu um período entre 1808 e 1860, “os químicos utilizavam indiferentemente os termos átomos, equivalentes e proporções” (OKI, 2007). Nesse período os debates entre os químicos equivalentistas e atomistas se expandiram e tenderam para uma maior utilização do peso equivalente na determinação quantitativa das reações e uma leve desvalorização dos pesos atômicos. A dificuldade de concepção da realidade metafísica em relação à divisibilidade da matéria marcou um contraponto no avanço da hipótese atômica, que desviava a Química para um caminho não-realístico para a época (OKI, 2007).



Figura 6 – Os cientistas Kekulé, Wurtz e Weltzien, respectivamente
Fonte: POLO, P. R. (2010, p. 236)

O auge das divergências entre atomistas e equivalentistas foi com a intensificação dos estudos e o desenvolvimento da Química Orgânica. As teorias estabelecidas que tentavam explicar a formação dos compostos orgânicos assumiam uma “estrutura molecular fixa e a possibilidade de troca de um átomo por outro ou por um grupo de átomos (radical)” (OKI, 2007).

Os químicos orgânicos já utilizavam a hipótese de Avogadro, proposta pelo físico Amedeo Avogadro (1776-1856), que assumia a possibilidade de que átomos iguais poderiam se combinar. Ele publicou sua hipótese no artigo “Essai d’une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps, et les proportions selon lesquelles eles entrent dans ces combinaisons” publicado em 1811 (POLO, 2010).

Essa hipótese ia de encontro ao que Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) defendia. Na década de 1830, ele introduz a teoria dualista, que declara que só é possível a combinação entre átomos ou grupo de átomos que possuam cargas opostas, pois “considerava-se que as forças da natureza elétrica mantinham as espécies químicas unidas” (OKI, 2009).

Outro tópico de amplo debate foram as divergências de notação e nomenclatura dos compostos químicos entre a comunidade científica, que provocavam discordância nas determinações e utilizações dos equivalentes químicos e pesos atômicos. Como por exemplo, o caso do ácido acético, no qual Kekulé enunciou em 1858, que sua fórmula química poderia ser descrita de 19 formas diferentes e que era de grande valia que todo químico orgânico renomado deveria possuir suas próprias fórmulas (POLO, 2010).

Aliada às demais dificuldades em relação à teoria atômica, a dificuldade de diferenciação entre os conceitos de “átomo” e “molécula”, reforçavam a recusa de uma parcela da comunidade científica de adotar a teoria atômica. Inclusive o próprio Dalton, “pai” do atomismo, possuía essa dificuldade de diferenciar os termos citados.

O esclarecimento destes conceitos de átomo e molécula entre a comunidade científica promoveria uma melhor compreensão de como as moléculas participariam de uma reação química e se transformariam em outras.

Com isso, o químico italiano Stanislao Cannizzaro (1826-1910) foi uma das figuras mais bem sucedidas ao final do Congresso de Karlsruhe. O evento trouxe a possibilidade de disseminação do seu artigo “Sunto di un Corso di Filosofia Chimica” entre os participantes do congresso.

O seu artigo trazia distinções entre os conceitos de átomo e molécula, com base nas ideias de Avogadro e relacionava de maneira correta o peso molecular ao correlacioná-lo com os pesos atômicos (Tabela 5), defendendo a suma importância da utilização dos pesos atômicos na realização de cálculos estequiométricos (OKI, 2009).



Figura 7 – Retrato de Stanislao Cannizzaro

Fonte: POLO, P. R. (2010, p. 237)

Com a publicação deste trabalho, Cannizzaro estabelece a “lei dos átomos”, que enuncia “as diferentes quantidades do mesmo elemento contidas em diferentes moléculas são todos múltiplos inteiros da mesma quantidade, que, sendo sempre inteiras, deve por isso ser chamada de átomo” (CANNIZZARO,

1858). Assim, o seu trabalho teve um papel decisivo ao sanar a maior parte das dúvidas que levaram os cientistas ao Congresso de Karlsruhe.

Tabela 5 – Pesos atômicos estabelecidos por Cannizzaro em 1858 em comparação com as massas atômicas médias estabelecidas pela IUPAC em 2019.

Elemento (símbolo)	Cannizzaro^a	IUPAC^b
Hidrogênio (H)	1	1,008
Boro (B)	11	10,813
Carbono (C)	12	12,011
Nitrogênio (N)	14	14,007
Oxigênio (O)	16	15,999
Sódio (Na)	23	22,99
Magnésio (Mg)	24	24,305
Alumínio (Al)	27	26,982
Fósforo (P)	31	30,974
Enxofre (S)	32	32,06
Cloro (Cl)	35,5	35,45
Potássio (K)	39	39,098
Cálcio (Ca)	40	40,078
Cromo (Cr)	53	51,996
Mangânes (Mn)	55	54,938
Ferro (Fe)	56	55,845
Titânio (Ti)	56	47,867
Cobre (Cu)	63	63,546
Zinco (Zn)	66	65,38
Arsênio (As)	75	74,922
Bromo (Br)	80	79,904
Zircônio (Zr)	89	91,224
Prata (Ag)	108	107,87
Estanho (Sn)	117,6	118,71
Iodo (I)	127	126,9
Bário (Ba)	137	137,33
Ouro (Au)	196,32	196,97
Platina (Pt)	197	195,08
Mercúrio (Hg)	200	200,59
Chumbo (Pb)	207	207,2

Fonte: a. POLO, P. R. (2010, p. 235); b. Pure Appl. Chem. (2019)

A partir deste ponto, Cannizzaro consegue abrir um novo caminho para a teoria atômica, com base na experimentação, afastado das suposições

conceituais. E ainda de forma simples, com linguagem acessível para a época e de fácil compreensão dos demais cientistas.

8. A RESISTÊNCIA FRANCESA AO ATOMISMO

No século XIX, o modo como as ciências estavam organizadas era diferente daquela que temos atualmente, mas em profundo acordo com a concepção de mundo que se tinha. Especificamente na França tem início uma espécie de declínio do forte movimento científico que marcou a chamada “Revolução Química”. O sociólogo Michel Crozier (1922-2013) considera que essa diminuição da força do capital científico francês tem direta relação com o início do colapso educacional na França nesse período (CROZIER, 1981).

A técnica de estudo de densidade de vapor era até aquela altura o aspecto contrafactual decisivo para que químicos, em sua ampla maioria analíticos, investigassem pesos equivalentes ou atômicos. Essa técnica manteve-se no centro das pesquisas químicas até pouco mais da metade do século XIX (1860), foi aperfeiçoada por Jean-Baptiste Dumas (1800-1884) nesse intercurso, e continuou sendo ensinada como tal por mais de 150 anos. Dumas adotou em seus trabalhos a Hipótese de Avogadro, reviu antigos valores de pesos atômicos, acertou o valor do iodo, mas errou nos casos do enxofre e do fósforo, e foi aos poucos perdendo a confiança na ideia de átomo, ao ponto de defender que o termo fosse retirado do vocabulário da química (NYE, 1996).

Dumas contornou o debate estabelecendo uma distinção entre “átomo físico” e “átomo químico”, ou como designado por ele “*molécule chimique*” e “*molécule physique*”. Em seu livro didático de 1842, intitulado “Ensaio de Química Estática” (*Essai de Statique Chimique*) (DUMAS, 1842), não há nenhuma menção ao termo átomo e Dumas denomina, em atenção aos termos propostos por Avogadro, por “molécula” tanto os entes compostos quanto suas unidades constituintes.

De fato, cada molécula de água é localizada combinado-se uma molécula de hidrogênio e uma molécula de oxigênio, chegamos a esses números simples que não são mais esquecidos. Uma molécula de hidrogênio pesa 1; uma molécula de oxigênio pesa 8 e uma molécula de água pesa 9 (DUMAS, 1842, p. 14).

A divergência entre o atomismo químico e físico e os fatores sociais e políticos dos países que abrigavam os cientistas influentes da época, eram pontos modificadores da realidade científica. Essa rivalidade se pautava na divergência conceitual de átomo, e da forma como que os cientistas o utilizavam.

Para o atomismo químico, o átomo era concebido como uma partícula indivisível e que estas formavam elementos químicos diferentes. E sua concepção era organizada com base em “métodos analíticos, analogias químicas, aplicação da lei dos calores específicos e do isomorfismo” (OKI, 2009, p. 1075).

Enquanto para o atomismo físico, o átomo era concebido como partículas inelásticas, que seriam submetidas a forças atrativas e repulsivas que agiriam inter e intrapartículas.

“O atomismo na Física era uma hipótese que se apoiava em suposições mecânicas sobre a natureza íntima das substâncias, despertando grande oposição. Os aspectos epistemológicos desta questão também ocasionaram debates nas comunidades científicas, que foram influenciados por ideias de alguns pensadores franceses.” (OKI, 2009, p. 1076)

Entretanto, ao longo do século XIX, o atomismo físico e químico foi colecionando indícios de que estes dois, na verdade, eram mais próximos do que os cientistas gostariam de acreditar. Assim, ampliou-se a teoria atômica de forma abrangente, unificando os vieses físicos e químicos.

Apesar da semelhança, a resistência mantida ao atomismo, que defendia o equivalentismo como a vertente mais condescendente, desconsiderava as similaridades estabelecidas entre o atomismo físico e químicos, e permaneciam ignorando a possibilidade do atomismo ser o melhor caminho (BROCK; KNIGHT, 1965).

Esta resistência à até então hipótese atômica teve grande destaque na comunidade científica francesa, que foi deveras influenciada pelo ponto de vista político e social da época.

Os químicos franceses preferiam o equivalentismo à hipótese atômica, pois a aceitação dos átomos significava que partículas elementares indivisíveis não seriam apenas uma teoria especulativa. Além disso, os químicos franceses recusavam o estabelecimento das fórmulas estruturais, as quais a maioria dos químicos já utilizavam em 1860, pois isso representaria que uma realidade física de átomos e moléculas seria possível (BENSAUDE-VINCENT, 1999).

Muito se acredita que essa resistência ao atomismo pelos químicos franceses se deva às influências do positivismo, doutrina concebida formalmente por August Comte (1798-1857), na França, em meados do século XIX.

O positivismo elevava o *status* das ciências exatas, apontando-a como o único conhecimento considerável, dispensando qualquer tipo de conhecimento não-exato, como as ciências humanas (ISKANDAR; LEAL, 2002).

Logo, o pensamento positivista “não estava apenas defendendo uma orientação epistemológica, estava apresentando uma maneira de pensar e de realizar as transformações sociais” (ISKANDAR; LEAL, 2002, p. 2), que buscava com a doutrina positivista, modificar a forma de pensar da sociedade, trazendo uma nova filosofia de vida que englobasse a todos.

Dessa forma, o positivismo admite apenas o que pode ser observado e experimentado. E com isso, Comte exprime suas ideias na forma da “teoria fundamental das hipóteses”, que são resumidas da seguinte maneira: as hipóteses são necessárias em todas as investigações científicas, e essas devem poder ser verificadas, de forma positiva, em algum momento da investigação. Além disso, a precisão das hipóteses deve ser equivalente a precisão de qualquer estudo empírico que vá a ser realizado. E as hipóteses devem ser simples antecipações de algo que poderia ser definido com experiências e razão, em circunstâncias mais favoráveis (BENSAUDE-VINCENT, 1999).

A partir disto, o método científico, pretensamente utilizado até os dias atuais, é estabelecido. A aplicação dele segue as seguintes etapas de “seleção, hierarquização, observação, controle, eficácia e previsão.” (ISKANDAR; LEAL, 2002, p. 3). Para Comte, o pensamento humano passa por três fases: teológica, a metafísica e a positiva. “A primeira é o ponto de partida necessário da inteligência humana; a terceira, seu estado fixo e definitivo; a segunda, unicamente destinada a servir de transição” (COMTE, 1978, p. 36).

A realidade teológica do espírito humano revela que há uma interferência sobrenatural que explica todos os acontecimentos do universo. As investigações são pautadas nos porquês iniciais dos acontecimentos e nos efeitos de todos os eventos relacionados. Sendo assim, esse espírito humano ocorre nos primórdios da vida de todo ser humano.

Já a realidade metafísica deixa de atribuir concepções sobrenaturais às causas e passa a enxergá-las como entidades abstratas que são as responsáveis por todos os acontecimentos do universo, como por exemplo as “forças da natureza”.

E por fim, a fase positiva, que é a definitiva e final, procura encontrar através da observação, da experiencição e da lógica, explicações para os fatos constatados. Esta fase deixa de procurar as causas primeiras de todas as coisas e passa a focar em situações isoladas, que possam ser análogas em termos de elucidação (COMTE, 1978).

Portanto, havia uma ampla similaridade entre o estado de espírito metafísico e a concepção da hipótese atômica pela comunidade científica francesa que era positivista. A ideia de que o átomo, uma entidade abstrata pudesse ser a razão por detrás da Química, uma ciência em progresso, parecia absurda.

Esse parece ser o caso de Dumas, químico francês, que como já citado, condenava o atomismo por não conseguir encaixá-lo como resposta para os seus experimentos. Chegando até a dizer que por ele, se apagaria a palavra átomo da história, considerando ser uma “catástrofe epistemológica” (LAUGIER, 2001).



Figura 8: Jean-Baptiste Dumas

Fonte: Britannica

O experimento crítico para que esta resistência se instalasse para Dumas, foi a tentativa de conciliar os pesos atômicos determinados pelo método da lei de Avogadro e por outros métodos com os resultados obtidos experimentalmente para gases ou para os calores específicos de sólidos (BENSAUDE-VINCENT, 1999).

O famoso químico Marcelin Pierre Eugène Berthelot (1827-1907), também recusava a hipótese atômica, mesmo sendo uma figura de destaque no desenvolvimento da química orgânica, em especial da síntese orgânica, em relação a vieses termoquímicos (OKI, 2007). Berthelot rejeitava entidades

abstratas, que não podiam ser observadas, e reduzia o conhecimento a leis científicas (BENSAUDE-VINCENT, 1999), que poderiam ser aplicadas aos seus experimentos.

Essa conjectura parece ter bastante fundamento, entretanto, alguns pesquisadores atuais afirmam que a corrente positivista em nada teria relação com a resistência atomística dos químicos do século XIX.

Afirma-se que, na verdade, a resistência ao atomismo seria embasada nos posicionamentos filosóficos dos químicos franceses da época decorrentes dos seus atos e posicionamentos políticos (BENSAUDE-VINCENT, 1999).

Era o caso de Bertholet, que também atuava como político na sociedade francesa, ocupando um cargo de senador, além de presidente na Academia de Ciência e ministro da Instrução Pública (OKI, 2007). Ele agiu politicamente contra o atomismo, afastando outros cientistas defensores da corrente atomista de grandes cargos. Preterindo a utilização da química equivalentista no desenvolvimento da ciência francesa.

Esses cientistas apoiaram o equivalentismo em detrimento do atomismo com a ideia de que a noção de equivalente era proveniente da experimentação, da obtenção de dados experimentais, e que não precisam do suporte de uma teoria abstrata e que, a princípio, era apenas uma suposição. Embora eles soubessem que, em seus trabalhos experimentais, não seria possível construir tabelas de equivalentes sem que fossem realizadas suposições teóricas em relação as combinações químicas (BENSAUDE-VINCENT, 1999).

Para Duhem, a resistência ao atomismo, se dava em relação a alguns pontos. O primeiro era que não haviam explicações práticas das propriedades atômicas a fim de se explicar as interações que se permitiam combinar os elementos. Em segundo, substâncias muito parecidas macroscopicamente, e também em termos cristalinos, possuíam fórmulas químicas muito diferentes. Esta característica se torna problemática no momento que se tenta representar os arranjos atômicos em uma molécula. E por último, não era possível verificar empiricamente o princípio da lei das múltiplas proporções. A única interpretação possível era de que as proporções estariam dentro dos limites estabelecidos (ZWIER, 2011).

A resistência francesa ao atomismo, ao final de 1869, registrado pela Sociedade Química de Paris, na revista *Le Bulletin*, catalogava 23 franceses

defensores e utilizadores do equivalentismo, em conjunto com outros 25 estrangeiros. Essa quantidade contrastava com o registro de 22 franceses e 191 estrangeiros em prol da hipótese atômica (OKI, 2007).

9. CONSEQUÊNCIAS DO CONGRESSO DE KARLSRUHE

O Congresso de Karlsruhe foi o primeiro congresso internacional de química na história. Sua contribuição para o desenvolvimento científico teve algumas consequências positivas.

Além de ter sido o primeiro evento internacional, a realização do congresso foi um modelo para os seguintes eventos que necessitaram a convocação da comunidade científica internacional. Assim, todos os novos problemas que não poderiam ser resolvidos de maneira local, poderiam ser levados a discussões internacionais.

E esse foi o caso do segundo Congresso Internacional de Químicos, que aconteceu em Paris, em 1889. Este evento ocorreu devido à necessidade de encontrar a melhor maneira de se denominar os compostos orgânicos.

Neste congresso, foi organizada uma “comissão provisória”, que levou ao próximo Congresso Internacional de Química, realizado em Genebra, em 1892, um relatório que fornecia uma base para um sistema de nomenclatura dos compostos orgânicos. Este relatório foi aprovado por 40 químicos presentes no evento (POLO, 2010).

O Congresso Internacional de Químicos continuou se reunindo com regularidade até o advento da Primeira Guerra Mundial. Após o fim da guerra, foi necessária a criação de uma entidade internacional que pudesse reagrupar todo o conhecimento químico produzido nos últimos tempos. Assim, em 1911, foi criada a Associação Internacional de Sociedades Químicas, que em 1919, se tornaria a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC, em inglês) (POLO, 2010).

Outra importante consequência da realização do Congresso de Karlsruhe, foi a aceitação da teoria de valência de Kekulé “e a descoberta de que átomos tinham capacidades de combinação definidas e limitadas, indicando que o poder de combinação estava [...] localizado em diferentes partes do átomo” (OKI, 2009).

A utilização da teoria de valência, que é fundamentada na teoria atômica, promoveu um novo olhar sob o conceito de equivalente químico. A definição deste conceito passou a utilizar o peso atômico e não mais o peso equivalente.

Assim, o equivalente passa a ser definido como o peso atômico dividido pela valência do elemento.

A valência seria definida como a quantidade de partículas subatômicas existentes dentro de uma região do átomo. A hipótese da teoria de valência sustentava a ideia de que era possível existir uma estrutura interna que abrigava toda a força e o poder dos átomos, dentro desta determinada região. E que esta região abrigava diversas partículas subatômicas (ROCKE, 1984).

Os pesos atômicos sugeridos por Cannizzaro durante o evento, estabeleciam as seguintes prerrogativas: um único peso atômico para cada elemento químico; as fórmulas das substâncias simples têm sentido e podem ser determinadas com exatidão ao dividir o seu peso molecular pelo peso atômico do elemento, obtendo-se a atomicidade da substância simples e os pesos atômicos; e suas fórmulas estão de acordo com a lei do isomorfismo de Dulong e Petit (POLO, 2010).

O estabelecimento destas prerrogativas foram a base para que Dmitri I. Mendeléiev (1834-1907) pudesse descrever a lei periódica e por consequência, propor a primeira tabela periódica (Figura 9).

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ,		
ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СВОЙСТВѢ		
	Тl = 50	Zr = 90
	Y = 51	Nb = 94
	Cr = 52	Mo = 96
	Mn = 55	Rh = 104,4
	Fe = 56	Pa = 104,4
	Ni = 59	Pt = 108,6
	Cu = 63,4	Ag = 108
	Zn = 65,2	Cd = 112
	Al = 27,4	Si = 28
	P = 31	As = 75
	S = 32	Se = 78,4
	F = 19	Cl = 35,5
	Br = 80	I = 127
	K = 39	Rb = 85,4
	Ca = 40	Sr = 87,6
	Ba = 137	Pb = 207
	Li = 7	Na = 23
	Be = 9,4	Mg = 24
	B = 11	Al = 27,4
	C = 12	Si = 28
	N = 14	P = 31
	O = 16	S = 32
	?	Er = 56
	?	Yt = 60
	?	In = 75,6
	?	Th = 118?

Д. Менделѣевъ.

Figura 9: A primeira versão da tabela periódica proposta por Mendeléiev em 1869.

Fonte: POLO, P. R. (2010, p. 239)

10. O EQUIVALENTE-GRAMA E A NORMALIDADE NA QUÍMICA ANALÍTICA MODERNA

O uso de equivalentes foi um dos pilares mais importantes da construção da química analítica quantitativa (OSORIO, 1992). O seu uso atrelado a noção de normalidade é um método eficiente para métodos quantitativos volumétricos, devido a simplificação dos cálculos envolvidos (CATANI, 1950). Entretanto, não é um método matemático adequado para toda a gama de reações existentes.

A teoria atômica, que substituiu vigorosamente a teoria equivalentista, trouxe uma abordagem mais generalista por isso, preferível pela maioria dos químicos. A molaridade então unificaria a Química Moderna ao se determinar concentrações, enquanto a normalidade só conseguiria ser aplicada em métodos titrimétricos e demandaria um certo grau de compreensão do que são “números de oxidação” no caso de reações redox (VOGEL, 1978). Devido a isso, a normalidade foi sendo substituída aos poucos.

Atualmente, uma entidade equivalente é definida, de acordo com a IUPAC, como uma entidade que consegue transferir um íon H^+ em uma reação de neutralização, ou um elétron em uma reação de oxirredução ou uma quantidade de carga igual a 1 em íons.

Para se calcular um equivalente-grama, deve-se levar em consideração a forma com que determinada espécie reage. Para tal, é necessário fazer uma análise cuidadosa da natureza do íon, composto ou elemento que está sendo analisado e a reação na qual ele está sendo inserido.

Em reações de neutralização, ácidos e bases fortes ou que possuam apenas um único íon hidrônio ou hidroxila dissociável, a relação entre o equivalente-grama e a massa molar é direta, ou seja, o valor é igual. Para as espécies que possuem mais de um hidrônio ou hidroxila, deve-se dividir a massa molar da espécie pela quantidade de íons reativos⁶. Como é exemplificado na Figura 1 o caso do HCl e do $Mg(OH)_2$:

⁶ No caso de ácidos ou bases que possuam hidrogênios com tendências diferentes de dissociação, deve-se levar em consideração que etapa reacional está sendo analisada para que não ocorra um equívoco na determinação do equivalente-grama, levando a um possível erro analítico.

$$Eq\ HCl = \frac{MM_{HCl}}{1} \quad Eq\ Mg(OH)_2 = \frac{MM_{Mg(OH)_2}}{2}$$

Figura 10 – Expressões para o cálculo do equivalente-grama de ácido clorídrico, HCl; e hidróxido de magnésio, Mg(OH)₂

Fonte: SKOOG (2014)

Para reações de oxirredução, o equivalente-grama é a quantidade referente ao consumo de 1 mol de elétrons. Uma forma de obter este valor é dividindo a massa molar da substância pela variação do número de oxidação referente à reação analisada.

Já em reações de precipitação e de formação de complexos, o equivalente-grama é a quantidade referente de uma espécie que forma ou fornece à reação um mol de cátion monovalente reativo. Se ele for monovalente, será referente à meio mol, trivalente ao terço de um mol etc. É importante ressaltar que para o cálculo do equivalente-grama deve-se utilizar a espécie que participará ativamente da reação e não necessariamente o cátion proveniente da substância que estamos analisando (SKOOG, 2014).

Os equivalentes-grama são utilizados como unidade fundamental para o cálculo de concentração em normalidade (N). Uma solução normal é definida com uma solução que possui um equivalente-grama por litro de acordo com a reação específica (VOGEL, 1989).

$$N = \frac{\text{n}^\circ \text{ de equivalentes}}{\text{litro de solução}}$$

Figura 11 – Equação geral para expressão da concentração em normalidade de uma solução

Fonte: SKOOG, D. A. (2014)

A normalidade e o uso dos equivalente-grama possuem certa vantagem em relação à molaridade na determinação de concentrações titrimétricas. O cálculo de determinação do número de equivalentes é bem simples, pois no ponto final da titulação, o número de equivalentes da solução padrão será igual ao número de equivalentes da solução a ser titulada. Isso significa, que em qualquer titulação realizada, o número de equivalentes das espécies envolvidas sempre será igual (SKOOG, 2014).

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O equivalentismo foi um movimento importante para a química. Compreendeu uma longa transição que acompanhou o período de instalação da burguesia, entre os dogmas absolutistas e a convicção de que o conhecimento poderia ser pautado em crenças informadas a partir de enunciados derivados de eventos contrafactuais. Os séculos XVIII e XIX foram períodos importantes e de grande prospecção do conhecimento em torno do equivalentismo. Foram também palco de diferentes proposições e criações científicas, que marcaram e modificaram o rumo da ciência em geral, e em especial a química, tal e qual como a entendemos e ensinamos hoje.

A criação da noção de peso equivalente, por Richter, trouxe um olhar matemático para química, um lugar mais confortável para se crescer, e que acalmou os olhares inquietos que viam na Alquimia uma doença incurável que legaria à essa nova disciplina um estigma. A química neófito pode assim, com debates e inquietações, refinar experimentações e resultados obtidos com maneiras de dizer que passaram a ser ao menos sistêmicas e estruturadas, ainda que permanecessem pouco reproduzíveis. A determinação dos pesos equivalentes, devido ao seu viés exclusivamente empírico, e depender da natureza dos compostos analisados, mantinha-se como artesanato e produzia, muitas das vezes, valores diversos para o mesmo elemento. Essa característica manteve a química como um lugar de confusão. Uma característica ainda antagônica ao “ser científico”.

Outras definições de equivalente surgiram ao longo desse período, como o sugerido por Duhem e Wollaston. Entretanto, o atomismo proposto por Dalton, causou alvoroço na comunidade científica. Mas o auge das divergências entre atomistas e equivalentistas se deu com o desenvolvimento da química orgânica. As explicações necessárias sobre a formação dos compostos orgânicos exigiam que fossem utilizadas categorias consideradas ainda à época, com justeza, metafísicas, tal como a noção de “estrutura”.

O Congresso de Karlsruhe cumpriu o papel de divulgar, debater e unificar conceitos e definições divergentes entre cientistas. O trabalho de

Cannizzaro foi um divisor de águas durante o congresso, pois conseguiu correlacionar de maneira coerente os pesos moleculares em relação aos pesos atômicos, e trouxe uma proposta crível, e que solucionou parte dos problemas da época, além de indicar uma forma coerente de distinguir átomo e molécula.

A realidade metafísica envolta na existência dos átomos, trouxe diversos obstáculos para a aceitação da hipótese atômica em relação à comunidade científica francesa, mesmo ainda ao final do século XIX. O positivismo, que nesse lugar trazia com força a doutrina do observável como verdade, impedia que o atomismo fosse concebido como algo plausível, visto que era difícil transpor as categorias emergentes do conhecimento atômico para os enunciados decorrentes da experimentação. Essa reunião de ideias decorrentes de nossa análise concorda com as questões já postas por Nye (1976), em sentido ampliado pela autora, ao afirmar que “o fato de a hipótese atômica do século XIX não ter sido aceita (...) como uma ferramenta estritamente heurística é indicativo do consenso da comunidade científica em sua contínua busca ontológica pelo existencial” (NYE, 1976, p. 268).

A noção de equivalente se transformou em uma categoria específica aplicada à experimentação analítica, modificando seu significado original. O equivalentismo não perde seu lugar na história, mesmo como movimento que pode ser firmado como “superado”, demonstrou ter sido crucial no fortalecimento da natureza e dos objetivos da investigação científica, ao permitir uma complexa interação de critérios experimentais com circunstâncias de crítica. Ele criou, como seu principal significado histórico e filosófico, um ambiente propício ao aumento de consciência sobre os métodos e objetivos na investigação científica de uma química ainda pré-adolescente.

12. REFERÊNCIAS

AGASSI, J. Externalism. In: **Science and Society**. Boston Studies in the Philosophy of Science, v. 65. p. 55-67. New York: Springer, 1981.

BENSAUDE-VINCENT, B. **Atomism and positivism: a Legend about French Chemistry**. Ann. Sci., França, v. 56, p. 81–94, 1999.

BEZERRA, V. A. **Jornada Pierre Duhem na Filosofia-USP**. Filosof. e Hist. da Ciência, Universidade Federal do ABC, São Paulo, abr. 2011. Disponível em: <https://filosofiadacienciaufabc.wordpress.com/category/pierre-duhem/>. Acesso em 30 nov. 2022

BRITANNICA. **Equivalent Weight**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/equivalent-weight>. Acesso em: 14 abr. 2022

BRITANNICA. **William Hyde Wollaston**. [s.l.: s.n.] Disponível em <https://www.britannica.com/biography/William-Hyde-Wollaston>. Acesso em: 30 nov. 2022

BROCK, W. H. KNIGHT, D. M. **The Atomic Debates: "Memorable and Interesting Evenings in the Life of the Chemical Society"** The University of Chicago Press, Isis, Chicago, v. 56, n. 1, p. 5-25, 1965.

CANNIZZARO, S. **Il Nuovo Cimento**. Genebra, p. 321-366, 1858. Disponível em: <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=chi.39184695&view=page&seq=12&q1=cannizzaro>. Acesso em: 09 nov. 2022

CATANI, R. A. **O Equivalente-grama e a Normalidade das Soluções**. Revista da Agricultura, [s.l.], v. 25, n. 5-6, p. 163-174, 1950. Disponível em: <https://www.revistadeagricultura.org.br/index.php/revistadeagricultura/article/view/332>. Acesso em 15 ago. 2022

CHASSOT, A. **A ciência através dos tempos**. 5. ed. São Paulo: Moderna, 1994.

COMTE, A. **Curso de filosofia positiva**. Os Pensadores. Trad., org. e ed. José A. Giannotti & Miguel Lemos. São Paulo: Abril Cultural, 1978.

CROZIER, M. **O fenômeno burocrático**. Brasília: UnB, 1981.

DARMSTAEDTER, L. OESPER, R. E. **Jeremias Benjamin Richter**. Chem. Educ., [s.l.], v. 5, n. 7, p. 785-790, jul. 1928.

DUMAS, J. B. **Essai de Statique Chimique**. Paris: Fortin Masson, 1842.

_____. **Leçons sur la philosophie chimique**. Paris: Gauthier-Villars, Imprimeur-Libraire, 1878.

FURLAN, O. A. **Língua e literatura Latina e sua derivação portuguesa**. Petrópolis: Vozes, 2006.

GRAHAM, T. On the molecular mobility of gases. **Philosophical Transactions**, v. 153, 1863.

HOBBSAWM, E. J. **A era das revoluções**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1981.

ISKANDAR, J. I. LEAL, M. R. **Sobre Positivismo e Educação**. Revista Diálogo Educacional, Curitiba, v. 3, n.7, p. 89–94, set./dez. 2002.

IRVING, H. M. **Recommendations on the Usage of the Terms ‘Equivalent’ and ‘Normal’**. Pure & Appl Chem, Grã-Bretanha, v. 50, p. 325-338, 1978. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1351/pac197850040325/html>. Acesso em: 27 jul. 2022

KING, B. B. **Beginning Teachers’ Knowledge of and Attitudes Toward History and Philosophy of Science**. Scienc. Educ. [s.l.] v. 75, n. 1, p. 135-141, 1991.

KOLBE, H. Vertrauliches Schreiben an Professor Kolbe. **Journal für Praktische Chemie**, v. 16, n. 1, p. 467-472, 1877.

LAUGIER, A. DUMON, A. **D’Aristote à Mendeleev**. Historie de la chimique. L’actualité chimique, [s.l.], p. 28-50, mar. 2001.

MELLO, V. D. S. DONATO, M. R. A. **O pensamento iluminista e o desencantamento do mundo: Modernidade e Revolução Francesa como marco paradigmático**. Revista Crítica Histórica, Pernambuco, v. 2, n. 4, p. 248-264, out. 2011.

MELZER, E. E. M. AIRES, J. A. **A história do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr**. Revista de Educação em Ciências e Matemática, Amazônia, v.11, n. 22, p.62-77, jan./jun. 2015.

MOCELLIN, R. C. **Lavoisier e a Longa Revolução na Química**. Florianópolis, 2003. Dissertação (Mestrado em Filosofia), Curso de Filosofia, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

NEEDHAM, P. “Has Daltonian Atomism Provided Chemistry with Any Explanations?” **Philosophy of Science**, v. 71, p. 1038–47, 2004.

_____. Resisting Chemical Atomism: Duhem’s Argument. **Philosophy of Science**, v. 75, n. 5. p. 921-931, 2008.

NIAZ, M. How importante are the laws of definite and multiple proportions in chemistry and teaching chemistry? A history and philosophy of science perspective. **Science & Education**, v. 10, p. 243-266, 2001.

NYE, M. J. The Nineteenth-century atomic debates and dilemma of an “indifferent hypothesis”. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 7, n. 3, p. 245-268, 1976.

_____. **Before Big Science: the pursuit of modern chemistry and physics, 1800-1940**. London: Harvard University Press, 1996.

OKI, M. C. M. O Congresso de Karlsruhe e a Busca de Consenso sobre a Realidade Atômica no Século XIX. **Química Nova na Escola**, n. 26, 2007.

_____. Controvérsias sobre o Atomismo no Século XIX. **Química Nova**, v. 32, n. 4, p. 1072-1082, 2009.

OSORIO, V. K. L. Determinação Permanganométrica de Sulfóxidos: Mais uma Armadilha no Uso de Normalidades. **Química Nova**, v. 15, n. 1, 1992.

PADILLA, K. FURIO-MAS, C. **The Importance of History and Philosophy of Science in Correcting Distorted Views of ‘Amount of Substance’ and ‘Mole’ Concepts in Chemistry Teaching**. *Sci & Educ*, [s.l.], v. 17, p. 403–424, 2008.

PADOVANI, U. CASTAGNOLA L. **História da filosofia**. 8. ed. São Paulo: Melhoramentos, 1977.

PARTINGTON, J. R. **A history of chemistry**, vol III. Martino Publishing, New York, 1961.

POLO, P. R. **El Sesquicentenario del Primer Congreso Internacional de Químicos**. *An. Quím.*, Espanha, v. 106, n. 3, p. 231–239, 2010.

Pure Appl. Chem. **Compendium of Chemical Terminology. The Gold Book**. 2 ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford, (1997). Disponível em: <https://goldbook.iupac.org/>. Acesso em: 26 jun. 2022

Pure Appl. Chem. **IUPAC Periodic Table of the Elements**. [s.l.: s.n.] Disponível em: https://iupac.org/wp-content/uploads/2022/05/IUPAC_Periodic_Table_150-04May22.jpg. Acesso em: 08 nov. 2022.

ROCKE, A. J. **Atoms and Equivalents: the Early Development of the Chemical Atomic Theory**. The University of California Press, Historical Studies in the Physical Sciences, Chicago, v. 9, p. 225-229, 1978.

_____. **Chemical Atomism in the Nineteenth Century: From Dalton to Cannizzaro**. Ohio State University Press: Columbus, 1984.

SCIENCE AND INDUSTRY MUSEUM. **John Dalton: atoms, eyesight and auroras**. [s.l.], 2019. Disponível em: <https://www.scienceandindustrymuseum.org.uk/objects-and-stories/john-dalton-atoms-eyesight-and-auroras>. Acesso em: 30 nov. 2022

SCHMIDT, J. F. **As mulheres na revolução francesa**. *Revista Thema*, [s.l.], v. 9, n. 2, 2012.

SHINN, T. **Orthodoxy and innovation in science: the atomist controversy in french chemistry**. Springer, [s.l.], v. 18, n. 4, 1980.

SKOOG, D. A. et al. **Fundamentos de Química Analítica**. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, Apêndice 7, 2014.

SNELDERS, H. A. M. The reception of J. H. van't Hoff's theory of the asymmetric carbon atom. **Journal of Chemical Education**, v. 51, n. 1, p. 12-16, 1974.

TOURISME LANGRES. **Famous Names**. [s.l.: s.n.] Disponível em: https://www.tourisme-langres.com/en/famous-names_893.html. Acesso em 29 nov. 2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINAS. **Normalidade**. Campinas, [s.n.]. Disponível em: <https://www.fop.unicamp.br/index.php/pt-br/normalidade-bioquimica-calculos.html>. Acesso em: 15 ago. 2022

VIEL, C. **La détresse financière de la veuve de Charles Gerhardt**. Revue d'Histoire de la Pharmacie, Paris, n. 354, p. 189-196, 2007.

VOGEL, A. I. **Textbook of quantitative chemical analyses**. 5. ed, Londres: Longman Scientific & Technical, Apêndice 17, 1989.

ZENI, A. B. **Educação e autonomia no Iluminismo**. In: Congresso Nacional de Filosofia e Educação, 5, Rio Grande do Sul, mai. 2010.

ZWIER, K. R. **Dalton's Chemical atoms versus Duhem's Chemical equivalents**. The University of Chicago Press, Philosophy of Science, Chicago, v. 78, n. 5, p. 842-853, 2011.