



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

**ANA FLÁVIA DOS SANTOS**

**ENSINO DE ESTEQUIOMETRIA: UMA PROPOSTA DE  
FORMAÇÃO CONTINUADA**

**DISSERTAÇÃO**

**Uberlândia  
2019**

**ANA FLÁVIA DOS SANTOS**

**ENSINO DE ESTEQUIOMETRIA: UMA PROPOSTA DE  
FORMAÇÃO CONTINUADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Orientador: Prof. Dra. Débora Coimbra  
Coorientador: Prof. Dr. Deividi Márcio Marques

Uberlândia  
2019

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S237 Santos, Ana Flávia dos, 1987-  
2019 Ensino de estequiometria [recurso eletrônico] : uma proposta  
de formação continuada / Ana Flávia dos Santos. - 2019.

Orientadora: Débora Coimbra.  
Coorientador: Deivid Márcio Marques.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática.  
Modo de acesso: Internet.  
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.2369>  
Inclui bibliografia.  
Inclui ilustrações.

1. Ciência - Estudo ensino. I. Coimbra, Débora , 1972-, (Orient.).  
II. Marques, Deivid Márcio, 1979-, (Coorient.). III. Universidade  
Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Ensino de Ciências e  
Matemática. IV. Título.

CDU: 50:37

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:  
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



## UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática

Av. João Naves de Ávila, nº 2121, Bloco 1A, Sala 207 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 3230-9419 - www.ppgecm.ufu.br - secretaria@ppgecm.ufu.br



### ATA

Ata da defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO junto ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática – Mestrado Profissional da Universidade Federal de Uberlândia.

Defesa de Dissertação de Mestrado Profissional/PPGECM

Data: 30 de março de 2019

Discente: Ana Flávia dos Santos

Matrícula: 11612ECM001

Título do Trabalho: Ensino de Estequiometria: uma proposta de formação continuada

Área de concentração: Ensino de Ciências e Matemática

Linha de pesquisa: Formação de Professores de Ensino de Ciências e Matemática

Às nove horas e vinte minutos do dia trinta de março de dois mil e dezenove, no Laboratório de Ensino de Química, sala 238 Bloco A, da Universidade Federal de Uberlândia, reuniu-se a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática, composta pelos Professores Doutores: Débora Coimbra (orientadora) do Instituto de Ciências Exatas do Pontal, da Universidade Federal de Uberlândia; Deividi Marcio Marques (coorientador), Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia, Gabriel Dias de Carvalho Junior, Instituto Federal de Minas Gerais; Alexandra Epoglou, da Universidade Federal do Sergipe. Iniciando os trabalhos a presidente da mesa, Dra. Débora Coimbra, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação a discente, o tempo de arguição e de resposta foram conforme as normas do Programa. A seguir, a senhora presidente concedeu a palavra, pela ordem, sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu os conceitos finais. Em face do resultado obtido, a Banca Examinadora considerou a candidata Aprovada. Esta defesa de Dissertação de Mestrado Profissional é parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre. O diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU. Nada mais havendo a tratar, foram encerrados os trabalhos às doze horas e dezoito minutos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme, foi assinada por todos os membros da Banca Examinadora.



Profa. Dra Débora Coimbra  
Presidente da Banca de Avaliação

Prof. Dr. Gabriel Dias de Carvalho Junior  
Membro da Banca de Avaliação

Profa. Dra. Alexandra Epoglou  
Membro da Banca de Avaliação

Prof. Dr. Deividi Marcio Marques  
Membro da Banca de Avaliação - Coorientador



Documento assinado eletronicamente por **Debora Coimbra Martins, Professor(a) do Magistério Superior**, em 30/03/2019, às 12:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Deividi Marcio Marques, Professor(a) do Magistério Superior**, em 31/03/2019, às 15:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gabriel Dias de Carvalho Junior, Usuário Externo**, em 06/05/2019, às 18:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandra Epoglou, Usuário Externo**, em 07/05/2019, às 21:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1132466** e o código CRC **4FCFC784**.

*Dedicatória...*

*Dedico esta dissertação ao meu esposo Wanderson, pelo apoio incondicional e constante incentivo, e aos meus filhos, que dão um sentido especial à minha existência, minha fonte de inspiração.*

## **AGRADECIMENTOS**

Como é bom chegar ao final de um trabalho e contemplar o quanto crescemos e evoluímos desde o começo, e perceber o quanto Deus é bom para conosco. A jornada até aqui não foi nada fácil, contudo, posso sempre contar com o amor, o carinho e o apoio incondicional de pessoas que fazem a minha vida valer a pena.

Agradeço em primeiro lugar a Deus, meu escudo, torre forte, socorro bem presente nas tribulações, que me permitiu viver o sonho de cursar um mestrado na UFU e me sustentou nos momentos mais difíceis, refazendo minhas forças e renovando as misericórdias sobre minha vida a cada manhã. Obrigada Senhor por me por seu amor que me ajuda a prosseguir e vencer barreiras intransponíveis aos olhos humanos.

Agradeço ao meu amado esposo, Wanderson, que não mede esforços para me fazer feliz, que me apoia em meus projetos e entra neles comigo. Obrigada, meu amor, por conter minhas lágrimas e me lembrar sempre que há um tempo determinado para cada coisa, e que é por meio da fé em Deus, da persistência e da paciência que conquistamos nossos sonhos.

Agradeço aos meus filhos, Pedro Lucas e Maria Eduarda, por tornar o fardo mais leve com a inocência de criança, por me cobrir de beijos e abraços a cada momento que adentrava em casa após as viagens e até mesmo ao chegar cansada depois de um dia de trabalho, vocês são a razão do meu maior e mais puro amor.

Agradeço à minha avó, Elzeni, a quem tanto amo e que cuida tão bem de mim e da minha família. Vozinha, sem o seu amor e seus constantes cuidados esse sonho não seria possível.

Agradeço aos meus pais, Juvenil e Janice, pelo amor e dedicação que sempre tiveram com a minha educação e das minhas irmãs, pelo incentivo e investimento em várias dimensões da vida para que nos tornássemos cidadãos honestas, e tementes a Deus.

Agradeço às minhas irmãs. Vanessa, que foi a grande idealizadora para que eu começasse esse mestrado, e sempre me ajudou nos momentos mais difíceis da vida, gratidão eterna a você maninha. E, Nayelle, por me tirar risos com suas palhaçadas, pelo companheirismo e disponibilidade em me ajudar sempre que preciso, obrigada maninha.

Agradeço aos meus cunhados, Luiz Romeu e Luciene, pela ajuda sempre que necessária, e a meus sobrinhos, Bruna e João Pedro pelo carinho inocente e puro, que me fazem tão bem.

Ao meu sogro, Valdeci, pelo apoio e auxílio com os meus filhos, e minha sogra, Maria Antônia, sempre tão solícita, que infelizmente, partiu antes que eu concluísse

esse trabalho.

Um agradecimento muito especial à minha orientadora, Débora Coimbra, que me acolheu como filha. Obrigada por toda dedicação, disposição e orientação para a realização deste trabalho, por seu apoio e conselhos e pelos laços de amizade que firmamos. Também agradeço à Tamara e ao Jonata por me socorrer nos momentos de maior tensão, e por não deixarem eu perder o ônibus inúmeras vezes.

Agradeço ao Deivid, coorientador deste trabalho, “meu papis”, que me ajudou a pensar o projeto, delimitar o tema, que fez eu me apaixonar pela História da Ciência, e tinha sempre uma palavra amiga para me incentivar: “calma”, “você consegue”, mesmo que fosse pelo whatsapp.

Agradeço aos professores e amigos da Universidade Federal de Uberlândia, que me auxiliaram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho e na minha formação acadêmica. Em especial às minhas amigas e companheiras Eliete Braga e Olma. Eliete nunca vou me esquecer das nossas conversas até tarde da noite, dos puxões de orelha que às vezes eram necessários, do seu cuidado em preparar um delicioso café da manhã antes da aula, da parceria nos estudos e toda sua dedicação, nossa amizade é eterna. Agradeço, também, à sua família, Geovani, Sara e Fernando, que sempre me receberam tão bem e me faziam sentir como se eu estivesse na minha própria casa.

Agradeço aos professores participantes do curso de formação continuada, sem vocês este trabalho não existiria.

Agradeço à minha amiga e mãe de coração, Sandra Cristina, que me acompanha desde o Ensino Médio, confia em mim, acredita que sou capaz e me faz sentir importante. Obrigada por seu companheirismo, seus conselhos e sua dedicação para comigo, nossos laços são eternos.

Agradeço ao Pastor, Wilton Cordeiro, e à minha Psicóloga, Sabrina Alves de Faria, que me amparam nos momentos em que pensei em desistir, me ouviram, me aconselharam e foram usados por Deus para me abençoar inúmeras vezes.

Agradeço à Fapemig pelo auxílio financeiro que possibilitou minha participação no XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), em Florianópolis, no período de 03 a 06 de julho de 2017, e na 7.<sup>a</sup> edição da Conferência Internacional “New Perspective in Science Education”, em Florença, na Itália, nos dias 22 e 23 de março de 2018, com a apresentação e publicação de resultados deste trabalho.

Acredito que todas as palavras que eu utilizasse não seriam suficientes para expressar minha gratidão. A todos que estão lendo, e não foram citados, muito obrigada!

## RESUMO

Aprender a ensinar é um processo que não se esgota em uma formação inicial, mas que continua ao longo da carreira do professor. Mesmo que os cursos sejam de excelente qualidade, o máximo que se pode dizer é que eles preparam os professores para começar a ensinar. A necessidade de uma formação contínua não se associa somente às carências da graduação, mas ao fato de que o desenvolvimento do trabalho docente deve ser concebido como um trabalho coletivo permanente de professores no exercício de suas atividades. Ao analisar alguns cursos de formação continuada é possível observar que a maioria das propostas não atende às necessidades e aspirações desses profissionais. Frequentemente, é possível notar que eles ficam passivos de insegurança, dispersos em relação aos aportes teóricos e práticos necessários para orientar suas práticas pedagógicas. Ademais, os professores sentem-se desestimulados a investir em mudanças na sua prática docente, pela falta de reconhecimento dos pais, alunos, poder público e dos próprios colegas. O presente estudo estrutura-se sob a hipótese de que um curso pensado junto com os professores, que venha ao encontro das necessidades formativas, pode inferir de modo positivo no desenvolvimento da sua autonomia, tornando possível uma reflexão sobre sua prática pedagógica, e a longo prazo, eventualmente, promover mudanças. O objetivo, portanto, consistiu em promover um curso de formação continuada junto aos professores de Química de Itumbiara/GO, utilizando a História da Ciência, e a teoria dos Campos Conceituais como inspiração do aporte metodológico e, construir um guia de atividades, adaptadas de diferentes fontes, sobre o conteúdo de Estequiometria, como um material instrucional ao professor. Inicialmente, utilizou-se a aplicação de um questionário, seguida pela realização de uma entrevista semiestruturada com seis professores de Química, culminando na elaboração e aplicação de um curso de formação continuada, de abril a julho de 2017. Buscando atender as necessidades expressas pelos professores nos instrumentos de pesquisa, e considerando as aspirações da pesquisadora, bem como as orientações expressas nos Parâmetros Curriculares Nacionais e a importância da História da Ciência no ensino de Ciências, pensou-se em abordar a rota histórica que remete à Estequiometria. A sequência das atividades que constituíram o curso baseava-se em situações do dia-a-dia e em questões que, geralmente, são trabalhadas pelos professores com seus alunos, visto que de acordo com a teoria de Vergnaud, diferentes situações são indispensáveis para que um conceito seja assimilado. Ao término desta pesquisa, foi possível verificar as contribuições efetivas que a proposta de formação continuada em contexto trouxe para o processo de reflexão do professor em relação a sua prática. Os resultados mostram que, embora os professores reconheçam a importância da formação continuada como meio de melhorar sua prática profissional, a maioria não se envolve profundamente na formação, antes participam com maior frequência das capacitações promovidas pela

própria escola no início do ano letivo e nos encontros pedagógicos denominados “trabalho coletivo”. Nosso trabalho revelou, na visão dos professores participantes, aspectos positivos como a oportunidade de aprofundar conhecimentos, o acesso a novos conceitos que ampliam suas possibilidades de análise das situações de ensino e mesmo os relativos ao próprio conteúdo. Ao mesmo tempo, as atividades foram ações pontuais, apontando para a necessidade de estratégias de formação que concorram para uma continuidade ao longo do tempo.

Palavras-chave: Estequiometria. História da Ciência. Teoria dos campos conceituais.

## ABSTRACT

Learning to teach is a process that is not carried out in initial teacher formation but continues throughout the teaching career. Even if pre-service courses are of excellent quality, the most we can state is that they prepare teachers to start to teach. Needs for in-service training is not only related to undergraduate needs, but the professional development must be conceived as a permanent collective work of teachers in the exercise of their activities. When analyzing some in-service teacher formation programs, we can detect that most proposals do not meet the needs and aspirations of teachers. It is often possible to see that they are passive of insecurity, dispersed in relation to the theoretical and practical theoretical framework to guide their pedagogical practices. In addition, teachers feel discouraged to invest in changes in their teaching practice due to the lack of recognition of parents, students, public power and their own colleagues. Thus, the present study is structured in the hypothesis that a course thought together with the teachers, that meets their training needs, can positively infer the development of their autonomy, making possible a reflection on their own pedagogical practice and encourage changes in the long term. The objective, therefore, was to promote an in-service training to Chemistry teachers of Itumbiara / GO using History of Science and Conceptual Fields theory as inspiration of the methodological contribution and compose an activities guide adapted from several sources about the stoichiometry, as an instructional material to the teacher. Initially, a questionnaire was applied, followed by a semi-structured interview with six Chemistry teachers, culminating in the elaboration and application of a training from April to July 2017. In order to meet the needs found in the research instruments, considering the aspirations of the researcher, as well as the orientations expressed in the Parâmetros Curriculares Nacionais and the importance of the History of Science in Science teaching, we thought to address the historical route that refers to Stoichiometry. The sequence of the activities that constituted the course was based on day-to-day situations and on questions that are usually worked out by the teachers with their students, since according to Vergnaud's theory, different situations are indispensable for a concept to be assimilated. At the end of this research, we verified the effective contributions that the proposal of in-service formation brought to the reflection process of the teacher in relation to their practice. The results show that although teachers recognize the importance of in-service training as a mean to improve their professional practice, most of them are not deeply involved in training, usually joining in the training promoted by the school itself at the beginning of the school year and in pedagogical meetings called "collective work". This work revealed positive aspects such as the opportunity to deep knowledge, access to new concepts that enlarge their possibilities teaching situations analysis and even those related to the content, in the view of the participating teachers. At the same time, activities were

specific actions, pointing to the need for in-service training strategies that contribute to a continuity over time.

Keywords: Stoichiometry. History of science. Conceptual field theory.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema explicativo para Conceito. . . . .	48
Figura 2 – Uma possível representação para o Campo Conceitual da Estequiometria . . . . .	52
Figura 3 – Folder de divulgação do curso. . . . .	66

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CTSA	Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente
FNDE	Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
HC	História da Ciência
HFC	História e Filosofia da Ciência
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
MEC	Ministério da Educação
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
TCC	Teoria dos Campos Conceituais
UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
XIX	Século 19
XVIII	Século 18
XX	Século 20
XXI	Século 21

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>15</b>
<b>1</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA: UM BREVE MAPEAMENTO DAS PESQUISAS SOBRE O ENSINO DE ESTEQUIOMETRIA.</b> . . . . .	<b>20</b>
1.1	Dificuldades de ensino e aprendizagem em estequiometria . . . . .	21
1.2	Estratégias didáticas de ensino e aprendizagem . . . . .	27
1.3	Ações na formação de professores . . . . .	34
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> . . . . .	<b>37</b>
2.1	Formação continuada de professores . . . . .	37
2.2	Interface entre Filosofia e História da Ciência e o Ensino de Ciências . . . . .	40
2.3	Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud . . . . .	45
2.3.1	Situações . . . . .	47
2.3.2	Conceitos . . . . .	48
2.3.3	Esquema . . . . .	49
2.3.4	Invariantes Operatórios: conceitos-em-ação e teoremas-em-ação . . . . .	50
2.3.5	Campo Conceitual da Estequiometria . . . . .	51
<b>3</b>	<b>DELINEAMENTO METODOLÓGICO</b> . . . . .	<b>53</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> . . . . .	<b>58</b>
4.1	Análise do Questionário Inicial e da Entrevista . . . . .	58
4.2	ANÁLISE DA CONSTRUÇÃO DO GUIA DIDÁTICO . . . . .	75
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> . . . . .	<b>83</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>88</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>98</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>101</b>

## INTRODUÇÃO

Desde a minha infância fui apaixonada pela educação, pela infinidade de possibilidades que ela oferece, pelo que se pode realizar por meio dela e pela riqueza que ela proporciona e que ninguém consegue roubar. Sempre tive o incentivo e o exemplo de meus pais, pois, apesar de não terem tido a oportunidade de estudar desde pequenos, nunca abandonaram os estudos e sempre se esforçavam para avançar, me mostravam o valor do conhecimento, como sendo o melhor bem que poderiam me oferecer e a melhor herança que podiam deixar.

Este amor pela educação, o gosto pela Ciência, bem como a influência dos meus professores me levaram a ingressar em um curso de Licenciatura em Química, durante o qual comecei a ter conhecimento sobre a difícil realidade da educação, na minha cidade, no meu estado e no país. Mesmo que pareça utópico, comecei a sonhar com a mudança do quadro educacional, com avanços, progressos nos resultados, e que eu pudesse contribuir para que isso se tornasse realidade. Passei a me dedicar ainda mais aos estudos, a me envolver em projetos de pesquisa que objetivavam melhorar o ensino e aprendizagem, desenvolver atividades diferenciadas pautadas no lúdico, na experimentação, pois, para ser uma professora com diferencial, precisava me esforçar mais.

Eu conversava muito com os meus professores, e uma delas, Sandra Cristina Marquez, que me acompanhava desde o Ensino Médio, me fez perceber que por mais que eu estudasse não sairia pronta da Universidade, meu desenvolvimento profissional seria gradativo, e fruto das minhas experiências, dos meus estudos posteriores, eu nunca conseguiria esgotar tudo o que é possível aprender. Comecei a perceber que existiam muitas lacunas na formação inicial de professores, e quando fui para a sala de aula percebi que “nada sabia”.

Concluí a graduação e imediatamente comecei um curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Química, ansiosa para aprender mais. Dessa forma, não perdi o contato com a universidade e mesmo que inconscientemente, sempre me mantive informada sobre a formação de professores, estava sempre analisando de forma crítica a maneira de ensinar, o que ensinar e como isso era tratado nas aulas.

Pouco tempo mais tarde, tive a oportunidade de trabalhar no Núcleo Pedagógico da Subsecretaria Regional de Educação da minha cidade e conhecer melhor as políticas públicas voltadas à melhoria do processo de ensino e aprendizagem, às reformas educacionais, dentre elas a formação continuada de professores, a que mais atraía minha atenção e por meio da qual eu me sentia útil e percebia várias possibilidades de contribuir com os professores em sala de aula. Diante de um convite para supervisionar o Programa Ensino Médio Inovador/ Jovem de Futuro (ProEMI/JF), um projeto de

parceria entre o Instituto Unibanco, o Ministério da Educação (MEC) e a Secretaria de Educação do Estado de Goiás (SEDUC), para melhorar a qualidade de ensino dessa modalidade, que oferecem às Unidades Educacionais a possibilidade de restaurar a infra-estrutura da escola com verbas do Fundo Nacional de Educação (FNDE) e metodologias que auxiliam no processo de ensino e aprendizagem, percebi a dificuldade que os professores têm em utilizar esses recursos e vi a necessidade e a oportunidade de atuar como colaboradora na formação continuada dos professores. Foi então que ao ingressar no mestrado resolvi aprofundar meus estudos nessa linha de pesquisa.

Numa época em que se ouve falar tanto em reforma educacional, é de suma importância que a atenção seja voltada para a formação de professores. A preparação do professor de Ciências é vista como um ponto crucial na reforma da educação em Ciência (ADAMS; TILLOTSON, 1995). Talvez, essa seja a explicação para que este tema esteja presente na pauta de todas as discussões sobre a melhoria do ensino e aprendizagem, evidenciando uma grande preocupação e um crescente interesse em pesquisas nas áreas de formação inicial e continuada de professores.

A formação inicial dos professores se dá por meio das licenciaturas que, pela legislação, são cursos que habilitam os professores para atuar na educação básica: educação infantil, ensino fundamental, ensino médio, ensino profissionalizante, educação de jovens e adultos e educação especial. Desde o final do século XX, as orientações oficiais aconselham que a formação docente seja baseada nos princípios de reflexão sobre a prática, no planejamento e desenvolvimento de propostas de ensino que atendam às necessidades educacionais dos alunos. Entretanto, ainda hoje, no século XXI, os cursos de formação permanecem nos mesmos moldes, praticamente não houve mudanças em relação às orientações (GHEDIN; PIMENTA, 2002).

Não recente o questionamento das estruturas institucionais, dos currículos e dos conteúdos formativos das licenciaturas, e em função dos graves problemas e da crise educacional, as preocupações só aumentam. Candau (1987); Braga (1988); Alves (1992); Marques (1992) e Schön (1983), Schön (1987), entre outros, já mostravam em seus estudos vários problemas nos propósitos formativos destes cursos, como a fragmentação das disciplinas, a desarticulação entre teoria e a prática, a separação entre as pesquisas desenvolvidas na universidade e o trabalho conduzido nas escolas e a insuficiência de quadros teóricos que orientassem a atividade docente.

Contudo, atualmente uma das maiores adversidades a ser enfrentada, no que se refere à formação de professores, é o grande declínio no número de ingressantes e formandos nos cursos de licenciatura, além das altas taxas de evasão, tanto na rede privada quanto na pública, o que corrobora a necessidade de cursos de atualização e aperfeiçoamento dos profissionais que já estão em exercício, haja vista as dificuldades

de implementação prática do trabalho coletivo, e o número de docentes ingressantes com novos pensamentos e novas percepções que também é reduzido.

A partir da década de 90, começa a emergir o paradigma construtivista, segundo o qual o indivíduo tem um papel primordial na aprendizagem. São fornecidas oportunidades para o aluno desenvolver habilidades e conhecimentos que possam se conectar com seus conhecimentos prévios e utilidades futuras, oportunizando aplicações dos conteúdos a problemas dentro de sua cultura particular. O papel do professor na sala de aula de ciência muda de acordo com esse paradigma. O mesmo torna-se um investigador, tentando entender como seus alunos estão construindo conhecimento, para então fornecer oportunidades para desenvolver e modificar entendimentos, fazer conexões e negociar com outros, ou seja, mediando as interações sujeito-objeto e entre os sujeitos. Parte da prerrogativa que os conceitos aprendidos hoje precisam ser modificados amanhã e ajuda o aluno a desenvolver confiança, adaptabilidade e responsabilidade, bem como perceber que existem maneiras alternativas de ver a realidade e de resolver problemas (DAVIS et al., 1993).

Na década seguinte (2000), a educação continuada passa a ser entendida como aperfeiçoamento, aprofundamento e atualização dos conhecimentos em função das constantes mudanças que permeiam a sociedade e o mundo do trabalho, sendo indispensável aos profissionais e acadêmicos, principalmente nos países desenvolvidos. Porém, no Brasil, como a maioria dos currículos dos cursos universitários não atendem as necessidades reais de formação, a educação continuada foi compreendida como uma forma de suprimento a uma formação inicial precária, cujo objetivo maior seria atenuar as fragilidades dos cursos de graduação (GATTI, 2008).

Zeichner (1993) aponta o aprender a ensinar como um processo que não se esgota na formação inicial, mas continua ao longo da carreira do professor, e mesmo os cursos possuindo excelente qualidade, apenas preparam os professores para começar a ensinar. Assim, a necessidade de uma formação contínua não se associa somente às carências da graduação, mas ao fato do desenvolvimento do trabalho docente ser concebido como um trabalho coletivo permanente de professores no exercício de suas atividades (CARVALHO; GIL-PÉREZ, 2011).

Diante desse contexto, ao redirecionar as atenções para o âmbito legal, convém referenciar à Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB, lei n. 9.394/96) que responsabiliza, especialmente, os poderes públicos quanto a essa formação, à qual é tratada em vários de seus artigos. O Artigo 67, Inciso II, estabelece que o aperfeiçoamento profissional continuado é uma obrigação dos poderes públicos, propondo até mesmo à licença remunerada para esse fim. Estabelece também, no Artigo 80, que o Poder Público deve incentivar o desenvolvimento e a veiculação de

programas de ensino à distância, em todos os níveis e modalidades de ensino e de formação continuada. Segundo o Artigo 87, Parágrafo 3.º, Inciso III, é dever de cada município executar programas de capacitação para todos os professores em exercício, utilizando para isso os recursos destinados à educação à distância (GATTI, 2008).

Por outro lado, ao analisar alguns cursos de formação continuada, Falsarella (2004) pontua que a maioria das propostas não atende às necessidades e às aspirações dos profissionais da educação. Frequentemente, é possível notar que os últimos ficam passivos de insegurança, esparsos em relação aos aportes teóricos e práticos necessários para orientar suas práticas pedagógicas. Ademais, os professores acreditam serem desestimulados a investir em mudanças na sua prática docente, pela falta de reconhecimento dos pais, dos alunos, do poder público e dos próprios colegas.

Desta forma, pode-se dizer que este estudo tem como hipótese que um curso pensado junto com os professores, que venha ao encontro às suas necessidades formativas, pode inferir de modo positivo no desenvolvimento da sua autonomia, tornando possível uma reflexão sobre sua prática pedagógica, e a longo prazo, eventualmente, promover mudanças, uma vez que são consideradas para a elaboração do curso as experiências e opiniões dos professores.

Inicialmente, foram investigadas junto aos professores de Química da Rede Estadual de Educação de Itumbiara/GO sua formação acadêmica, suas concepções de formação continuada, o que deveria, na opinião dos mesmos, constar no programa de um curso de curta duração que atendesse suas necessidades formativas no momento. Investigou-se ainda, qual(is) o(s) conteúdo(s) considerado(s) por eles como mais complexos para o ensino e aprendizagem dos conceitos tradicionalmente abordados na disciplina de Química.

No atual contexto do desenvolvimento científico e tecnológico da sociedade, é nítida a imposição de novas demandas ao Ensino de Ciências, o que reflete no conteúdo dos cursos de aperfeiçoamento a serem ofertados. Nesse sentido, o desenvolvimento deste trabalho teve por objetivo estruturar e promover um curso de formação continuada aos professores de Química de Itumbiara/GO, centrado na ampliação do universo de conhecimento deles, utilizando a História da Ciência e a Teoria dos Campos Conceituais como inspiração do aporte metodológico. Aliado a isso, buscou-se identificar as dificuldades dos professores em relação ao ensino de conteúdos por eles definidos como mais complexos. Por fim, a elaboração do guia de atividades, adaptadas de diferentes fontes, sobre o conteúdo de Estequiometria foi realizada, como um material instrucional ao professor.

Essa dissertação é constituída por cinco capítulos: no Capítulo 1 são apresentadas algumas pesquisas sobre o ensino de estequiometria, envolvendo as dificuldades de aprendizagem, as estratégias didáticas propostas no intuito de facilitar

o processo de ensino e aprendizagem e as ações realizadas no âmbito da formação de professores, estruturando um mapeamento dos principais trabalhos já realizados sobre essa temática.

No Capítulo 2, discorre-se sobre os aportes teóricos que fundamentaram a pesquisa, abordando a formação continuada de professores, sua definição e importância no cenário atual da educação. Também, a interface entre a filosofia e a história da ciência e o ensino de ciências, e a Teoria dos Campos Conceituais, bem como seus conceitos basilares (Situações, Conceitos, Esquema, Invariantes Operatórios, Representações) são abordados, e uma proposta de organização dos elementos do campo conceitual da estequiometria é esboçada.

No Capítulo 3 foi apresentado o percurso metodológico, as ações desenvolvidas a fim de alcançar os objetivos propostos e a estruturação do curso de formação continuada. No Capítulo 4, alguns resultados da aplicação do curso são descritos e discutidos. As considerações finais compõem o quinto e último capítulo, apontam questões consideradas importantes do ponto de vista da pesquisadora e procuram evidenciar como as principais dimensões do tema formação continuada se articulam para contribuir com as reflexões acerca do Ensino de Química.



## 1 REVISÃO DA LITERATURA: UM BREVE MAPEAMENTO DAS PESQUISAS SOBRE O ENSINO DE ESTEQUIOMETRIA.

*Quando comecei a fazer, pela primeira vez, um curso de Química, fiquei surpreso ao ver quanta obscuridade cercava a abordagem desta ciência, muito embora o professor que eu escolhera passasse a ser o mais claro, o mais acessível aos principiantes, e ele tomasse infinitos cuidados para se fazer entender. (LAVOISIER, 1785 apud CHASSOT, 1993, 21)*

Este trecho, no qual Chassot cita Lavoisier, permite ao leitor uma noção de que desde a gênese da Química, as pessoas encontram dificuldades em compreender e interpretar as transformações e os fenômenos que as envolvem. Muitas dificuldades persistem até os dias atuais, e mesmo com tantos avanços, ainda há muito a se descobrir e compreender.

Por meio de suas pesquisas, vários autores, (Schmidt (1994), Schmidt (1997), Schmidt (1992); Beall e Prescott (1994); Gorin (1994); Boujaoude e Barakat (2003); Veronez e Piazza (2007); Tristão, Freitas-Silva e Justi (2008); Tóth e Sebestyén (2009); Gulacar et al. (2013); Costa e Souza (2013)), apontam a estequiometria como sendo um dos tópicos mais difíceis de serem compreendidos pelos estudantes e, ao mesmo tempo, de importância capital, visto que interfere diretamente na compreensão de muitos conceitos, nos processos produtivos e industriais, e tem aplicação a várias situações cotidianas. A estequiometria é essencial para resolver problemas e para a compreensão das formas em que a Química se desenvolveu como Ciência.

Cotes e Cotuá (2014) vão além, ao mencionar que os alunos, na maioria das vezes, são capazes de resolver os problemas com cálculos estequiométricos, mas falta uma compreensão qualitativa dos conceitos envolvidos. O modo menos exigente de análise utilizado pelos alunos é um raciocínio baseado em diretrizes e em conjuntos de regras algorítmicas. À medida que a resolução de problemas se torna mais sofisticada, os estudantes avançam em direção ao raciocínio baseado em casos, ou seja, analisando os problemas por semelhança e, em seguida, em direção ao modelo de raciocínio espacial, conseguindo criar e manipular representações mentais visuais.

Para levantar os estudos sobre a problemática, fez-se uma busca de trabalhos publicados na área de Ensino de Química, utilizando a base de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), nos idiomas português, espanhol e inglês, bem como anais de eventos na área de ensino de Química e de Ciências e dissertações e teses. As palavras-chave foram: estequiometria, mol, lei da conservação das massas, lei dos equivalentes, lei da máxima simplicidade, lei das proporções definidas, lei das proporções múltiplas, equações químicas, transformações químicas, número de Avogadro, lei de Charles e Gay-Lussac, leis ponderais, balanceamento, reagente limitante, rendimento, pureza de

reagentes e quantidade de matéria. Priorizou-se, ainda, as publicações mais recentes. Foram encontrados e arquivados trabalhos relacionados a dificuldades de ensino e aprendizagem, estratégias e ações na formação de professores.

### 1.1 Dificuldades de ensino e aprendizagem em estequiometria

Grande parte das pesquisas menciona as dificuldades na aprendizagem dos cálculos estequiométricos, na compreensão dos conceitos correlatos, cometendo equívocos na utilização de termos como número de Avogadro, mol, quantidade de matéria, massa molar, bem como a relação entre os conceitos e os cálculos (SCHMIDT, 1992; SCHMIDT, 1994; SCHMIDT, 1997; BEALL; PRESCOTT, 1994; GORIN, 1994; BOUJAOUDE; BARAKAT, 2003; VERONEZ; PIAZZA, 2007; TRISTÃO; FREITAS-SILVA; JUSTI, 2008; TÓTH; SEBESTYÉN, 2009; GULACAR et al., 2013; COSTA; SOUZA, 2013). Essas dificuldades são atribuídas ao grau de abstração do conteúdo, condicionadas à compreensão dos fenômenos e transformações da matéria nos níveis macroscópicos, microscópicos ou submicroscópicos e representacional ou simbólico (HUDDLE; PILLAY, 1996; ARASASINGHAM et al., 2004; COSTA; SOUZA, 2013), a deficiência nos conceitos básicos de matemática e na interpretação de enunciados (GABEL, 1984; GOMES; MACEDO, 2007; MARTINEZ; LONGHI, 2013).

Os trabalhos de Schimidt (1992; 1994; 1997) consideram que as dificuldades dos alunos na resolução de problemas são provavelmente decorrentes do uso do termo “mol” e outros, desconhecidos, além da falta de compreensão dos conceitos de volume e massa. Vários pesquisadores justificaram as dificuldades dos estudantes do ensino médio em função de uma compreensão inadequada das implicações das equações químicas e, portanto, de como lidar com os coeficientes e índices estequiométricos. Schmidt (1997) afirma que a resolução de problemas estequiométricos sempre foi um obstáculo para muitos estudantes e sua pesquisa evidenciou que é bastante comum a confiança dos mesmos em algoritmos ao fazer cálculos estequiométricos. Percebeu-se que os alunos utilizaram com sucesso seus métodos alternativos de resolução de problemas. É típico dessas estratégias, os alunos descreverem as relações em suas próprias palavras, em vez de aplicar cálculos matemáticos, ou seja, tentar resolver “pela pura lógica”. Os resultados analisados no artigo de 1997 foram coletados em vários estudos. Durante um período de 7 (sete) anos, os problemas foram desenvolvidos e experimentados com cerca de 4838 estudantes, na Alemanha. Os problemas estequiométricos envolviam vários tipos de questões, inclusive com opções de múltipla escolha das respostas, porém, em todos, os alunos eram solicitados a explicitar sua forma de raciocínio. Os resultados da pesquisa subsidiaram o desenvolvimento de programas de aprendizagem sobre

cálculos estequiométricos e também de cursos de curta duração para orientação de professores.

De modo semelhante, Beall e Prescott (1994), Gorin (1994), Boujaoude e Barakat (2003) desenvolveram seus estudos com o objetivo de compreender as estratégias de resolução de problemas dos estudantes e analisa-las de forma a enumerar e classificar os obstáculos predominantes. Em sua investigação, Tristão, Freitas-Silva e Justi (2008) identificaram algumas concepções trazidas pelos alunos ao ingressarem no curso superior de Química, assim como suas principais dificuldades, e a partir dos dados coletados desenvolveram uma aula prática sobre estequiometria. Os dados foram coletados a partir de dois questionários respondidos por três turmas. Destas, uma realizou a aula prática planejada a partir das respostas ao questionário e as outras duas realizaram apenas a aula prática regular do curso de Química Geral Experimental. Foi possível identificar, entre os participantes da pesquisa, que poucos deles (15%) descreviam mol de acordo com a definição IUPAC. Cerca de 8% dos alunos não identificam corretamente o coeficiente estequiométrico de reagentes e produtos nas equações, e 15% dos alunos associam, erroneamente, que espécies positivas (cátions) doam elétrons e espécies negativas (ânions) são carentes de elétrons. Ainda, 23% dos alunos não apresentava uma visão microscópica dos fenômenos químicos. No total, 61% dos alunos apresentaram dificuldades em cálculos estequiométricos. Os resultados da pesquisa mostraram que o planejamento da aula foi importante para a superação de complexidades e reformulação de algumas concepções.

Considerando os resultados de suas pesquisas, Tóth e Sebestyén (2009) e Gulacar et al. (2013) afirmam que a estequiometria tem sido motivo de aflição para estudantes e professores que, desde a sua introdução, tem se esforçado para aprender e para ensinar melhor o assunto. A maioria dos estudos sobre o sucesso dos estudantes nesse tema tem o seu foco no resultado final, necessitando, assim, de um método coerente para analisar os limites na resolução de problemas estequiométricos.

Dessa forma, Gulacar et al (2013) propõem um novo modelo de pesquisa, que examina os subproblemas dentro de um problema maior, no caso, a estequiometria foi dividida em dez desses: escrever equações químicas (WEQ), equações químicas de equilíbrio (BEQ), porcentagem em massa (MP), fórmulas empíricas (EF), fórmulas moleculares (MF), per-rendimento cítrico (PY), reagente limitante (LR), conceito de mol (MC), conservação de massa (CM) e razão estequiométrica (SR). A pesquisa foi realizada com a participação de 18 alunos principalmente de graduação, recrutados de forma voluntária de uma universidade regional do meio-oeste dos Estados Unidos. O protocolo utilizado para determinar como os alunos estavam se aproximando dos vários problemas foi “pensar em voz alta”. Na aplicação do mesmo, os alunos foram convidados a resolver uma série de exercícios e verbalizar seu processo de pensamento

durante a tarefa. O pesquisador se sentou com o aluno e, ocasionalmente, fez perguntas para esclarecer o que o último estava pensando naquele momento, fornecendo algumas dicas quando não era possível prosseguir sem informações adicionais. Este trabalho complementa a investigação iniciada por Gulacar e Fyneweever (2010). De posse dos resultados, realizaram um mapeamento das principais dificuldades, as quais foram categorizadas e codificadas em três grupos:

*Grupo I*- códigos de sucesso: S (sucesso)

*Grupo II*- códigos neutros: NR (não requerido – método alternativo), DD (não sabia fazer) e DSE (fez alguma outra coisa)

*Grupo III*- códigos malsucedidos: UDI (sem sucesso - incorreto), UG (não foi bem-sucedido), URH (dica recebida sem êxito) e CD (não foi possível fazer)

A partir deste protocolo foi possível identificar várias dificuldades dos alunos na resolução dos problemas. A primeira delas foi quanto ao conceito de reagente limitante que eles não se lembravam, outra estava na escrita das equações químicas e fórmulas empíricas, ao escreverem fórmulas para os compostos em que um elemento foi implícito (por exemplo, o hidrogênio é implícito no ácido nítrico; oxigênio está implícito em reações de combustão), e também, nomear compostos com elementos que possuem uma variedade de possíveis números de oxidação. Para EF e MF, os alunos não conseguiam lembrar o significado da fórmula empírica e molecular e na diferenciação umas das outras. Alguns utilizaram métodos incorretos para encontrar as fórmulas empíricas, como a utilização da massa dos elementos, ao invés do número de mol. Uma revisão das transcrições do protocolo “pensar em voz alta” revelou que os obstáculos com PY eram um misto de falta de conhecimentos matemáticos e falha na memorização de detalhes importantes.

Em contrapartida, Costa e Souza (2013) diagnosticaram a visão de professores e alunos acerca das complicações com os cálculos estequiométricos. Eles afirmam que, de acordo com suas pesquisas iniciais, é praticamente unânime entre os professores do Ensino Médio a dificuldade dos alunos em compreender os conceitos de quantidade de matéria e mol. Os trabalhos citados por Rogado (2004), apontam como causas o pouco tempo dedicado ao desenvolvimento do pensamento no nível atômico-molecular em relação ao nível representacional da constante de Avogadro, sendo este uma ponte essencial para a transposição entre o macroscópico e o submicroscópico, além do fato dos alunos não distinguirem as grandezas. Anteriormente, Furió, Azcona e Guisasola (2002) partiram da hipótese de que os limites dos estudantes estão relacionados à falta de conhecimento docente sobre a gênese e evolução do significado dos conceitos de quantidade de matéria e mol.

O trabalho de Costa e Souza (2013) foi realizado por meio de uma pesquisa mista, na qual os resultados foram obtidos pela aplicação de questionários com

perguntas abertas, fechadas e mistas, direcionados aos alunos da 2ª série do Ensino Médio e aos professores de Química de várias instituições de ensino, na cidade de Belém/PA, com a finalidade de evidenciar o uso de concepções alternativas. Os participantes da pesquisa foram 40 professores de Química, sendo 51% da rede pública de ensino e 49% da rede particular da região metropolitana de Belém; e 21 alunos da escola pública e 56 alunos da escola particular, todos da 2ª série do Ensino Médio, com faixa etária variando entre 15 e 19 anos de idade. Os questionários foram aplicados para os professores durante todo o primeiro semestre de 2012, para saber, na visão deles, quais seriam as principais dificuldades dos alunos. Em relação aos alunos, um questionário foi respondido no primeiro semestre seguido de uma aula baseada nos dados obtidos. Posteriormente, um segundo questionário avaliou as concepções dos mesmos sobre o conteúdo lecionado. O conteúdo da aula foi relacionado aos conceitos de mol e de massa e utilizou-se como estratégia uma gincana, com contextualização e jogos didáticos. Destacou-se, na análise dos dados, algumas falas registradas quando questionaram sobre qual a razão para as dificuldades apresentadas pelos estudantes, elencadas no Quadro 1.

Quadro 1: Falas proferidas sobre dificuldades de aprendizagem em estequiometria, extraídas de Costa e Souza (2013).

<b>Professores</b>	<b>Alunos</b>
“Devido à diversificação de associações que podem ser utilizadas nos cálculos, além das dificuldades de interpretação dos dados”. “Porque os alunos têm dificuldades de matematizar”. “Falta de base em Matemática nas séries iniciais, pois nesse momento a maioria tem desinteresse pela disciplina”. “Dispersão e falta de interesse (porque tal assunto é muito monótono e requer habilidade do professor) ”.	“Deve ter mais dinâmica e prática. É muito chato ver só cálculos, gostaria de aprender na prática”. “O professor deve tentar deixar a aula mais dinâmica, apesar de gostar muito de Química, tem aulas que ficam muito monótonas”. “Apresentar o assunto e não complicar o assunto mais do que ele já é”. “Deve apresentar mais exemplos”. “Seria bem melhor se fosse aulas práticas (aulas em laboratório) ”.

Fonte: Elaboração da autora

Costa e Souza (2013) ainda revelaram que, após a intervenção didática, 85% dos alunos participantes da pesquisa compreenderam o conteúdo ministrado, e que 75% destes conseguiram relacionar o conteúdo ao seu cotidiano.

Na pesquisa de Martinez e Longhi (2013), são estudadas as dificuldades dos estudantes com relação à interpretação dos enunciados dos problemas que envolvem a estequiometria, considerando a compreensão textual do exercício como uma condição importante para o sucesso, movidas pela necessidade de saber mais sobre a

natureza e origem dos fatores que funcionam como obstáculo e até mesmo impedem a aprendizagem. Para se descobrir o que leva os alunos a estes embaraços, foram construídas possíveis categorias de dificuldades de compreensão. E, tendo em vista cada categoria, foram preparados indicadores para mostrar os obstáculos de compreensão de leitura dos alunos que participaram no estudo, os quais subsidiaram a elaboração de um questionário dirigido a todos os estudantes do primeiro ano ( $n = 318$ ) de Engenharia da Universidade Nacional de Córdoba, da disciplina Química Aplicada. A cada aluno foi fornecido uma série de enunciados extraídos do Guia de Seminários da matéria que, depois de lê-los, os indicadores que lhes causasse dúvidas de compreensão de leitura deveriam ser identificados. As frequências seriam calculadas para a construção de um gráfico de distribuição das categorias, para que em seguida fosse feita a triangulação dos dados obtidos no questionário, com o registro de voz narrando as ideias dos alunos como eles leem.

A primeira categoria criada era relativa à estrutura do texto. Dentro desta, o indicador mais observado como uma fonte de dificuldades foi a extensão do texto, mostrando uma taxa de 11,5%, contra uma taxa de 8,3%, acumulada entre os indicadores. Isso é mais metade do total mencionado pelos estudantes. A segunda categoria remete-se ao conteúdo do texto, e tem mais da metade de todas as dificuldades de interpretação de leitura identificadas pelas respostas dos estudantes (54,5%). Os obstáculos mais frequentemente mencionados correspondem a um déficit em termos de compreensão de estequiometria, o que mostra a importância de dominar o assunto do texto para que o leitor possa construir representações mentais que lhe permitam o entender. Na ausência desse entendimento, o leitor só pode construir o texto base ou, no máximo, o modelo situacional, incompleto ou irrelevante para o texto da mensagem. As dificuldades associadas com vocabulário técnico de química foram observadas em 7,3% enquanto as relativas a sinonímia entre vocabulário diário e científico acumulou 4,9%. Em comparação com outros indicadores, este não parece ser percebido por grande parte dos alunos, como obstáculos para o entendimento.

A terceira e última categoria diz respeito aos processos de resolução. Para muitos professores, as maiores dúvidas dos alunos na resolução de um problema estão na fase de solução dos mesmos; isto é, quando o aluno realiza a formalização matemática necessária, e opera para, eventualmente, encontrar uma solução. No entanto, esta fase de solução inicia durante a compreensão de leitura, ou seja, antes que o aluno comece a escrever os dados do problema, como a construção mental do modelo da situação-problema que requer texto e representação das relações formais e mentais entre as variáveis envolvidas. Essa categoria acumulou 25,7% do total. O indicador mais citado pelos estudantes foi o levantamento de equações químicas (8,5%). As dificuldades de representar uma equação química ou interpretar uma

determinada equação são identificadas pelos alunos como uma incompreensão de leitura. A porcentagem de estudantes que relataram não dominar as ferramentas matemáticas foi de 6,1%. Os alunos também observaram, em proporção menor (5,5%), problemas relacionados à compreensão das unidades de medida.

Para finalizar essa seção, citamos o trabalho de Galagovsky, Giacomo e Alí (2015), cujas declarações vem ao encontro desta pesquisa, eles afirmam que a química é uma disciplina científica na qual os conceitos básicos (elemento, substância, molécula, íons, interações, etc.) são modelos teóricos e sintéticos, que evoluíram historicamente de forma não-linear. O professor recebe os conteúdos a serem ensinados de forma sequenciada a partir de tradições escolares, para escolher apropriadamente modelos simplificados que sejam acessíveis aos estudantes. Os autores propõem a análise da aula de química como um espaço de comunicação, considerando a mensagem a ser transmitida no intercâmbio como um discurso acadêmico, com as terminologias e explicações científicas geradas pelo professor ou expressas em textos específicos, que na maioria das vezes simplificam demais os conceitos e conteúdos. Isto conduziu a pesquisa sobre deficiência na aprendizagem de reações químicas e possibilitou levantar algumas reflexões sobre o ensino. Os autores apontam que a Lei da Conservação da Massa e Estequiometria estão presentes em todos os livros de Química Geral, algumas vezes em diferentes capítulos. Esse conteúdo é um dos primeiros a ser ensinado em um curso de Química, em qualquer nível. Em contrapartida, o ensino da Estequiometria ocorre geralmente em aulas posteriores, após o tratamento de outras questões, como propriedades dos materiais, tabela periódica, ligações químicas. Geralmente, os professores ao introduzir o tema de equações químicas e seu balanceamento mencionam a conservação de massa. No entanto, não deixam claro que esse balanceamento em nível atômico molecular de massa não corresponde única e exclusivamente ao enunciado de Lavoisier.

Para Galagovsky, Giacomo e Alí (2015), a simplificação da história que omite a reflexão histórica sobre a evolução do conceito de reação química, não faz distinção entre a natureza epistemologicamente diferente da construção do modelo proposto por Lavoisier no século XVIII e a aproximação estequiométrica, cuja aprovação começou no final do século XIX. Esta distinção requer reconhecer que, em uma reação química, o modelo de quantificação do peso sobre o sistema fechado inicial e final é conceitualmente diferente do modelo estequiométrico de conservação do número de átomos de reagentes e produtos. Este último modelo, derivado de diferentes avanços científicos, fruto de décadas de discussões para chegar a um consenso sobre nomenclaturas e regras sintáticas fundamentais à linguagem de fórmula e conhecimento particular e específico de cada reação química. Portanto, a partir de um discurso de ensino que simplifica e omite questões históricas, os alunos são expostos à construção de generalizações equivocadas.

## 1.2 Estratégias didáticas de ensino e aprendizagem

Existem poucos tópicos considerados mais difíceis de entender pelos estudantes de química do que o conceito de mol, por não dominarem a definição, sendo absolutamente essencial usar o raciocínio químico para a sua aplicação. Este conceito é muito importante para o aluno compreender a estequiometria e conseguir resolver problemas diversos com sucesso, segundo as pesquisas que procuram maneiras efetivas de facilitar a aprendizagem do aluno (FURIÓ; AZCONA; GUIASOLA, 2002).

Há alguns autores (HAIM et al., 2003; AULT, 2006; RAVIOLO; LERZO, 2016) que se apoiam na ideia da utilização de analogias para o ensino do conteúdo. Outros (COSTA; ZORZI, 2007; LIRA; RECENA, 2010; VANNATTA; RICHARDS-BABB; SWEENEY, 2010; FORTUNA et al., 2012; PRIMO; PRICINOTTO, 2016) acreditam que a experimentação é essencial para a compreensão dos conceitos em estequiometria. De acordo com outras investigações (NEGRÓN; GIL, 2010; BATINGA; TEIXEIRA, 2010; COTES; COTUÁ, 2014), os alunos aprendem melhor através do método de resolução de problemas. Fabrício, Guimarães e Aires (2011), Lambach e Marques (2011) e Carine et al. (2015) desenvolveram trabalhos utilizando a História e Filosofia da Ciência como ferramentas para a construção de conceitos. Já Migliato Filho e Ferreira (2005); Davidowitz, Chittleborough e Murray (2010) e Santos (2013) utilizaram em suas pesquisas a técnica de modelagem.

Assim como Haim et al. (2003) e Ault (2006), Raviolo e Lerzo (2016) julgam que as analogias constroem uma ponte entre as situações da vida cotidiana dos estudantes e o conhecimento escolar e propõem-se a estudar em que condições, quando e como o ensino com analogias favorece a aprendizagem dos conceitos de estequiometria. Os autores realizaram a experiência de ensinar estequiometria com analogias e avaliaram essa experiência por meio de um questionário para comparar os resultados aos obtidos nas pesquisas de compreensão de conceitos por resolução de problemas. A amostra foi composta por 42 alunos do 1º ano de Licenciatura em Biologia, Física e Química, que tiveram aulas de Química em todos os anos do ensino médio com uma carga horária reduzida e com poucos recursos de laboratórios. A proposta de ensino de estequiometria com o uso de analogias, primeiramente, foi aplicada a três especialistas com a finalidade de validar a mesma.

O material de estudo consistiu de uma sequência com a ordem de complexidade progressiva, que em todos os momentos promovia um paralelo entre uma situação análoga, no caso, a preparação de sanduíche de presunto e o conceito químico. A discussão das fórmulas químicas foi essencial em todo o processo, visto que cada espécie tem sua composição definida (identidade), que é diferente, a partir da mistura de partes. Por exemplo, no caso analógico de um casal dançando, um casal é algo



diferente de uma menina e um menino juntos. Assim, para uma correta compreensão das relações estequiométricas, ou relações quantitativas em uma reação química, que envolve aspectos da compreensão da linguagem química, durante as atividades enfatizou-se a diferença entre coeficiente estequiométrico e índice.

A partir desta analogia os autores trabalharam os conceitos de reagente limitante e em excesso, equação química e rendimento das reações, e afirmam que a principal limitação desta analogia é em relação a leitura em termos macroscópicos e submicroscópicos, ou em termos de átomos e moléculas. Para passar de um nível para o outro, é considerado um número muito grande de partículas, que é o Número de Avogadro ( $6,02 \times 10^{23}$  partículas/mol).

Logo, Raviolo e Lerzo (2016) consideram que somente as analogias e a resolução de exercícios não garantem a compreensão dos conceitos envolvidos, antes é necessária uma abordagem integrada com a utilização de outros recursos, como experimentos, animações, simulações, levando a pensar sobre o nível de representação que está sendo utilizado, as suas relações e conexões com os outros, a natureza do pensamento analógico, a existência de correspondências e limitações.

No que tange à experimentação, vários são os autores que acreditam no seu poder de ensinar e propiciar a construção de conhecimento, seja por meio da sua realização, ou da visualização, ou, ainda, por meio de vídeos que a representem. No trabalho de Costa e Zorzi (2007), por exemplo, a estratégia envolveu experimentos de caráter investigativo sobre reações químicas abrangendo proporção entre os reagentes e produtos, nos quais os alunos puderam perceber a relação ideal para uma reação química ocorrer. Já na pesquisa de Lira e Recena (2010), os autores se propuseram a avaliar a possibilidade de uso de vídeos digitais de experimentos para o ensino de estequiometria. Os autores realizaram a filmagem e edição de experimentos sobre o conteúdo, que foram avaliados por alunos formandos do curso de Licenciatura da UFMS, os quais concluíram que os vídeos não substituem uma aula com experimentos.

É evidente a necessidade de metodologias e estratégias diferentes para o ensino de Química, e a experimentação se constitui como um recurso ímpar nessa tarefa. Por esse motivo, têm-se muitos pesquisadores que se apropriaram dessa metodologia para estruturar suas pesquisas. Vannatta, Richards-Babb e Sweeney (2010) e Fortuna et al. (2012) reproduziram processos industriais com os alunos para trabalhar conceitos de estequiometria. Os primeiros realizaram a síntese e a pirólise de oxalatos, o segundo produziu alumina a partir de latinhas de refrigerante por meio do processo de Bayer.

Em contrapartida, Primo e Pricinotto (2016) realizaram a elaboração e execução de oficinas temáticas e da experimentação como técnicas diferenciadas para ensinar o conteúdo, que é considerado como muito difícil pelos estudantes. O trabalho, implementado em duas turmas da 2ª série do Ensino Médio de uma escola pública do

Paraná, baseado nos pressupostos de Delizoicov e Angotti (1990), teve como objetivo geral a aplicação de um método de ensino diferenciado que despertasse a motivação e a curiosidade, frente a situações do dia-a-dia que envolvessem cálculos estequiométricos. Os autores desenvolveram uma oficina, intitulada “Adoçando as oficinas temáticas: da dificuldade em estequiometria à confecção de alfajores”, por um período de 3 horas/aula em cada turma. Na primeira aula, aplicou-se um questionário prévio a fim de identificar o conhecimento dos alunos acerca da temática trabalhada, em um processo de investigação e problematização por meio de experimentação, levando os mesmos a propor hipóteses. Na segunda aula, realizou-se dois experimentos, um para trabalhar a Lei da Conservação das Massas de Lavoisier, e outro para discutir conceitos referentes a reagente limitante e em excesso, permitindo ainda abordar tópicos como mol, quantidade de matéria, proporção e massa, relacionados aos experimentos. Na terceira aula, confeccionou-se os alfajores, de forma que os alunos pudessem aplicar seus conhecimentos diante de questionamentos referentes à lógica para calcularem o rendimento e proporções da reação. Os alunos foram divididos em grupos, e cada qual recebeu uma tabela com a receita, porém cada receita tinha uma proporção diferente a ser solucionada. Os autores puderam perceber que erros antes cometidos haviam sido minimizados, e que por meio da integração com os colegas e o diálogo com o professor, os alunos conseguiram compreender conceitos antes não compreendidos, além disso notou-se uma maior participação dos alunos na aula. Ainda assim era notória a dificuldade e a confusão dos alunos, principalmente ao lidar com os termos mol, quantidade de matéria e massa molar.

Outra possibilidade apontada na literatura para diminuir as dificuldades dos alunos em relação à estequiometria é a utilização do método de resolução de problemas. Negrón e Gil (2010), Batinga e Teixeira (2010) e Cotes e Cotuá (2014) apontam que esse tipo de abordagem pode auxiliar na aquisição de hábitos e estratégias de resolução de problemas escolares mais próximos aos da ciência e constitui-se uma alternativa para que os professores de Química introduzam problemas de estequiometria.

Nessa perspectiva, Cotes e Cotuá (2014), considerando que uma boa compreensão qualitativa dos conceitos é essencial para resolver problemas e ainda que não foi encontrado um método com eficácia bem estabelecida, pensaram em uma forma de unir a técnica de resolução de problemas ao uso de métodos interativos de ensino apoiados na tecnologia. Então, implementaram o sistema de resposta do público para o ensino de estequiometria, em um curso de Química, a 42 alunos, com idade entre 17 e 18 anos. Inicialmente os alunos tiveram aulas expositivas, totalizando 10 horas, com um único professor, e se apropriaram do método convencional de resolução de exercícios, realizando ao final uma avaliação escrita, na qual 40% dos alunos tiveram notas inferiores a 3,5 em uma escala de 1 (ruim) a 5 (excelente). Após

esta, o mesmo professor ministrou aulas interativas, com o tempo em horas equivalente à primeira aplicação e reformulou as questões com base nos erros mais comuns encontrados. Ao final, os estudantes responderam um teste de múltipla escolha, usando um dispositivo infravermelho e um software chamado “Turning Point Audience Response System”. Primeiro, o professor explicou a questão e leu as opções de resposta. Então, o monitor revelou que 35% dos alunos indicaram uma alternativa, um cronômetro foi acionado dando 15s para confirmação da escolha. Antes, os estudantes foram autorizados a discutir e analisar as questões.

A porcentagem de seleção de cada escolha foi apresentada em um slide. O professor analisou as respostas, explicando o erro conceitual por trás de cada escolha incorreta. Então, o nível de satisfação com a metodologia aplicada e o nível de compreensão do material foram avaliados na pergunta final. As habilidades dos alunos foram aumentadas, como evidenciado nas respostas. Aproximadamente 81% dos alunos participantes apresentaram melhor conhecimento no final do exercício das perguntas do clicker, indicando uma maior compreensão dos índices de massa definidos em uma equação química. A maioria dos estudantes concordou que o uso de sistemas de resposta imediata junto com a metodologia de resolução de problemas foi positiva e contribuiu para a compreensão do assunto.

Não obstante dessa metodologia, Fabrício, Guimarães e Aires (2011); Lambach e Marques (2011) e Carine et al. (2015) concordam que a abordagem dos conteúdos por meio da História e Filosofia da Ciência (HFC) pode contribuir para o enfrentamento de muitas dificuldades no ensino de Ciências, facilitando a mudança de concepções simplistas sobre a Ciência, uma vez que,

A HC é considerada conhecimento indispensável para a humanização da ciência e para o enriquecimento cultural, passando a assumir o elo capaz de ensinar menos para ensinar melhor. É deixada, aos curriculistas, a importante tarefa de promover reestruturações visando muito mais eliminar do que acrescentar conteúdos de ensino (OKI; MORADILLO, 2008, p. 69).

Nessa direção, uma vez conhecidas as vantagens de uma abordagem contextual histórica, os autores citados propõem algumas estratégias didáticas para o ensino de conceitos de estequiometria utilizando esta poderosa ferramenta. Em seu trabalho, Fabrício, Guimarães e Aires (2011) elaboraram uma sequência didática com o objetivo de utilizar textos clássicos sobre História da Química, entre os quais se utilizou o *Traité Élémentaire de Chimie* escrito por Lavoisier em 1789 e outros artigos relacionados a esta obra. Com isso, elaborou-se um conjunto de oito aulas, reproduzido no Quadro 2.

Quadro 2: Sequência didática sobre a biografia de Lavoisier

Aula	Objetivo	Metodologia
1	Avaliar as concepções dos alunos sobre o tema.	Aplicar um questionário inicial (Q.I), composto por 10 (dez) questões, das quais 5 (cinco) são sobre combustão, flogísto, Lavoisier e 5 (cinco) sobre concepções e reflexões a cerca de HFC. O questionário deve ser respondido de forma individual, sem interferência do professor, tanto na interpretação das questões quanto nas respostas.
2	Discutir aspectos sociais, políticos, econômicos e culturais do período em que Lavoisier desenvolveu a teoria da combustão.	Apresentação de dois vídeos (Revolução Francesa e A Revolução Francesa, disponíveis em <a href="http://www.youtube.com/watch?v=l47mNZO-On8">http://www.youtube.com/watch?v=l47mNZO-On8</a> e <a href="http://www.youtube.com/watch?v=DHZ50gBGZJg">http://www.youtube.com/watch?v=DHZ50gBGZJg</a> , acessados em 19/09/2016), os quais retratam de forma detalhada o trabalho de Lavoisier nessa época. Antes do início dos vídeos deve-se solicitar aos alunos que anotem um fato, informação ou acontecimento presente nos vídeos que lhes chamem a atenção, para ser discutido posteriormente.
3	Discutir concepções de ciência e de cientista, buscando mostrar que a ciência é construída por pessoas comuns e não fruto do acaso.	Divisão dos alunos em grupos para leitura e exposição do texto sobre a biografia de Lavoisier, destacando a construção humana da ciência, o papel da mulher nessa construção, a não neutralidade da ciência e a influência da Revolução Francesa no meio científico em que foi elaborada a Teoria da Combustão.

4	Fazer com que os alunos observem a combustão de diferentes amostras e tentem explicar o porquê das mudanças de massa após serem calcinadas.	Os alunos devem ser divididos em grupos, para a realização de um experimento sobre calcinação, para que cada um realize o experimento com as duas amostras: esponja de lã de aço e algodão.
5	Apresentar as teorias de Stahl e Lavoisier e fazer com que os alunos compreendam os resultados obtidos no experimento de calcinação.	O Texto 2, que aborda as teorias da combustão: o flogisto, de Stahl e o oxigênio, de Lavoisier, deverá ser entregue aos alunos a fim de subsidiar as discussões, e o professor deve contribuir com mais informações e explicar os resultados do experimento por meio de equações químicas.
6	Introduzir o conceito de paradigma e mostrar que existem diferentes interpretações sobre o mesmo objeto.	Será exposto um <i>slide</i> com a Figura 1 (cubo). Os alunos devem ser questionados quanto à posição da face anterior do cubo. Em seguida, os alunos devem receber cópias de trechos das publicações científicas de Lavoisier para que possam observar a ruptura do paradigma da época e a postura do cientista frente a essas mudanças, propiciando uma reflexão sobre paradigmas e teorias vigentes.
7	Retomar as questões do questionário inicial, Q.I.	Deve-se pedir aos alunos que desenhem novamente um cientista, como na questão 7 do Q.I.. Assim que todos entregarem os desenhos deve-se realizar uma comparação com aqueles desenhados no início da execução da sequência didática, e permitir que eles próprios percebam se houve mudanças na sua percepção. Logo após, para retomar a questão 1 do Q.I., relacionada ao que é necessário para que uma vela queime, deve-se realizar o experimento da queima da vela, de forma demonstrativa, de modo que os alunos percebam quais são os componentes necessários para que essa reação ocorra, dando suporte para a discussão sobre o papel do oxigênio como comburente nas reações de combustão.

8	Avaliar se houve mudanças na concepção dos alunos sobre os temas tratados na unidade didática após o desenvolvimento das aulas.	Nesta aula será aplicado um questionário final (Q.F.), composto por nove questões, entre as quais, cinco são as mesmas do Q.I. e quatro relacionadas à unidade didática
---	---	---

Fonte: Adaptado de FABRÍCIO; GUIMARÃES; AIRES, 2011

Os autores destacam que as propostas didáticas privilegiando a HFC podem minimizar problemas relativos à aprendizagem de conceitos científicos, e que apesar das diversas argumentações em relação às contribuições que pode trazer ao ensino de Ciências, essa abordagem é inviabilizada pela falta de material e de propostas didáticas.

Ainda sobre estratégias de ensino, Migliato Filho e Ferreira (2005) relatam que desde a graduação notavam grande dificuldade por parte dos alunos em compreender os conceitos envolvidos na estequiometria. Assim, na tentativa de entender o motivo dessa resistência à compreensão destes conceitos, resolveram propor o ensino deste conteúdo usando uma maneira inovadora, na qual não seriam utilizados apenas lousa, giz e saliva. Eles acreditavam que os estudantes precisavam de motivação e que esta partiria de atividades diferentes. Corroborando esse raciocínio e o de Davidowitz, Chittleborough e Murray (2010); Santos (2013) desenvolveu um trabalho semelhante, admitindo que a elaboração de modelos possibilita ao estudante visualizar conceitos abstratos criando estruturas por meio das quais ele pode explorar seu objeto de estudo e testar seu modelo. Em sua pesquisa, Santos (2013) aborda que os discentes precisam se sentir motivados a usar diferentes formas de construir seus modelos, pois desenvolveriam a capacidade de visualiza-los mentalmente aumentando sensivelmente a abstração, com o avanço da idade, e por meio das representações oferecidas pelo professor, o estudante começa a entender e aceitar a natureza das metáforas e analogias. Para comprovar sua hipótese, a autora desenvolveu uma sequência didática utilizando atividades experimentais, assumindo que o processo de aprendizagem se dá com o envolvimento ativo por parte do aluno em situações que favoreçam a expressão das ideias. Dessa forma, a partir de uma revisão da literatura sobre as dificuldades de aprendizagem e sobre as estratégias já utilizadas, abordou o conceito de quantidade de matéria propondo uma sequência didática piloto dividida em três etapas:

- 1) Aplicar e analisar o instrumento elaborado para detectar as dificuldades de aprendizagem;
- 2) Estudar, de forma dirigida, um texto que contextualiza o estudo da estequiometria;

- 3) Executar uma atividade experimental e construir representações (modelos) que expliquem o fenômeno observado.

Com essa proposta foi realizado um minicurso de 20 horas a 17 alunos dos cursos de graduação de Licenciatura em Química e de Química do Petróleo da UFRN, no qual foi aplicada a unidade didática inicial. Após a análise de alguns dos resultados dessa primeira aplicação, perceberam a necessidade de reformular a proposta, e assim, foi elaborada uma nova unidade que previa o ensino de conceitos e que ao final deveria resultar na aquisição de algumas habilidades pelos estudantes, como compreender e aplicar a Lei de Conservação das Massas, representar uma reação química utilizando uma linguagem própria e compreender e aplicar o conceito de quantidade de matéria/mol. Desde a revisão da literatura, a autora diz ter percebido a necessidade de um olhar direcionado às dificuldades de aprendizagem dos estudantes da Educação Básica e tratar desse tema nos cursos de formação inicial de professores de Química com a intenção de proporcionar situações para o desenvolvimento da metacognição. Essa atividade evidenciou, também, para esses futuros professores, a dificuldade em relacionar os níveis simbólico, submicroscópico e macroscópico, assim como compreender adequadamente o conceito de mol, visto que confundiam essa grandeza e outras como massa e volume molar.

Contudo, esse estudo mostrou que a utilização da modelagem como ferramenta para a construção do conhecimento científico representa uma alternativa para significar o estudo da estequiometria, embora tenha sido constatado que o sucesso do trabalho pode não denotar a aprendizagem dos conceitos, ou ainda não ter alcançado uma evolução das representações dos participantes para os fenômenos estudados.

### **1.3 Ações na formação de professores**

A formação de professores é um tema que sobressai entre tantos outros que permeiam a educação, pois acredita-se que uma boa e contínua formação docente seja um dos primeiros passos para garantir um ensino de qualidade. A importância deste tema é respaldada pelo número de publicações na área e também pelos vários encontros, simpósios e outros eventos que tem como uma de suas linhas de pesquisa a formação de professores. No entanto, ao analisar as publicações mais recentes, percebeu-se inúmeros trabalhos que buscam compreender a atuação docente, revisões da literatura, propostas de melhoria, muitas vezes sem o estudo e ou reflexão sobre um conteúdo específico (saber escolar).

Na busca por pesquisas que abordassem a estequiometria em um contexto de formação de professores, encontramos o trabalho de Taasobshirazi e Glynn (2009), o qual consistiu no teste de um modelo de experiência em resolução de problemas

químicos junto aos alunos de um curso de graduação em Química. O modelo baseava-se na teoria do Controle Adaptativo de Pensamento-Racional (ACT-R) de Anderson, o qual mostrou, por meio do caminho estatístico e das explicações dos alunos, que a conceituação, a auto eficácia e estratégia interagem e contribuem para a solução bem-sucedida de problemas quantitativos de Química nas áreas de estequiometria, termoquímica e propriedade de soluções.

Gulacar, Eilks e Bowman (2014) realizaram um estudo para identificar diferenças entre estudantes com níveis superiores e inferiores de habilidades cognitivas. A investigação foi realizada com 18 alunos de um curso de graduação em Química que tinham conhecimentos prévios de estequiometria por meio de uma disciplina ofertada em um semestre anterior. O estudo revelou que os estudantes de maior desempenho têm uma melhor compreensão conceitual em relação aos alunos de menor, e que quanto mais complexo o problema, e a natureza formal e abstrata da linguagem química, maiores são as diferenças entre estudantes. Esse resultado sugere a necessidade de materiais e estratégias diferenciadas de ensino e aprendizagem nos cursos de graduação, uma vez que todas as salas de aula possuem uma série de habilidades estudantis diversificadas, sendo importante encontrar métodos de ensino que possam envolver os alunos em vários níveis.

Em outro trabalho, realizado nos anos iniciais da graduação em Química, Moretti (2015) desenvolveu com os alunos uma sequência para introduzir o conceito de extensão da reação e exemplos de suas aplicações (termoquímica, cinética, eletroquímica), mostrando a importância de se trabalhar esse conceito, bem como a necessidade de que seja abordado nos livros didáticos, já no primeiro volume.

Em relação às pesquisas realizadas com professores em exercício, destaca-se a de Harshman e Yeziarski (2016), investigando a utilização da avaliação formativa em Química e interpretação dos resultados para melhoria do ensino. A amostra compôs-se de 340 professores de Química do Ensino Médio, os quais responderam à pesquisa elaborada pelos autores e intitulada "Avaliação Survey de Química Adaptativa para professores (ACAST)". A análise das respostas evidenciou que um número relativamente pequeno de professores demonstrou limitações no alinhamento de itens com metas de aprendizado de química. No entanto, a maioria dos professores respondeu de forma consistente com uma consideração limitada de como o enunciado do item afeta a interpretação, evidenciando a importância de se trabalhar com avaliações formativas.

Batinga e Teixeira (2010), considerando as necessidades de reflexão sobre a formação docente, desenvolveu sua tese de doutorado objetivando conhecer as visões e práticas dos professores, e como abordam a resolução de problemas nas aulas de estequiometria. O trabalho envolveu cinco professores de Química do Ensino Médio, de cinco escolas da rede pública e privada do Estado de Pernambuco, por meio



de entrevistas semiestruturadas e gravação de aulas. A entrevista consistia em 11 (onze) questões abertas, as quais foram analisadas qualitativamente, para análise e identificação das concepções dos professores sobre ensino e aprendizagem, problemas e exercícios, planejamento e metodologias, tipologia dos conteúdos e intervenção pedagógica. Os resultados da entrevista indicaram que os professores não estão abordando estratégias de resolução de problemas em suas aulas, mas resolução de exercícios, com exceção de uma professora que utilizou problemas qualitativos. Em síntese, os estudos apontaram a necessidade de os professores vivenciarem estratégias de resolução de problemas quer seja na sua formação inicial ou continuada, possibilitando a elaboração de problemas potenciais, assim como a condução do processo de resolução nas aulas de Química.

Por fim, vale mencionar a investigação de Ayres-Pereira (2013), realizada com professores de Ciências do 9º ano do Ensino Fundamental, com o objetivo de conhecer como eles apresentam o conteúdo de transformações químicas, fundamental para a compreensão da estequiometria. A pesquisa foi orientada pela hipótese de que a maioria dos professores de Ciências aborda o conceito de transformações químicas de forma incompleta, restringindo-se a alguns aspectos conceituais e com uma prática permeada pelo modelo tradicional de ensino. O estudo qualitativo foi realizado em duas etapas, iniciando por um instrumento descrito na literatura para identificar o modelo didático e questões específicas para verificar as visões e práticas. A partir das ideias manifestadas pelos docentes, a autora construiu categorias de análise para os resultados. Identificou nas respostas dos participantes, modelos didáticos pessoais híbridos e incoerentes, diversas lacunas e concepções alternativas sobre o conceito de transformações químicas e uma prática tradicional de ensino. Foi possível ainda, perceber que os níveis conceituais superiores estão mais suscetíveis à evolução do modelo didático. Em suas considerações finais, a pesquisadora defendeu que estes resultados preconizam a necessidade de atividades de formação continuada para que os professores participem, ativamente, de grupos nos quais possam refletir sobre seus conceitos e práticas.

Neste capítulo, uma revisão de pesquisas importantes, mais recentes, confirma a relevância de se trabalhar com o tema proposto. O presente estudo se relaciona com os anteriores no sentido de que propõe uma estratégia com a finalidade de melhorar o ensino e aprendizagem dos conceitos envolvidos no conteúdo de estequiometria. Entretanto, se diverge dos mesmos por apostar na premissa de que História da Ciência e a Teoria dos Campos Conceituais podem facilitar o processo de apropriação dos conceitos. Dessa forma, no próximo capítulo, serão abordados aportes teóricos da História da Ciência e da Teoria dos Campos Conceituais, a fim de subsidiar a articulação dos conceitos e como o professor aprende em situações de aprendizagem.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Formação continuada de professores

As discussões acerca da formação de professores, nas últimas décadas, têm mostrado que a formação inicial não é suficiente e não prepara o indivíduo para toda vida profissional, antes, os avanços na área do conhecimento e o seu inter-relacionamento com o desempenho profissional mostram a necessidade de atualização de conhecimentos e de aperfeiçoamento constantes para aqueles que atuam na educação (CARVALHO; GIL-PÉREZ, 2011)

A formação docente emerge como um tema crítico e de fundamental importância a ser favorecido nas políticas públicas para a educação, haja vista que os obstáculos enfrentados pela escola exigem um nível profissional mais elevado nos tempos atuais, o que fundamenta a necessidade da oferta de uma formação inicial plausível, bem como, proporcionar aos professores oportunidades de formação continuada, assegurando os elementos necessários para uma atuação docente consistente e a decodificação e reflexão sobre as práticas vivenciadas em sala de aula. Segundo Libâneo (2004)

O termo formação continuada vem acompanhado de outro, a formação inicial. A formação inicial refere-se ao ensino de conhecimentos teóricos e práticos destinados à formação profissional, completados por estágios. A formação continuada é o prolongamento da formação inicial, visando o aperfeiçoamento profissional teórico e prático no próprio contexto de trabalho e o desenvolvimento de uma cultura geral mais ampla, para além do exercício profissional. (p. 227).

O saber docente é fruto desse processo contínuo que se inicia na formação inicial do professor, em uma determinada área específica, aos quais são agregados, ao longo do tempo, fundamentos teóricos, pedagógicos e elementos práticos advindos da atividade docente. Nesse sentido, Tardif (2010) afirma que os saberes docentes não podem se resumir a uma mera transmissão de conhecimentos já constituídos, mas que sua prática deve integrar um saber plural mesclado de saberes oriundos da formação profissional e de saberes disciplinares, curriculares e experienciais, que com o passar do tempo passam a integrar os saberes pedagógicos, que se apresentam como concepções originárias de reflexões sobre a prática educativa. Concordamos com Mizukami et al. (2002) que

Aprender a ser professor, nesse contexto, não é, portanto, tarefa que se conclua após estudos de um aparato de conteúdo e técnica de transmissão deles. É uma aprendizagem que deve se dar por meio de situações práticas que sejam efetivamente problemáticas, o que exige o desenvolvimento de uma prática reflexiva competente. Exige ainda, que além de conhecimentos, sejam trabalhadas atitudes, as quais são consideradas tão importantes quanto os conhecimentos (p. 12).

Nessa direção, considerando a formação como um “*continuum*”, o paradigma da racionalidade prática supera a concepção de racionalidade técnica, fazendo com que a formação docente seja vista de acordo com o modelo reflexivo e artístico, baseado no pensamento construtivista da realidade que o professor enfrenta, como própria a construção do seu conhecimento profissional de forma particular e gradativa (MIZUKAMI et al., 2002). Todavia, as propostas de formação continuada já concebidas no Brasil, particularmente as da área das Ciências, constituem-se, em sua maioria, de ações de “reciclagem” ou “capacitação” de professores em cursos de curta duração, que, geralmente, não rompem com a racionalidade técnica (ROSA; SCHNETZLER, 2003)

Nos últimos anos, a discussão a respeito da formação continuada de professores tem sido intensa, o que pode implicar em direções divergentes, que culminam em perspectivas metodológicas diferentes na exploração de técnicas diversas. De acordo com Maldaner (2000), há algumas características relevantes que qualificam os programas de formação continuada, a exemplo de

os grupos de professores que decidem “tomar nas próprias mãos” o tipo de aula e o conteúdo que irão ensinar, tendo a orientação maior – parâmetros curriculares por exemplo –, como referência e não como fim; a prevalência dos coletivos organizados sobre indivíduos isolados como forma de ação; a interação com professores universitários, envolvidos e comprometidos com a formação de novos professores; o compromisso das escolas com a formação continuada de seus professores e com a formação de novos professores compartilhando seus espaços e conquistas. . .” (MALDANER, 2000, p.25)

Sob essa ótica, é imprescindível tratar com prioridade a urgência da transformação do modelo tradicional de formação docente, pois deve-se primar pela coerência entre o que os educadores aprendem e o que lhes é exigido que ensinem, e na prática, é raro ver o professor realizar em suas aulas o que não veem aplicado em sua formação (MIZUKAMI et al., 2002). Para os professores de Ciências da Natureza, essa ainda é uma realidade, Eichler e Pino (2010) ressaltam que o ensino de conteúdos de ciências implica na transformação do conhecimento científico em conhecimento escolar, e que esta transposição é frequentemente realizada de forma isolada nos cursos de formação inicial, ou seja, o futuro professor estuda de forma tradicional os conceitos, e a transposição é realizada separadamente nas disciplinas didáticas (prática do ensino ou estágio supervisionado).

Na prática cotidiana, com as contingências do ambiente de trabalho, os professores acabam se tornando suscetíveis à reprodução dos livros didáticos, reduzindo sua capacidade criativa e reflexiva, haja vista que ele não participa da adequação dos temas abordados pelo livro, o que o torna passivo quanto ao processo de elaboração de conteúdo, e da metodologia adotada (EICHLER; PINO, 2010)

Maldaner (2000) destaca que os pesquisadores educacionais, os formadores de professores e os governantes deveriam unir esforços para incentivar a participação dos professores nas pesquisas, como forma de mudar a prática nas salas de aula. Ressignificar as escolas como espaços de reconstrução do conhecimento e reconstrução cultural facilitaria o cumprimento de seu papel como instituição, se os seus profissionais estivessem de fato engajados na criação e na análise dos resultados das práticas de sala de aula. Maldaner elucida, ainda, que

*Entre os pesquisadores educacionais, principalmente, aqueles envolvidos diretamente, com a formação de professores, cresce a convicção de que a pesquisa educacional deve ser realizada com a participação do próprio professor, tanto em sua formação inicial quanto em sua formação continuada. A pesquisa, como princípio formador e como prática deveria tornar-se constitutiva da própria atividade do professor, por ser a forma mais coerente de construção/reconstrução do conhecimento e da cultura. Dessa forma poderíamos superar a metáfora do professor como transmissor do conhecimento e de cultura. Essa metáfora pode estar isolando o professor da produção do conhecimento profissional, tornando-o sempre mais dependente e desprofissionalizado. Preferimos desenvolver uma nova metáfora, a do professor/pesquisador em uma prática reflexiva na ação e sobre a ação, superando a dicotomia, própria da racionalidade técnica, que concebe alguns profissionais como produtores de conhecimentos e outros que o aplicam. Pensada dessa forma, a sala de aula passa a ser uma situação que é única, complexa, com incertezas, com conflitos de valores, com a qual o professor vai conversar, pensar e interagir (MALDANER, 2000, p. 88 e 89).*

Completando essa ideia, a literatura em didática das ciências evidencia que o conhecimento do professor deve transcender o que é comumente contemplado nas disciplinas científicas específicas, importando ao docente conhecer tópicos de história e filosofia das ciências, a construção do conhecimento científico, as interações ciência-tecnologia-sociedade-ambiente (CTSA), pois se acredita que essas são as vertentes para embasar um processo de ensino integrado e eficaz (EICHLER; PINO, 2010).

Mizukami et al. (2002) apresentam, nessa perspectiva, a construção de materiais instrucionais como possibilidade de formação continuada, partindo do pressuposto que a construção individual ou coletiva de materiais pedagógicos propicia a aprendizagem de diferentes tipos de conhecimento e permite a reflexão sobre suas práticas. Nesse sentido, admite-se a necessidade de investimento na História e Filosofia da Ciência nos cursos de formação continuada, uma vez que o assunto não é devidamente tratado na formação inicial e a compreensão da natureza da Ciência e do conhecimento científico é indispensável para a fundamentação do ensino.

A pesquisadora acredita que os programas de formação continuada devem valorizar os saberes e experiências dos professores e, para isso, deve ser estabelecida uma parceria entre os formadores e os professores em atuação, de forma a atender às necessidades dos mesmos e auxiliar na resolução dos problemas que enfrentam no cotidiano escolar. As ações devem primar pelo desenvolvimento do pensamento

crítico e reflexivo sobre a própria prática, e propiciar ao professor que ele se veja e seja visto com um intelectual crítico e ativo no processo de sua formação, transcendendo as formações que privilegiam discussões que envolvam estratégias de como ensinar.

Em vista disso, salienta-se que a proposição e realização de cursos de formação continuada, mesmo que de curta ou média duração, com um programa flexível, tem sua importância fundada na aprendizagem e socialização, de forma voluntária e informal, na interação entre o grupo e no desenvolvimento profissional.

## 2.2 Interface entre Filosofia e História da Ciência e o Ensino de Ciências

Na atualidade, a História da Ciência (HC) vem ganhando destaque no meio acadêmico, pela versatilidade que oferece para a discussão e reflexão da natureza, origem e transformações de conceitos e ainda na construção/reconstrução de conhecimentos. Sua relevância na formação de professores também é reconhecida, uma vez que uma das dimensões do conhecimento da matéria a ser ensinada pelo professor envolve a HC (TRINDADE; BELTRAN; SAITO, 2014)

O conhecimento químico como uma construção da mente humana e em constante transformação, e a história dessa ciência, concebida como uma construção social, devem estar presentes em todo o ensino de Química, oportunizando ao aluno assimilar o processo de elaboração desse conhecimento, com seus avanços, erros e conflitos (BRASIL. Ministério da Educação, 2006). Dentro dessa perspectiva, as orientações expressas nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e demais orientações educacionais complementares a esses, destaca que a organização dos conteúdos deve levar em consideração o desenvolvimento de competências básicas que favoreçam à formação para a cidadania e para a vida profissional, dentre as quais pode-se citar alguns conhecimentos/habilidades/valores relativos à história e filosofia da Química:

- reconhecimento e compreensão da ciência e da tecnologia químicas como criação humana, inseridas, portanto, na história e na sociedade em diferentes épocas
- compreensão do mundo, do qual a Química é parte integrante, por meio dos problemas que ela consegue resolver e dos fenômenos que podem ser descritos por seus conceitos e modelos
- compreensão das formas pelas quais a Química influencia nossa interpretação do mundo atual, condicionando formas de pensar e interagir
- compreensão dos limites da ciência e o significado das suas dimensões sociais e políticas
- reconhecimento da ciência não como um corpus rígido e fechado, mas como uma atividade aberta, que está em contínua construção, a qual não é justificada somente por critérios racionais e cognitivos, pois esses critérios são também construídos socialmente

- reconhecimento do caráter provisório e incerto das teorias científicas, das limitações de um modelo explicativo e da necessidade de alterá-lo, avaliando as aplicações da ciência e levando em conta as opiniões controversas dos especialistas
- compreensão do papel desempenhado pela Química no desenvolvimento tecnológico e a complexa relação entre ciência e tecnologia ao longo da história (BRASIL. Ministério da Educação, 2006, p. 115)

Nesse sentido, a HC apresenta recursos adequados para ilustrar a descoberta, a revisão e a transformação, assim como a reprovação ou aprovação de teorias e sua condicionalidade e sujeição às concepções vigentes. Apresenta também o poder de combater o cientismo (verdade absoluta) e ao dogmatismo (princípio indiscutível), geralmente presentes nas aulas de ciências, oportunizando explicitar uma visão integrada do desenvolvimento científico (que só foi possível em conjunção com o desenvolvimento da matemática, filosofia, tecnologia, teologia, comércio, etc.), e o “lado humano” dos cientistas (DUARTE, 2004).

O estudo adequado de alguns episódios históricos também permite compreender que a ciência não brota pronta na cabeça de “grandes gênios”. Em muitos casos as teorias que aceitamos hoje foram propostas de forma confusa, com muitas falhas, sem possuir uma base observacional e experimental. Apenas gradualmente as ideias vão sendo aperfeiçoadas, através de debates e críticas, que muitas vezes transformam totalmente os conceitos iniciais. Da mesma forma, o estudo de determinados momentos históricos permite compreender que a ciência não é resultado da aplicação de um “método científico” que permita chegar à verdade. Os pesquisadores formulam hipóteses ou conjeturas a partir de ideias que podem não ter qualquer fundamento, baseiam-se em analogias vagas, teorias provisórias, discordam uns dos outros e lutam entre si para impor suas ideias. As teorias vão sendo construídas por tentativa e erro (MARTINS, 2006, p. xviii).

Várias são as possibilidades de interface entre História da Ciência e o ensino. Na Química, por exemplo, a contribuição histórica é mencionada por vários autores com propostas alternativas ao ensino tradicional baseadas em diferentes tendências pedagógicas. Kavalek et al. (2015) apontam que:

[...] A química tem uma longa e rica história, caracterizada por visões filosóficas, diversas maneiras de interpretar o mundo, cosmologia, erros e acertos, escritos desorganizados, até o experimentalismo, o mecanicismo e a abstração matemática. Muitos historiadores alegam que, a partir dos trabalhos de Robert Boyle, e, principalmente, a partir da publicação do “The Sceptical Chemist”, em 1661, o pensamento químico foi reformulado, colocando a química em seu patamar de “ciência-mecanicista”. Boyle, segundo Alfonso-Goldfarb, tem seu interesse voltado à tentativa de “passar da Alquimia a uma ciência da matéria em consonância com a filosofia natural mecanicista”. Outro marco importante na história da química foram os trabalhos de Antoine Lavoisier, o *Traité élémentaire de chimie*, em 1791 e, considerada a “nova identidade da Revolução Química”, quando o trabalho de Lavoisier tornou-se formalizado, em 1890, através da publicação do livro “*La révolution chimique- Lavoisier*”. Já entre docentes de química, não há

entendimento e um consenso sobre quando esta iniciou como ciência, alguns educadores acreditam que a química iniciou com o início da humanidade, outros com Boyle, outros com Lavoisier, há também os que defendem que a química iniciou com a ruptura da alquimia (KAVALEK et al., 2015, p. 8-9).

A preocupação da maioria dos professores, muitas vezes, está centrada em conhecer e orientar aos alunos quanto aos conceitos de Química. A utilização da HC nas aulas de Ciências, demanda que o professor tenha uma formação que facilite uma seleção do material histórico apropriado e a sua adequação para situações específicas de aprendizagem, o que se torna um obstáculo, visto que os professores do Ensino Médio no Brasil possuem grandes dificuldades em lidar com a HC, até mesmo em encontrar fontes seguras, que forneçam informações de qualidade e que lhes permitam identificar a concepção historiográfica que os autores se basearam na escrita desses materiais (MARTORANO; MARCONDES, 2012). Desse modo,

Admitindo-se a importância da História de Ciência como fomentadora de estratégias para o ensino e aprendizagem, Saito et al apontam que não é tarefa fácil para o professor elaborar essas estratégias, visto ser um grande desafio integrar duas áreas do conhecimento com objetos de estudos tão diferentes como são os da educação e os da História da Ciência. O primeiro desafio é definir qual visão sobre a história da ciência quer de abordar nessas estratégias: "(...) diferentemente do que pensa o senso comum, não basta juntar História e Ciência para que o resultado final seja provavelmente História da Ciência". (MARTORANO; MARCONDES, 2012, p. 20)

De acordo com Trindade, Beltran e Saito (2014), as vertentes historiográficas atuais romperam com a ideia de conhecimento acumulativo que se desenvolve contínua, linear e progressivamente, como na historiografia tradicional. A HC, na revisão de seus fundamentos e reavaliação das suas bases, abandonou a visão positivista de ciência e vem renovando suas propostas no sentido de humanizar o conhecimento científico, de forma a contribuir significativamente com o processo de ensino e aprendizagem, bem como para aprimorar a formação docente, concorrendo para a compreensão da estrutura da Ciência e, conseqüentemente, no seu ensino nas escolas.

Para este trabalho, buscando atender as necessidades expressas pelos professores no instrumento de pesquisa e as aspirações da formadora, serão abordados fragmento da História da Ciência que remetem à construção do conceito de Estequiometria, por meio das Leis Ponderais.

Os cálculos estequiométricos são uma das ferramentas mais utilizadas para a compreensão dos fenômenos químicos desde o século XVII, com as ideias de Gassendi e Boyle. Talvez não com a mesma abordagem de hoje, entretanto, é a matematização da natureza que torna possível a interpretação inteligível sob as aparências enganosas dos fenômenos por meio de suas proporções harmoniosas, expressas em números (CARUSO; OGURI, 2006)

O cálculo estequiométrico, por meio dos estudos de Lavoisier, no século XVIII, trouxeram importantes contribuições para a quantificação e sistematização dos processos químicos. Seus trabalhos abriram novas visões de pesquisa: as descobertas relativas aos gases, minerais e compostos orgânicos não poderiam mais ser consideradas de forma isolada; antes era necessário instaurar um novo objeto de estudo, constituído do conjunto de substâncias e de suas relações. Um estudo em particular, no qual ele foi capaz de estabelecer as relações de peso nas reações de oxirredução, validaram sua lei da conservação de massa (CARUSO; OGURI, 2006). Viana sintetiza que:

O novo referencial teórico estabelecido por Lavoisier incluía, ainda, a elaboração de uma nova nomenclatura química, o estabelecimento da conservação da massa como princípio fundamental da química, e uma definição operacional de elemento químico – temos um elemento químico quando atuamos sobre a matéria e não conseguimos separá-la em partes mais simples (VIANA, 2007, p. 19).

Os trabalhos de Lavoisier, em parceria com sua esposa Marie-Anne, serviram de inspiração e fundamentaram as pesquisas de outros cientistas de sua época. Mesmo vivendo em países diferentes, havia comunicação entre eles por meio de cartas, nos eventos científicos e através da publicação dos seus feitos. Foi assim que Jeremias Benjamim Richter fundou a estequiometria como um ramo da Química que elevou a relação entre a reação química, as substâncias e suas equivalências, estabelecendo o conceito de Equivalente Químico, e ao mesmo tempo o conceito de valência, que ainda hoje é fundamental no estudo das ligações químicas.

Apesar da brevidade de sua vida e das dificuldades financeiras crônicas, Richter conseguiu manter um programa de investigações experimentais que produziu resultados significativos. Ele os relatou em numerosas memórias, bem como nos três volumes de “Razões Iniciais de Estequiometria ou Medição de Elementos” e onze pequenos volumes intitulados “Sobre os Objetos mais Recentes em Química”, publicados entre 1791 e 1802. Ele, também, era um membro correspondente da Revista Alemã Grande Sociedade Britânica (*Gross-Britannische Societät*) e das academias de Munique e São Petersburgo.

Richter era um químico germânico pouco conhecido, mas que preconizou a importância das relações matemáticas entre as quantidades de substâncias que reagem umas com as outras, através de uma série de estudos de neutralizações ácido-base. Outra generalização relevante proveniente de seu trabalho experimental foi a Lei das Proporções Equivalentes, apresentada em artigos publicados no período compreendido entre 1798 e 1802. Seu trabalho somente foi reconhecido após Ernest Gottfried Fischer traduzir o livro “*Essai de Statique Chimique*”, de Claude Louis Berthollet, para o alemão



e relacioná-lo aos equivalentes de Richter, evidenciando a tabela de equivalentes elaborada por ele.

Em 1797, foi a vez de Proust, que a partir da apresentação de um trabalho sobre o azul da Prússia, defendeu em primeira instância a Lei das Proporções Definidas. Ele “era partidário da ideia de Torbern Bergman (1735-1784), o qual afirmava que, quando duas substâncias se combinam, estas teriam uma afinidade seletiva entre si e sempre se combinariam em proporções constantes para a obtenção de um dado produto” (VIANA, 2007, p. 65).

A lei mencionada, também conhecida como Lei de Proust evoca que “em uma mesma reação química, seja ela qual for, as massas das substâncias participantes guardam entre si uma relação fixa”. Ela não é suficiente para determinar a razão entre as massas dos átomos que formam um composto, uma vez que para isso é necessário saber a relação entre a quantidade de átomos do composto, fato que levou Dalton a postular que “quando dois elementos se unem para formar uma terceira substância, presume-se que apenas um átomo de um elemento se combine com um átomo de outro elemento” (CARUSO; OGURI, 2006). Esse tipo de associação evidencia a influência mútua no trabalho dos cientistas, como Viana destaca

Verificando com atenção a lei das proporções definidas de Proust, pode-se constatar que ela está contida na lei das proporções múltiplas de Dalton: assim como Dalton, Proust admitia as substâncias com uma composição definida, formada por determinadas proporções em massa dos reagentes que lhe deram origem (VIANA, 2007, p. 66).

Tanto a lei de Proust quanto a Lei das Proporções Múltiplas de Dalton são válidas para qualquer composto, em qualquer estado físico da matéria, mas quando os reagentes estão no estado gasoso, suas particularidades são explicadas pelo químico francês Joseph-Louis Gay-Lussac, o qual postulou, em 1808, que “existe uma razão simples entre os volumes dos gases reagentes”, dando origem à sua lei dos volumes combinados de gases. Uma questão que intrigava muitos cientistas, e os faziam rejeitar as ideias de Gay-Lussac, era o fato de que em alguns casos havia contração de volume e em outros não. Tal fato levou o físico italiano Amedeo Avogadro a introduzir o conceito de molécula, em 1808, admitindo hipoteticamente que “dois volumes iguais de dois gases quaisquer contêm o mesmo número de moléculas, desde que a temperatura e a pressão sejam as mesmas”, contribuindo para que 50 anos mais tarde, fosse determinado o número de Avogadro (CARUSO; OGURI, 2006).

Talvez o desenvolvimento eminente da Química moderna, lançada por Lavoisier, seja o trabalho de Dalton, um dos primeiros cientistas a elaborar uma concepção científica atomística da Química, desempenhando um papel de grande relevância na medição do peso atômico dos elementos químicos e na explicação quantitativa de uma série de fenômenos químicos conhecidos na época (CARUSO; OGURI, 2006).

O poder explicativo da teoria atômica de Dalton pode ser claramente demonstrado no estudo das leis ponderais, apresentando um viés prático e um processo de construção interessante, baseado na divulgação científica e na pesquisa. Lobato (2007) realizou um estudo aprofundado da obra “*A New System of Chemical Philosophy*” de Dalton e relacionou seus achados a outros estudos de historiadores da ciência. O foco do autor estava voltado aos fundamentos do modelo atômico de Dalton, como afirma em suas conclusões,

Podemos assegurar que Dalton inferiu os pesos atômicos a partir de alguns dados, que embasaram a relação dos pesos das balanças para os átomos. Isso, inicialmente, deve-se ao fato da sua crença acerca do que era mistura e combinação química. Também, o raciocínio de máxima simplicidade que orientava o número de átomos que formavam um átomo de uma determinada substância (LOBATO, 2007, p. 105)

Diante da relevância da HC para o ensino de Ciências, da falta de material histórico adequado e com qualidade para subsidiar práticas metodológicas, realizamos uma tradução livre de trechos do Capítulo 4 do referido livro. O objetivo da utilização desse material com os professores em formação continuada foi de oportunizar uma articulação com o estudo do Capítulo 9 do livro do Lavoisier, uma vez que ambos consideram processos de combustão e produção de oxigênio. E, também, a questão das diferentes unidades de medida.

Em conclusão, é importante destacar que somente a formação docente e a utilização uma única estratégia não garante a aprendizagem, antes é de suma relevância a escolha de uma teoria da aprendizagem que possibilite a compreensão da dimensão de como as pessoas aprendem. Por esse motivo, na próxima seção, a Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud é detalhada.

### **2.3 Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud**

Desde a década de 1990, temos assistido a um significativo aumento no número de pesquisas relativas às representações internas dos estudantes, pautadas nas contribuições da Psicologia Cognitiva para o detalhamento dos processos da cognição, na tentativa de auxiliar na elaboração de estratégias de instrução mais eficientes (GRECA; MOREIRA, 2002). São várias as teorias de aprendizagem desenvolvidas e aperfeiçoadas ao longo dos anos, e que fornecem subsídios à compreensão do processo de ensino e aprendizagem considerando as etapas do desenvolvimento, a faixa etária e os aspectos psicossociais e cognitivos, entre as quais difundiu-se a Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud. Discípulo de Piaget, Vergnaud é um psicólogo que busca compreender como o sujeito aprende frente a situações de ensino, redirecionando o foco piagetiano do sujeito epistêmico para o do sujeito-em-situação, e

procura, dessa maneira, responder à pergunta central de como o sujeito aprende em situação (CARVALHO JR.; AGUIAR JR., 2008)

A diferença entre o trabalho realizado por estes teóricos é o fato de que, embora tenha realizado um trabalho de grande importância para a área da educação, Piaget manteve seu foco nas operações lógicas e, das estruturas gerais do pensamento. Os estudos de Vergnaud eram voltados ao funcionamento cognitivo do “sujeito-em-situação”, o que o levou a se interessar pelo campo das estruturas aditivas e das multiplicativas, e a perceber por meio de suas pesquisas que o aluno precisa exercitar várias formas de raciocínio para apreender um conceito (MOREIRA, 2002).

Vergnaud atribui grande reconhecimento à teoria de Piaget, destacando o conceito de esquema como essencial na mesma. Destaca, também, a ideia de invariante operatório do ponto de vista da conservação do número e de algumas propriedades dos objetos e das medidas, e a necessidade de uma visão mais ampla desse conceito. Outra noção que advém da teoria de Piaget é a ideia de que a função simbólica é uma interiorização da acomodação, em especial dos gestos. Vergnaud valoriza e utiliza, ainda, entre os aspectos funcionais da teoria de Piaget, que em sua visão trata-se mais de uma corrente do que de uma teoria acabada, as ideias de desequilíbrio, reequilíbrio, adaptação e acomodação, como fundamentais para a investigação e compreensão em didática (GROSSI, 2017b).

O reconhecimento é atribuído pelo autor, igualmente, ao legado de Vygotsky, que prioriza a interação social, a linguagem e a simbolização no domínio progressivo de um campo conceitual pelos alunos. Para Vergnaud, a primeira contribuição de Vygotsky é considerar que a criança nasce dentro de uma cultura, e a segunda concepção importante no ensino é a ideia de mediação. Esse conceito tem dois significados diferentes, o primeiro corresponde à mediação do outro, a ajuda ao próximo. O segundo diz respeito à mediação simbólica, ou seja, do uso da linguagem e de outros signos, e desempenham um papel fundamental na conceitualização (GROSSI, 2017b). Vergnaud pressupõe que o conhecimento está organizado em campos conceituais, adquiridos pelo sujeito ao longo do tempo, por meio da experiência, maturidade e aprendizagem (MOREIRA, 2002). Esses campos conceituais constituem recortes do mundo físico associados à componentes culturais, podendo ser definidos como “um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de sua aquisição” (VERGNAUD, 1998).

Segundo o autor, a conceitualização é o problema central do processo de aquisição do conhecimento. O fator essencial da dificuldade dos alunos em resolver problemas não está relacionado à separação entre conhecimento procedimental e conhecimento declarativo, mas intimamente ligado às “operações do pensamento”

(MOREIRA, 2002). Assim, o domínio de um campo conceitual ocorre de forma progressiva, a partir da vivência de diferentes situações e da formação de esquemas para a superação de dificuldades conceituais enfrentadas pelos estudantes.

Cabe destacar que o objetivo da Teoria dos Campos Conceituais é fornecer um quadro teórico para analisar a formação e o funcionamento dos conhecimentos, dando suporte às pesquisas sobre atividades cognitivas complexas, e possibilitar um novo olhar para as aprendizagens científicas e técnicas. Nesse cenário, Vergnaud considera a conceitualização como o alicerce do desenvolvimento cognitivo, justificando a necessidade de a escola voltar a sua atenção para este foco e priorizar situações de ensino que permitam a averiguação conceitual dos esquemas empregados pelos estudantes (JENSKE, 2011). Para maior compreensão do tema, são apresentados, a seguir, os conceitos basilares da Teoria dos Campos Conceituais (TCC).

### 2.3.1 Situações

Para Vergnaud, o conceito de situação não está necessariamente atrelado ao conceito de situação didática, mas ao de tarefa, pois qualquer situação complexa pode ser analisada como uma combinação de tarefas, quando se conhece sua natureza e dificuldade próprias. A complexidade de uma situação pode ser determinada por diversos fatores, como a linguística, a forma do enunciado e até mesmo os próprios conceitos envolvidos. Dessa forma, é possível perceber a importância e necessidade de oportunizar o contato do aprendiz com diversas situações, visto que quando os estudantes são confrontados resgatam conhecimentos adquiridos em experiências já vividas em outras circunstâncias mais simples e mais familiares, tentando adaptá-las às novas (SANTANA; ALVES; NUNES, 2015). Segundo Vergnaud, o sentido também é atribuído ao conceito de situação, uma vez que os processos cognitivos e as respostas do indivíduo dependem das situações com as quais é confrontado, e chama a atenção, principalmente, para as ideias de variedade e história. Em outras palavras, para cada Campo Conceitual existe uma grande variedade de situações que moldam os conhecimentos dos alunos, à medida que eles são expostos a elas e as dominam. Cabe destacar que muitas das concepções de um indivíduo estão ligadas às primeiras situações dominadas por ele ou de sua experiência na tentativa de modifica-las (GROSSI, 2017a).

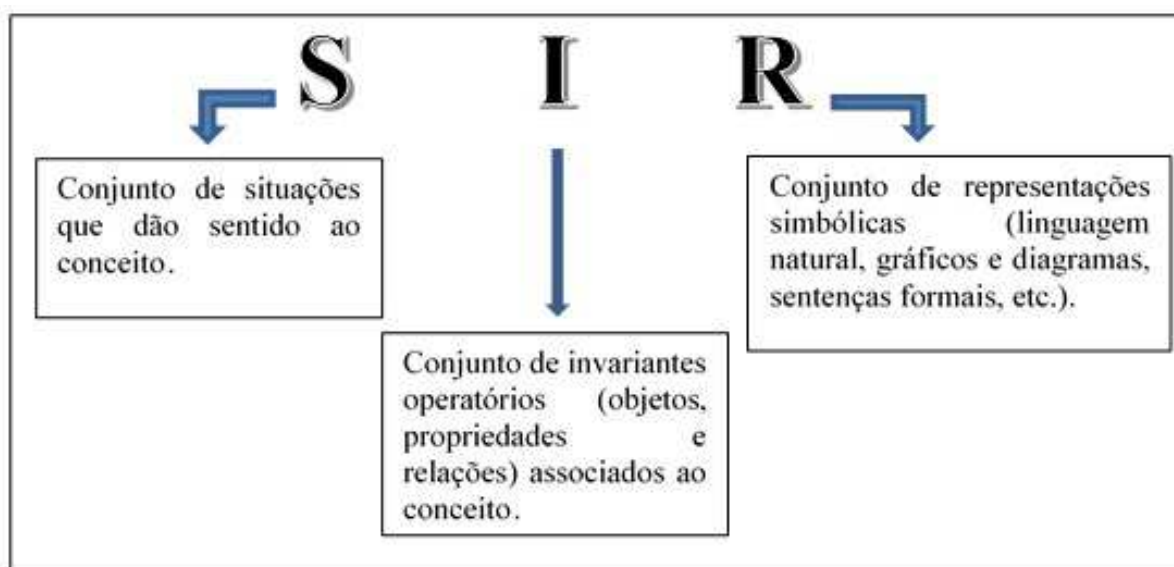
Pode-se afirmar que as situações constituem a entrada de um Campo Conceitual, e que nessa perspectiva de aprendizagem estão envolvidas relações, propriedades, registros e representações intrínsecos ao conceito a ser formado, justificando a importância de utilizar uma variedade de situações para que ocorra a aquisição de conhecimentos e, conseqüentemente, a conceitualização (SANTANA; ALVES; NUNES, 2015).

### 2.3.2 Conceitos

De acordo com Moreira (2002), o conceito em si não faz sentido, sua significação se dá em função das situações com as quais o indivíduo é confrontado e dos processos cognitivos. É a relação convencionalizada entre o sujeito, as situações e os significantes que formam o sentido. De um modo mais preciso, são os esquemas, os comportamentos e sua organização, rememorados no sujeito por determinada situação ou significante (representação simbólica) que estabelecem o sentido dessa situação ou significante para o indivíduo. Por exemplo, as reações químicas são processos que transformam uma ou mais substâncias, chamadas reagentes, em outras substâncias, chamadas produtos. O aluno pode saber a definição de reação química, mas não compreender seu significado ou não conseguir aplicá-lo a uma situação diferente daquela que aprendeu.

Em seus vários trabalhos, Vergnaud descreve conceito como uma tríade de três conjuntos,  $C = (S, I, R)$ , esquematizados na Figura 1. Como é possível observar, o primeiro conjunto refere-se às situações referentes ao conceito, e que lhe dão sentido, enfrentadas pelo sujeito. O segundo conjunto é composto pelos invariantes operatórios, sobre os quais repousa a operacionalidade do conceito, ou seja, o grupo de invariantes que podem ser reconhecidos e usados pelos sujeitos para analisar e dominar as situações. E o terceiro conjunto, constitui-se das representações simbólicas, é o significante do conceito, e que são utilizadas para representar os invariantes (JENSKE, 2011).

Figura 1 – Esquema explicativo para Conceito.



Elaboração da autora

Um recorte das situações associadas ao campo conceitual da Estequiometria poderia ser composto por diversas atividades propostas aos estudantes, com a finalidade de explorar os aspectos quantitativos das reações químicas, cada uma com enfoque e características diferentes. Pode-se tomar como exemplo a questão: Você tem à sua disposição 8 fatias de pão, 8 fatias de queijo e 9 fatias de presunto. Monte sanduíches observando a proporção entre os ingredientes, e represente sua ação por meio de uma equação, como se fosse uma reação química.

Os invariantes operatórios são os conhecimentos-em-ação que os estudantes necessitarão utilizar na proposição de uma solução para a questão. A representação simbólica seria a equação química, indicando os reagentes e a formação do produto para a situação indicada e a análise quantitativa necessária.

De acordo com Vergnaud, um conceito só adquire sentido por meio das situações e dos problemas a resolver, o que do ponto de vista da psicologia, da didática e da história das ciências é fundamental para esse processo.

### 2.3.3 Esquema

O conceito de esquema tem sua origem em Kant, mas sua pertinência e amplitude foi explorada por Piaget, por meio da apresentação de uma história para o desenvolvimento e a diferenciação dos esquemas, apontando diversas de suas características elementares. Piaget ainda propôs uma análise genética esclarecendo que desde o momento em que objetos são colocados à frente de um recém-nascido, esse começa a exercitar seus reflexos para se adaptar às situações, primeiro por meio do processo de assimilação, e depois, à medida que essas situações se repetem com vários e diferentes objetos, provocando modificações nos esquemas existentes, por meio do processo de acomodação (CARVALHO JÚNIOR, 2013). Assim,

Destacam-se, portanto, duas grandes características indicadas por Piaget para os schèmes: (1) a interação sujeito-objeto organiza-se a partir deles, o que significa dizer que, apesar de um schème ser construído por determinado sujeito, sua organização atual e futura é função das interações que já ocorreram e que estão ocorrendo entre o sujeito e os objetos do mundo físico; (2) o schème é um processo, que envolve um *modus operandi* próprio para cada classe de situações, cuja ontogênese ocorre no sentido de uma especificação progressiva (CARVALHO JÚNIOR, 2013, p. 94-95).

Vergnaud admite que o conhecimento racional é dividido em duas classes, o conhecimento operatório e o não-operatório. O primeiro é dirigido por um único esquema, automático, mecânico, pois requer competências para intervir imediatamente sobre determinada situação. Já para o segundo, são necessários diversos esquemas que, quando combinados, descombinados e/ou recombinaados, podem gerar descobertas. Nesse caso, pode-se dizer que o aluno não tem as competências

necessárias desenvolvidas para intervir em determinada situação, sendo preciso dispor de tempo para refletir, explorar, errar, acertar, para então, chegar à descoberta, ou não (JENSKE, 2011).

Ainda segundo Vergnaud, esquema é a organização invariante do comportamento para uma determinada classe de situações, que segundo ele são constituídos por quatro elementos: objetivo do esquema, regras de ação e controle, invariantes operatórios e possibilidades de inferência. Dentre os quais, apenas os invariantes operatórios são imprescindíveis na articulação entre uma situação enfrentada pelo sujeito e o esquema utilizado por ele para resolvê-la (VERGNAUD, 1990, p. 4)

A base conceitual dos esquemas são os invariantes operatórios, os quais se designam em conceito-em-ação e teorema-em-ação, fornecendo representações e informações conexas que permitem inferir as regras de ação mais adequadas para resolver determinada situação e atingir o objetivo (meta) traçado (a) (JENSKE, 2011). É interessante ressaltar que os invariantes operatórios fazem parte dos domínios dos esquemas (mais pessoal) e dos conceitos (mais cultural), constituindo-se, portanto, na ligação entre os dois domínios.

Ao estudar esse processo deve-se garantir ao máximo a cautela em não reduzir a capacidade de raciocínio do aluno, visto que a conceitualização é específica de conteúdo e não de operações lógicas, ou puramente linguísticas, ou ainda, à reprodução social ou maneira de processar uma informação. Isso faz com que a teoria dos campos conceituais seja complexa, uma vez que exige o desenvolvimento dos conceitos e teoremas de progressivas e premeditadas situações a serem resolvidas dependendo do nível cognitivo do sujeito (MOREIRA, 2002).

#### 2.3.4 Invariantes Operatórios: conceitos-em-ação e teoremas-em-ação

Na concepção de Vergnaud (1990) o desenvolvimento cognitivo consiste no desenvolvimento de um vasto repertório de esquemas, cujos componentes essenciais, os invariantes operatórios, podem ser classificados em duas categorias principais: “conceito-em-ação” e “teorema em ação”. É fato que o sujeito sempre faz uso de esquemas para lidar com as situações, porém, estes não funcionam sempre da mesma maneira. Quando há uma classe de situações em que o sujeito já tem relacionadas as habilidades necessárias, ele procede de forma automatizada e se organiza por um único esquema. Já quando é uma classe de situações para as quais o sujeito não se apoderou das competências necessárias, ocorre uma combinação de esquemas em operações mentais.

Os invariantes operatórios, teorema-em-ação e conceito-em-ação, são imprescindíveis para estabelecer relações entre uma situação que o sujeito enfrenta e o esquema que possui para propor uma solução. “Um teorema-em-ação é uma

proposição que se supõe verdadeira sobre a situação e um conceito-em-ação é um objeto, um predicado ou uma categoria de pensamento tida como relevante a ela”, e se aplicam a classes de situações específicas (GRECA; MOREIRA, 2003, p. 54). Os conceitos-em-ação possibilitam reconhecer elementos comuns nas situações enfrentadas e os teoremas-em-ação proporcionam as regras que associam esses elementos na resolução de uma dada situação e a ação em consequência da mesma (GRECA; MOREIRA, 2002).

Na maior parte dos casos, os alunos não são eficientes ao explicar ou mesmo ao expressar em linguagem natural seus teoremas e conceitos-em-ação. No desenvolvimento de uma situação, as informações a serem tratadas e a sequência de cálculos a serem realizados dependem de teoremas-em-ação e do reconhecimento de diferentes tipos de elementos relevantes. Geralmente, esses conceitos e teoremas-em-ação permanecem completamente implícitos, mas podem também ser explícitos ou tornarem-se explícitos por meio do ensino, cujo objetivo deve ser auxiliar o aluno na construção de conceitos e teoremas explícitos, e cientificamente aceitos, a partir do conhecimento implícito. Nesse contexto, os conceitos-em-ação e teoremas-em-ação podem, gradativamente, tornarem-se verdadeiros conceitos e teoremas científicos, o que não acontece em pouco tempo. (MOREIRA, 2002).

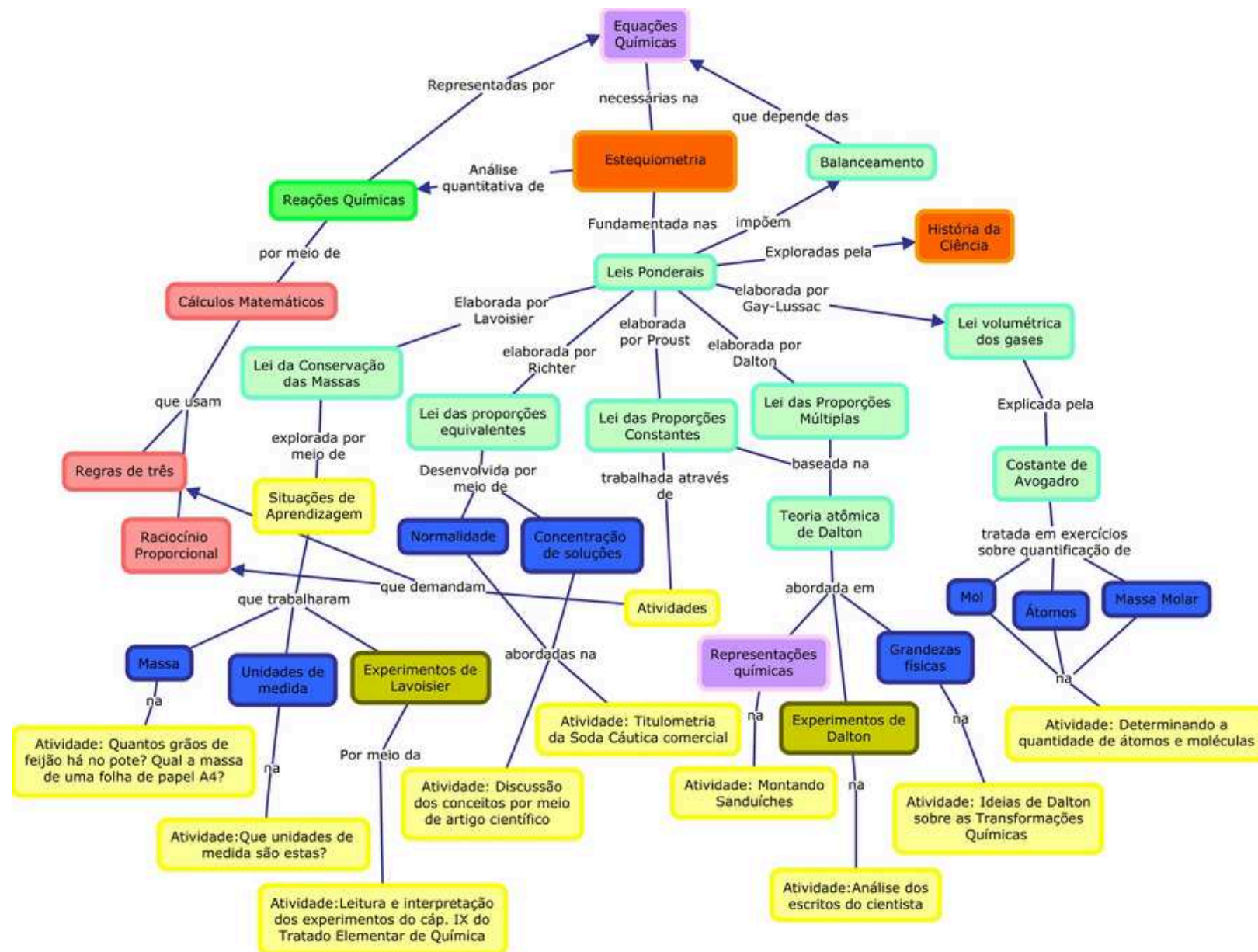
### 2.3.5 Campo Conceitual da Estequiometria

Ao retomarmos a definição de Campo Conceitual, tem-se que esse constitui uma gama de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações do pensamento que estão conectados e entrelaçados uns aos outros (VERGNAUD, 1998). Nesse sentido, pode-se definir a estequiometria como o campo que trabalha as relações quantitativas das transformações químicas, a nível macroscópico e microscópico, estabelecendo relações e conexões entre várias concepções fundamentais em Química, formando assim um campo de conceitos.

A figura 2 representa a tentativa de uma construção pessoal de um esboço do campo conceitual de estequiometria (laranja), relacionando os conceitos (azul), fenômenos (verde), operações do pensamento (rosa), os invariantes operatórios (verde claro), os experimentos (verde-abacate), como uma forma controlada de reproduzir os fenômenos, e as situações de aprendizagem (amarelo). Considerando a TCC, as representações estão enquadradas em lilás.



Figura 2 – Uma possível representação para o Campo Conceitual da Estequiometria



### 3 DELINEAMENTO METODOLÓGICO

A estratégia de pesquisa utilizada neste trabalho é de natureza qualitativa do tipo pesquisa-ação. É característica da pesquisa qualitativa processar-se em um ambiente natural, como fonte direta para a coleta de dados descritivos, por meio de um plano subjetivo e flexível, evidenciando a realidade de forma complexa e contextualizada. Tal abordagem se difere da abordagem quantitativa por não se preocupar com dados numéricos e seu tratamento estatístico, sua preocupação está centrada no processo de análise descritiva dos dados levantados pelo pesquisador de forma, predominantemente, indutiva (LÜDKE; ANDRÉ, 1986).

Segundo (THIOLLENT, 2004), a pesquisa-ação configura-se em uma pesquisa social com base empírica, na qual se desenvolve uma ação na intenção de resolver um problema coletivo, envolvendo o pesquisador e os participantes, de forma colaborativa e participativa. No entanto, não descarta a necessidade de uma fundamentação teórica para o seu planejamento. (ENGEL, 2000) expressa a eficiência dessa pesquisa em âmbito educacional, pois, segundo ele, constitui-se em uma metodologia que contempla a formação de “dentro para fora” por ser resultante de preocupações e interesses de pessoas realmente inseridas no problema, pessoas essas focadas em seu próprio crescimento profissional. Acrescenta-se ainda que, Zeichner e Diniz-Pereira (2005) enfatiza a necessidade de a pesquisa-ação ir além do discurso enfadonho e vazio de que a mesma dá “voz” aos profissionais, pois isso não é suficiente, espera-se que a pesquisa-ação tenha impacto na melhoria do trabalho daqueles. O autor sugere desempenhar um papel politicamente consciente em qualquer esfera que se escolha trabalhar, considerando as implicações sociais e políticas das ações, para replicar valores democráticos.

Uma das grandes vantagens de utilização da pesquisa-ação é a flexibilidade do planejamento e a variedade de métodos e técnicas que podem ser combinados a ela. Nesse trabalho, inicialmente foi realizada a aplicação de um questionário (Apêndice 1) com 21 (vinte e um) professores das escolas públicas estaduais de Itumbiara-GO que lecionam a disciplina de Química com intuito de realizar um levantamento sobre a formação dos professores, as dificuldades encontradas por eles nas salas de aula, a realidade do ensino de Química nas escolas públicas de Itumbiara-GO, bem como o contexto em que a escola se encontra inserida em termos sociais, e suas concepções de formação continuada. O questionário foi enviado por e-mail a todos os professores que ministram aula de Química, mas apenas 21 retornaram com as respostas.

Após essa análise inicial e de posse dos resultados dos questionários, foi realizada uma entrevista semiestruturada (Apêndice 2) com 6 (seis) professores, que se dispuseram a participar dessa etapa do trabalho, para complementar os dados obtidos

por meio do questionário, bem como para identificar suas necessidades formativas e definir o conteúdo da formação continuada. As entrevistas foram gravadas em áudio, para posterior análise. Os trechos mais relevantes são transcritos nessa dissertação no próximo capítulo, porém mantendo sigilo sobre a identidade dos professores, em respeito ao protocolo de ética em pesquisa. O passo seguinte foi a realização do levantamento bibliográfico, para um estudo aprofundado sobre formação continuada, sobre a utilização da História da Ciência para a formação de professores, ensino dos cálculos estequiométricos e a Teoria dos Campos Conceituais.

Na sequência, foi preparado um curso, destinado a professores de Química do Ensino Médio, e extensivo à participação de professores de outras disciplinas da Área de Ciências da Natureza e Matemática, como forma de apoiar o professor em sua prática, valorizando seu saber e experiência, e proporcionando, por meio de um estudo compartilhado, outras formas de apropriar-se do conhecimento. O curso foi realizado por meio de uma ação da Pró-Reitoria de Extensão da Universidade Federal de Uberlândia, com um total de 12 encontros com duração de 3h cada. Os encontros ocorreram aos sábados, entre os meses de abril e julho de 2017.

O curso foi oferecido a todos os professores participantes da pesquisa, começando inicialmente com 06 (seis) professores e finalizando com 04 (quatro) participantes. O Quadro 3 esquematiza a forma como as atividades do curso foram estruturadas e executadas.

Quadro 3: Atividades por encontro do curso de formação continuada

1º encontro	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dinâmica – Vistoria na casa (Anexo 1)</li><li>• Exibição de recortes do Vídeo da palestra ministrada pelo filósofo Mario Sergio Cortella no II Encontro de Educação SER da Abril Educação, sobre a profissão docente.</li><li>• Discussão sobre o caráter do conhecimento científico e a importância da história da Ciência para a construção de uma aprendizagem significativa nessa área.</li></ul>
-------------	---

2º encontro	<ul style="list-style-type: none"><li>• Desafio: Quantos grãos de feijão há no pote? Qual a massa de uma folha de papel A4?</li><li>• Discussão sobre a questão: Será que massa se conserva sempre? E exibição do vídeo “Precisão – A medida de todas as coisas – massa e mol”.</li><li>• Leitura do Cáp. 9 do livro “Tratado Elementar de Química” (LAVOISIER, 2007) e conversão das unidades de medidas em unidades do Sistema internacional.</li></ul>
3º encontro	<ul style="list-style-type: none"><li>• Leitura e discussão do Artigo “Determinação permanganométrica de sulfóxidos: mais uma armadilha no uso de normalidades.</li><li>• Discussão sobre a importância histórica da Lei dos Equivalentes de Richter, considerado o pai da Estequiometria.</li><li>• Experimento: Determinação do grau de pureza da soda caustica comercial por titulometria e cálculo da normalidade (Anexo 2).</li></ul>
4º encontro	<ul style="list-style-type: none"><li>• Desafio: Monte os sanduíches.</li><li>• Discussão sobre as contribuições históricas de Dalton para o desenvolvimento da Ciência e da Estequiometria.</li><li>• Discussão e resolução de atividades sobre as transformações químicas e as formas de representação.</li></ul>
5º encontro	<ul style="list-style-type: none"><li>• Trabalho com a tradução do capítulo 4 (sessões 1, 2 e 3) do Livro de John Dalton A New Sistem Chemical, conversão das unidades de medidas em unidades do Sistema internacional e comparação com o trabalho de Lavoisier.</li><li>• Discussão sobre Transposição Didática, por meio do artigo: Consequências das descontextualizações em um livro didático: uma análise do tema radioatividade.</li></ul>

6º e 7º encontros	<ul style="list-style-type: none"><li>• Análise dos livros didáticos de Química aprovados no último PNLD quanto a apresentação e o conteúdo de Estequiometria.</li></ul>
8º encontro	<ul style="list-style-type: none"><li>• Apresentação da análise dos livros feita pelos professores.</li><li>• Discussão sobre a questão: “É possível que todas as transformações químicas ocorram mantendo relações proporcionais de massa?”</li><li>• Sistematização da Lei de Proust e resolução de questões de aprofundamento sobre o conteúdo.</li></ul>
9º encontro	<ul style="list-style-type: none"><li>• Discussão sobre as contribuições de Gay-Lussac e Avogadro na Estequiometria.</li><li>• Relações entre as leis de Gay-Lussac, Avogadro, Dalton e Proust.</li><li>• Questões para aplicação do conhecimento sobre massa e número de partículas.</li></ul>
10º encontro	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vídeo Faraday</li><li>• Discussão sobre as contribuições de Faraday e sua imaginação sobre o mundo microscópico, e conceitos fundamentais em Eletroquímica.</li><li>• Experimento “A condutibilidade elétrica em diferentes materiais.</li><li>• Resolução de questões para explicação da condutibilidade elétrica nas soluções.</li></ul>

11º encontro	<ul style="list-style-type: none"><li>• Experimento “Calor liberado na reação”.</li><li>• Discussão sobre os cálculos estequiométricos envolvidos no ensino de Termoquímica e resolução de questões baseadas no experimento.</li><li>• Discussão sobre os fatores que influenciam no rendimento das reações e resolução de cálculos.</li></ul>
12º encontro	<ul style="list-style-type: none"><li>• Discussão sobre as atividades desenvolvidas durante o curso.</li><li>• Elaboração de um relato de experiência.</li></ul>

Fonte: Elaboração da autora.

Essas atividades são esmiuçadas no próximo capítulo. O trabalho coletivo, os momentos para trocas de experiência e as aprendizagens durante os encontros presenciais e, também, por algumas interações via redes sociais, são muito importantes para os professores, pois, se concorda com a visão de Libâneo (2001), quando o autor afirma que os mesmos aprendem muito compartilhando os problemas encontrados em sua profissão e é em atividades relacionadas com exercício de seu trabalho que adquirem uma formação mais aprofundada e que possibilite uma transposição mais apropriada no exercício profissional. No calor das discussões, o aprendizado teórico é complementado por atividades voltadas à atuação profissional e a troca de experiências e cursos complementares enriquecem a formação docente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, foram apresentados os resultados obtidos nas diferentes etapas da pesquisa, bem como algumas discussões pertinentes acerca das observações realizadas, no que se refere aos instrumentos utilizados para a produção de dados.

### 4.1 Análise do Questionário Inicial e da Entrevista

Inicialmente, foi pedido aos professores de Química que atuam nas unidades educacionais jurisdicionadas à Subsecretaria Regional de Educação de Itumbiara/GO que respondessem a um questionário com a finalidade de conhecer as necessidades de formação continuada desses profissionais. Dos professores, 21 (vinte e um) responderam prontamente ao questionário, o que possibilitou uma ampla análise dos seus perfis e se a proposta de formação continuada atendia às suas necessidades.

Uma das questões se referia ao nível de escolaridade, revelando que 47,62% dos entrevistados possuem Ensino Superior completo, entre os quais, 42,85% são Especialistas, 4,76% são Mestres e 4,76% não concluíram o Ensino Superior. Também foi possível verificar que 33,33% dos professores, que possuem Ensino Superior completo, não são formados em Química, dentre os quais temos Biólogos, Pedagogos, Bacharel em Ciências contábeis e Matemáticos. Infelizmente, ainda é uma constante a presença de outros profissionais ocupando o lugar do licenciado. Essa situação decorre da escassez de profissionais com a habilitação necessária e, muitas vezes, os professores por formação, ingressam em outras áreas de atuação, o que pode ser explicado pela ausência de incentivos para o ingresso e permanência na carreira docente. Logo, nota-se um “deficit” significativo nas escolas dessa região.

De acordo com Sá e Santos (2016), as estatísticas do Ministério da Educação (MEC) têm mostrado uma grande carência de professores para atuar na Educação Básica, especialmente no ensino de Ciências Naturais. O Relatório “Escassez de professores no Ensino Médio: propostas estruturais e emergenciais” mostrou que de 1990 a 2005 se formaram no país apenas 23.925 professores de Química, para atender a um deficit de cerca de 55.000 professores, relativo às demandas da disciplina. Os autores afirmam, ainda, que no estado de Goiás, essa escassez pode comprometer a qualidade do ensino de nível médio, principalmente pelo fato de que na falta de professores habilitados, outros que não têm conhecimentos específicos na área são convocados para assumirem as aulas de Química, segundo dados fornecidos pela própria Secretaria de Educação, e acrescentam que a situação é um reflexo da carreira pouco atraente, devido à desvalorização profissional e social do professor (SÁ; SANTOS, 2016).

Considerando os questionários, pode-se afirmar que a maioria se interessa por

formação continuada (90,48%) e apenas 9,52% não. Porém, mesmo com esta declaração da maioria, verificou-se que 14,28% destes professores nunca participou de um curso de formação continuada e, também, não dominam completamente as Tecnologias da Informação. Mesmo o professor sendo consciente da sua importância, não consegue se inserir nesses processos. Podemos apontar vários fatores que contribuem para essas ausências em cursos de formação continuada: carga horária extensa, muitos professores chegam a atuar em duas redes de ensino; falta de incentivo para o aprimoramento profissional, pois os aumentos salariais muitas vezes não compensam; dificuldade de acesso a bons cursos, já que os mesmos muitas vezes requerem investimentos que os professores não possuem.

Os professores devem ver a formação continuada como um investimento pessoal, profissional, institucional, público, político, social e econômico; e não como um gasto ou despesa (GHEDIN; PIMENTA, 2002). Nesse sentido, é necessário perceber que a formação aprimora o trabalho docente e auxilia na superação das dificuldades encontradas nas salas de aula, minimizando preocupações e tentativas frustradas de promover a aprendizagem. Foi possível verificar que 71,42% dos professores almejam de um curso que possibilite melhorar sua prática docente. Pode-se destacar algumas respostas marcantes para a seguinte pergunta: Como seria o curso que te ajudaria, efetivamente, a melhorar sua prática docente? Dentre elas: “Um curso que explorasse contexto ou situação envolvendo a capacidade de utilizar os conhecimentos científicos que reflitam o mundo real e estimulem as ideias científicas”. Os professores também citaram a necessidade de cursos abordando a experimentação com material alternativo, abordagem de História da Química/Ciências e também o uso das tecnologias.

Diante deste diagnóstico inicial, identificou-se a necessidade de um contato mais próximo, para coleta de dados mais específicos sobre as necessidades dos professores para a elaboração do curso a ser oferecido a eles, bem como a disponibilidade dos mesmos em participar do referido curso. Para tal, foram agendadas entrevistas com 6 (seis) professores, que se disponibilizaram a participar, contribuindo para complementação do questionário.

Esses professores foram inqueridos novamente sobre a formação inicial e mais detalhadamente sobre formação continuada. Percebeu-se que todos reconhecem a importância da continuidade da formação após a graduação. Mas a definição do que vem a ser formação continuada, não ficou clara em alguns depoimentos, focando mais na sua importância do que no conceito. Isso pode ser evidenciado na fala do professor C, quando questionado sobre o que ele entende ser formação continuada:

*A formação continuada é muito importante, pois nós professores temos que estudar constantemente, as coisas mudam muito, e temos que acompanhar nossos alunos, eles trazem informações novas o tempo todo, veem muita coisa na internet, e temos que estar preparados para transformar essas informações*



*em aprendizagem.*

Embora reconheçam a importância dessa formação, a maioria dos entrevistados alega não participar de momentos de formação continuada, devido à extensão de suas cargas horárias nas escolas. Mencionam participar apenas das capacitações promovidas pela escola no início do ano letivo e nos encontros pedagógicos denominados “trabalho coletivo”. Sobre essa questão, Gatti e Barreto (2009) argumentam que não existe um entendimento sobre o que é considerado como formação continuada. Muitas vezes, os cursos realizados após a graduação, atividades comuns encaradas como possibilidade de colaborar para o desenvolvimento profissional, como reuniões pedagógicas, participação na gestão escolar, horas de trabalho coletivo na escola, congressos, seminários e cursos de diferentes formatos oferecidos pelas secretarias de educação ou outras instituições presenciais ou à distância estão sendo considerados formação continuada, ainda que não promovam trocas e/ou mudanças. Além disso, essas atividades apresentam, algumas vezes, um caráter obrigatório, preconizado na progressão funcional.

Pelo conhecimento da rotina das escolas e dessas formações, pode-se afirmar que são oportunidades de formação de curta duração, pois apresentam carga horária de 4 a 6 horas. Em geral, essas opções de formação continuada não concorrem para minimizar as dificuldades e desafios dos professores diante do exercício da docência. A formação continuada deve primar pela aproximação da realidade escolar a partir de situações problemáticas dos professores, a partir de um trabalho articulado com outros segmentos, pautada numa forma dinâmica de perceber e modificar a realidade social e educacional. De acordo com Francisco Imbernón,

A formação continuada deveria apoiar, criar e potencializar uma reflexão real dos sujeitos sobre sua prática docente nas instituições educacionais e em outras instituições, de modo que lhes permitisse examinar suas teorias implícitas, seus esquemas de funcionamento, suas atitudes, etc..., estabelecendo de forma firme um processo constante de autoavaliação do se faz e porque se faz (IMBERNÓN, 2010, p. 47).

A última questão da entrevista referia-se à identificação do conteúdo de Química que os alunos apresentam maior dificuldade para a compreensão. Dos seis entrevistados, quatro deles citaram estequiometria, um citou Termoquímica e Eletroquímica e um último não citou conteúdos, mas um fator limitador: o tempo insuficiente para a apresentação de todos os conteúdos. Outro fator citado pelos professores como limitador da aprendizagem para os alunos foi a dificuldade em matemática (realizar os cálculos envolvidos). O professor Q declara

Eu percebi que os alunos têm muita dificuldade com cálculos, na 2ª série, por exemplo, eles têm muita dificuldade, porque os conteúdos envolvem muitos

cálculos. Tiveram muita dificuldade em Termoquímica, na Lei de Hess, tem dificuldades para montar as equações. Em equilíbrio químico também, notei muitas dificuldades, mas não tanto na parte de química mesmo, eles têm dificuldade em matemática, aí quando o conteúdo envolve cálculos, já era. . . .

Muitas vezes, a dificuldade de aprendizagem em Química está relacionada às de ensino do conteúdo pelo professor, as quais podem estar associadas a ausência de uma contextualização adequada, de discussões sobre a natureza da ciência, resumindo o processo a cálculos matemáticos, memorização de fórmulas e nomenclatura de compostos, desvalorizando os aspectos conceituais. Observa-se, também, tanto na escola como nos cursos de formação, a ausência de experimentos, principalmente os de caráter investigativo. Além disso, é perceptível a falta de interrelação da química com outras ciências (GOMES, 2008) ou mesmo entre os diferentes ramos da química.

Pautado nos dados obtidos, passou-se à elaboração do curso de formação continuada a ser ofertado aos docentes. No sentido de atender à demanda, foram pensados de forma integrada a Estequiometria e sua história, assim como possíveis aplicações à Termoquímica e à Eletroquímica. Metodologias diversificadas foram mobilizadas a fim de oportunizar diferentes situações, dando ênfase à experimentação e as representações de interesse. Segundo Arroio et al. (2006), o uso de metodologias alternativas ao ensino narrativo é urgente, pois essas possibilitam despertar o interesse sobre a componente programática Química, além de explicitar a relevância nos conteúdos presentes nos currículos das escolas. Krasilchik (2004) afirma que os métodos unidirecionais, centrados na narrativa pelo docente, não contribuem para a formação do sujeito autônomo. A problematização dos conteúdos, os assuntos abordados e as metodologias utilizadas devem ser pensados visando à autonomia referida, para que os discentes atuem de forma ativa no processo de aprendizagem, e compreendam a importância do aprender-a-aprender, para que venham gradativamente se apropriando das representações dos fenômenos e do meio em que estão inseridos (LEHENBAUER; SCHEIBEL, 2006)

As atividades planejadas para cada encontro do curso foram apresentadas no Quadro 3. No Quadro 4, retomamos alguns conceitos abordados no Capítulo 2, e apresentamos uma análise que identifica algumas das atividades em conformidade com a situação, entendida como tarefa, e os esquemas (regras de ação e de controle), que esperava-se que fossem usados na resolução de cada uma delas.

Quadro 4: Detalhamento da Sequência de Atividades, e suas Situações e Esquemas respectivos.

Atividade	Situação	Esquema
Quantos grãos de feijão há no pote? Qual a massa de uma folha de papel A4?	Deve ser apresentado aos alunos um pote de vidro cheio de grãos de feijão e algumas folhas de papel A4. Eles devem prever a quantidade de grãos de feijão no pote e a massa de 1 folha de papel utilizando para isso uma balança.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Esvaziar o pote e pesá-lo, colocar os grãos de feijão para saber sua massa total e em seguida pesar 1 grão para saber sua massa. Dividir a massa total pela massa de 1 grão para estimar a quantidade de grãos presentes no pote.</li> <li>2. Usar o mesmo raciocínio para a folha de papel. Pesquisar certa quantidade de folhas juntas dobradas, contando-se a quantidade. Em seguida, dividir a massa das folhas pela quantidade para se descobrir a massa de uma unidade.</li> </ol>
Trabalho com o Cap. 9 do livro “Tratado Elementar de Química”, de Lavoisier.	Leitura do Capítulo 9 do livro “Tratado Elementar de Química”, de Lavoisier, para análise e comparação das grandezas físicas e unidades de medida.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Representar as reações descritas por meio de uma equação para cada, e 2) descrever as quantidades de reagentes e produtos em uma unidade de medida usual do Sistema Internacional de Unidades.</li> </ol>
Determinação do grau de pureza da soda cáustica comercial por titulometria e cálculo da normalidade.	Deve-se entregar aos alunos questões para o direcionamento da atividade experimental e observar sua conduta, auxiliando sua execução ao recolocar as questões.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Calcular as concentrações molares de HCl e NaOH. Para realizar o cálculo da normalidade utilizar a equação <math>N_1 \cdot V_1 = N_2 \cdot V_2</math></li> <li>2) Calcular a massa correspondente de NaOH da solução de soda cáustica titulada, utilizando a fórmula da normalidade <math>N = \frac{nEqg}{V}</math> e, em seguida, converter em porcentagem.</li> <li>3) Calcular o teor de pureza do NaOH, por meio da massa obtida e a massa molar.</li> <li>4) Responder às demais questões por meio da interpretação do experimento.</li> </ol>

<p>Desafio: Monte os sanduíches.</p>	<p>Cada grupo de alunos deve receber em uma bandeja 8 fatias de pães, 8 fatias de queijo muçarela e 9 fatias de presunto e com esses ingredientes fazer sanduíches e em seguida montar uma equação genérica que represente o resultado.</p>	<p>O grupo precisava estar atento ao raciocínio proporcional e à razão. A equação deve representar fielmente o que o grupo se propôs a fazer.</p>
<p>Atividades sobre as transformações químicas e as formas de representação.</p>	<p>1) Os alunos receberão uma ficha com atividades adaptadas sobre as transformações químicas, iniciando com a discussão sobre as representações circulares criadas por Dalton em comparação à de Lavoisier e à atual. 2) As ideias de Dalton sobre a composição da matéria. 3) Formas de representação das substâncias e do rearranjo de átomos</p>	<p>1) Os alunos precisam compreender a discussão sobre modelos de átomos diferenciando o conceito de elementos químicos propostos por Lavoisier e Dalton, para dessa forma compreender a representação atual. Perceber que as formas de representação são complementares e se alteram com o tempo. 2) Estabelecer relações entre a constituição da matéria e as características dos estados físicos em que ela se apresenta. 3) Poder explicativo do modelo. Mobilização de informações, como massa, para elaboração do modelo que leva ao número de partículas.</p>

Trabalho com a tradução do capítulo 4 (seções 1, 2 e 3) do Livro de John Dalton	Leitura das seções do capítulo do livro “A New System of Chemical Philosophy”, para análise e comparação das grandezas físicas e unidades de medida.	Representar as reações descritas através de uma equação para cada, e descrever as quantidades de reagentes e produtos em uma unidade de medida usual nos nossos dias.
Análise dos livros didáticos de Química aprovados no PNLD 2015 quanto a apresentação e o conteúdo de Estequiometria.	Análise relativa aos capítulos que envolvem o conteúdo de Cálculos estequiométricos, seguindo a teoria da Transposição didática.	Analisar os livros do Programa Nacional do Livro Didático critérios estabelecidos.
Resolução de questões de aprofundamento sobre a Lei de Proust.	Relação proporcional entre massas de reagentes e produtos em uma transformação química.	Comparação de massas de reagentes e produtos.
Questões para aplicação do conhecimento sobre massa, quantidade de matéria e número de partículas.	Abordagem da síntese de Avogadro -Quantidade de matéria (mol).	Realização de cálculos e reinterpretação de situações anteriores com a nova grandeza.
A condutibilidade elétrica em diferentes materiais.	1) Experimento de classificação (condutores ou isolantes). 2) As contribuições de Faraday e sua imaginação sobre o mundo microscópico, e conceitos fundamentais em Eletroquímica.	1) verificar, por meio de um aparato com lâmpada incandescente, a condutibilidade elétrica de vários materiais em diferentes condições e representar o resultado do experimento em uma tabela de comparação. 2) Estabelecimento de relações entre a composição dos materiais e a condutibilidade elétrica, e o movimento das partículas nos diferentes estados físicos da matéria.

Atividades referentes a rendimento de reações.	Relações ponderais entre reagentes e produtos: previsões e rendimento dos processos químicos.	Mobilização das grandezas desenvolvidas e aplicação nesse contexto.
Experimento “Calor liberado na reação”.	Relações estequiométricas entre as massas de reagentes e produtos e a quantidade de calor liberada ou absorvida nas transformações químicas.	1) Reproduzir as observações realizadas durante o experimento em uma tabela descritiva. 2) Realização de cálculos para verificação das relações entre massa e energia em uma reação.

Fonte: adaptado de Santos; Coimbra (2018)

Para a elaboração do curso, foram considerados os anseios dos professores, detectados durante o questionário e as entrevistas. Embora as entrevistas tenham sido realizadas com um número pequeno de professores, percebeu-se que eles se interessaram pelo trabalho. O curso de formação continuada com o título “Cálculos Estequiométricos: a história da Ciência na construção de propostas didático-metodológicas” foi implementado no primeiro semestre de 2017 aos sábados pela manhã, em uma escola da rede estadual, selecionada devido à localização mais centralizada, pela presença de uma estrutura de laboratório (espaço físico) e o estabelecimento de uma parceria entre a pesquisadora e o grupo gestor da unidade. A Figura 3 mostra o material de divulgação enviado às demais escolas do município e aos professores.

Figura 3 – Folder de divulgação do curso.

**Curso de Formação Continuada para professores de Química**

**“Cálculos Estequiométricos: a história da ciência na construção de propostas didático-metodológicas”**

**Objetivo:**  
Favorecer o processo de formação continuada dos professores, bem como fomentar o debate sobre a importância da história da ciência para a construção de propostas didático-metodológicas, que possibilitam maior compreensão da natureza da ciência e de como o conhecimento científico é construído.

**Inscrições pelo e-mail:**  
ana.flavia@seduc.go.gov.br

**Público Alvo:**  
Professores de Química do Ensino Médio.

**Carga horária:**  
60h

**Pré-inscrição:**  
24/03 a 31/03 de 2017

**Local:**  
Sala Temática de Química do CEPI Dom Veloso

**Início:**  
01/04/2017

**Informações:**  
64 99228-7206

**PROEX**

**UFU** Universidade Federal de Uberlândia

Fonte: Elaboração da autora.

No dia 01 de abril de 2017, o primeiro encontro registrou a presença dos seis professores inscritos. Inicialmente, foi apresentado o cronograma do curso, conforme o Quadro 3. A dinâmica Vistoria na Casa (Anexo 1) permitiu uma identificação do perfil dos participantes; A dinâmica foi sugerida pela psicóloga que acompanha a pesquisadora, Sabrina Alves de Faria, e os relatos obtidos foram analisados com a contribuição dessa profissional, revelando características pessoais dos participantes que poderiam influenciar no trabalho, tais como o nível de empenho no curso, a organização de ideias,

a abertura para novos conhecimentos, a capacidade de observação e atenção. De maneira geral, os participantes possuíam uma heterogeneidade significativa em termos de perfil, indo de pessoas altamente atenciosas e organizadas, abertas ao aprendizado até uma participante que se destacou pela simplicidade das observações e uma certa desorganização do pensamento lógico. Essas características se confirmaram na realização de outras atividades durante o curso.

A seguir, a exibição de recortes do vídeo da palestra ministrada pelo filósofo Mário Sergio Cortella sobre a profissão docente, conforme detalhado no Quadro 3, fomentou a discussão em grupo. O palestrante ressalta a importância da formação continuada por meio da questão “Qual será sua obra?”, destacando a necessidade de se qualificar sempre. Os professores participantes criticaram a postura da maioria de seus pares, que não buscam se qualificar, pois não veem retorno financeiro e isso os desestimula. Os participantes se viam fora desse grupo, uma vez que estavam ali voluntariamente, sem esperar retorno financeiro, apenas pelo aprendizado e melhoria de sua atuação no processo. Esse encontro, como a maioria deles, contou com a participação da professora Débora Coimbra, orientadora deste trabalho, que discorreu sobre o caráter do conhecimento científico e a importância da história da Ciência para a construção da aprendizagem.

O segundo encontro (Quadro 3) iniciou com a realização do desafio: Quantos grãos de feijão há no pote? Qual a massa de uma folha de papel A4? As regras de ação foram elucidadas em conformidade com o Quadro 4. Os participantes dispunham de uma balança de cozinha e de uma balança de alta precisão. Os procedimentos deveriam ser estabelecidos por eles, organizando e descrevendo por escrito as estratégias de resolução. Percebeu-se uma grande dificuldade da parte dos participantes que possuíam graduação em Química, pois ficaram parados observando e pensando. Após um deles tomar a iniciativa de fazer pesagens, foram discutindo para efetivamente resolver as questões. A atividade deveria ser resolvida individualmente, porém eles só conseguiram cumprir, unindo e trocando informações para estabelecer os procedimentos e cálculos, tanto para chegar ao número total de feijões, como a massa da folha de papel. Essa ocorrência destaca a importância da reflexão conjunta, conforme destacado no Capítulo 2.

Durante a determinação da massa da folha de papel, os participantes aventaram uma diferença de massa entre uma folha aberta e uma dobrada. Isso levou a várias dúvidas e questionamentos por parte deles. No entanto, um deles verbalizou que seria necessário a medida de uma quantidade maior de folhas, em função da precisão das balanças e a discussão foi encerrada. Um fato curioso em relação a essa atividade, foi o tempo estabelecido inicialmente para sua resolução (que seria suficiente nas previsões do planejamento das formadoras), mas diante do impasse dos participantes, teve que ser ampliado. Isso ocorreu em vários momentos posteriores do curso.



Dando sequência, foi apresentado o vídeo da TV Escola, “Precisão – A medida de todas as coisas – massa e mol” (Quadro 3). Esse vídeo aborda episódios da história de Lavoisier e suas pesquisas envolvendo medidas de massa no contexto da Revolução Francesa. As informações apresentadas no vídeo foram comentadas em pontos estratégicos, selecionados anteriormente pelas formadoras. Os comentários referidos foram elaborados em conformidade as discussões de Fabrício, Guimarães e Aires (2011).

A próxima atividade consistiu na leitura dirigida de um texto do livro de Lavoisier, o Capítulo 9 da referida obra. Os professores avaliaram o texto como de difícil entendimento. Então foi apontado aos participantes a relação das dificuldades deles diante de um texto contendo uma linguagem estranha àquela do cotidiano deles, em semelhança ao que acontece com os alunos deles quando os conteúdos introduzidos nas aulas de Química são novos e complexos, pois não fazem parte do cotidiano e do vocabulário deles. O texto apresentava diversas unidades de medidas, usuais da época e região. Foi solicitado aos participantes que fizessem as conversões para unidades do Sistema Internacional. Muitos participantes apresentaram dificuldade em iniciar os cálculos, houve um participante que não conseguiu iniciar nenhum dos cálculos e se mostrou propenso a copiar dos colegas, as respostas prontas. Novamente, o tempo previsto para a atividade não foi suficiente.

E a partir dessa observação se questiona: o nosso professor tem atitudes diferentes daquelas dos seus alunos, diante dos desafios do novo conhecimento? O professor está preparado para os desafios das novas abordagens no ensino da Química? Qual a forma que estes docentes conduzem seus conteúdos nas aulas, se diante dos desafios propostos nesse curso eles se embaraçaram e reproduzem ações corriqueiras de estudantes? Esses professores consideram esse fato, quando avaliam seus alunos? Estas são algumas questões levantadas durante as atividades para posterior reflexão. Assim encerrou-se o segundo encontro.

Na semana seguinte ocorreu o terceiro encontro (Quadro 3), iniciado pela leitura e discussão do artigo “Determinação permanganométrica de sulfóxidos: mais uma armadilha no uso de normalidades” (OSORIO, 1992); a exposição dialogada sobre a importância histórica da Lei dos Equivalentes de Richter, considerado o pai da Estequiometria e a realização do experimento “Determinação do grau de pureza da soda caustica comercial por titulometria e cálculo da normalidade” (Anexo 2).

O texto traz informações interessantes sobre os trabalhos de Richter, suas contribuições para o estudo da estequiometria e a formulação da Lei dos Equivalentes, trabalhando contemporaneamente com Lavoisier, porém não foi possível identificar se Richter teve acesso ao trabalho deste ou não. Várias questões foram postas aos participantes, mas um ponto a se destacar foi a ausência da abordagem do conceito de

normalidade nas aulas de Química durante a formação inicial, no curso de licenciatura.

Como a apreensão de um conceito só ocorre pela vivência de diversas situações, os participantes foram solicitados a realizar uma aula prática para determinação do grau de pureza da soda cáustica comercial, executando o roteiro apresentado no Anexo 2. Apenas dois dos participantes tomaram a iniciativa de realizar o experimento, apresentando maior facilidade à implementação. Ambos já estavam cursando o mestrado e um deles atua como técnico de laboratório, portanto podemos associar a facilidade manifestada à atuação profissional e à continuidade da formação. Os demais participantes ficaram mais como observadores. No guia didático constante no Apêndice 3, o roteiro inspirou a reformulação da atividade, tornando a prática mais investigativa.

Para o quarto encontro, os participantes resolveram o desafio de montar os sanduíches (Quadros 3 e 4). Como em todos os encontros, era servido um lanche. Nesse, foi solicitado a eles que se dividissem em dois grupos, pois o lanche seria servido aos grupos. Cada um recebeu oito fatias de pão de forma, 8 fatias de queijo e 9 fatias de apresuntado. Os participantes deveriam montar sanduíches utilizando esse material e escrever essa montagem em forma de equação química, usando as letras P para representar o pão, a letra M para muçarela e Pr para representar o apresuntado. Após executar a atividade, poderiam se servir dos mesmos. Inicialmente foram programados dez minutos para o desenvolvimento da tarefa, porém os participantes levaram cerca de quarenta minutos para cumprir o desafio. Pode se observar que a maior dificuldade manifestada foi seguir a proporção estequiométrica e usar a simbologia para se chegar a equação que representava os sanduíches produzidos. Um dos grupos fez a seguinte equação:  $2P + 1M + 1 Pr$  como reagentes, mas não conseguiam chegar à representação do produto e também não souberam o que fazer com a fatia sobressalente de apresuntado (que deveria aparecer como excesso, nos produtos). O outro grupo pegou a fatia “a mais” de apresuntado e dividiu em quatro partes. Sua hipótese era utilizar proporções iguais, pois não haveria sobra de ingredientes. Então, foram questionados sobre como seria isso, se fosse um elemento químico. Seria possível dividir o elemento em quatro partes? Eles não souberam responder.

A partir dessa atividade foram abordadas as questões relativas à simbologia, análoga à de Dalton, e às proporções estequiométricas presentes nas equações químicas. Após a discussão, foi apresentado um possível gabarito para a atividade e eles se admiraram pela simplicidade do mesmo. A resposta esperada era a montagem de 4 sanduíches + 1 apresuntado em excesso, como produtos da reação:  $8P + 9 Pr + 8 M \rightarrow 4 P_2M_2 Pr_2 + 1 Pr$ .

Na sequência, foram levantados pontos importantes sobre a teoria de Dalton,

dando ênfase na questão histórica do trabalho dele, seguido da resolução de alguns exercícios extraídos do livro “Interações e transformações I: elaborando conceitos sobre Transformações Químicas”, de autoria do GEPEQ (Grupo de Pesquisas em Educação Química). Observou-se uma tendência a resolução mecânica, sem realmente focar na interpretação dos dados e sua influência no processo. Essa tendência reflete os efeitos da ausência de conteúdos contextualizados nas aulas de Química, em muitos livros didáticos e, também, na formação dos professores.

O quinto encontro foi destinado à análise de uma tradução livre de três seções do Capítulo 4 do livro de Dalton (Quadros 3 e 4), destacando as questões mais relevantes das formas de produção de oxigênio descritas, a questão das unidades de medida e o Sistema Internacional, bem como uma comparação com o estudo do Capítulo 9 do livro de Lavoisier realizado no segundo encontro.

Ao chegar a metade do curso de formação, pode-se detectar diversas dificuldades em relação à apresentação dos conteúdos, e então optou-se por trabalhar a questão da transposição didática e do livro didático. No final desse quinto encontro, alguns elementos da teoria antropológica da didática de Yves Chevallard foram abordados ((PIETROCOLA; BROCKINGTON, 2005), subsidiando a proposição das seguintes categorias ou critérios de análise:

- 1) imagens presentes no livro didático – avaliar se as imagens apresentadas estão relacionadas ao texto ou se são meramente ilustrativas;
- 2) aspectos inerentes aos exercícios e problemas que são disponibilizados (operacionalização em forma de questões e problemas)
- 3) relacionamento do conteúdo com o desenvolvimento tecnológico;
- 4) abordagem metodológica do conteúdo;
- 5) outras formas de contextualização do conteúdo;
- 6) contextualização histórica do conteúdo;
- 7) presença ou não de propostas de atividades experimentais;
- 8) linguagem e rigor científico;

Os sexto e sétimo encontros foram destinados à análise dos livros didáticos, no que tange o conteúdo de estequiometria, destacando os pontos citados a serem observados e não os que normalmente são recomendados na ocasião de seleção dos livros pela unidade de ensino. Essa atividade foi desenvolvida em um único grupo, que analisou quatro obras selecionadas no PNLD do ano de 2015 e disponíveis no “Guia de

livros didáticos: PNLD 2015”, disponível no site do FNDE. Os participantes analisaram detalhadamente cada obra e preencheram quadro conforme o parecer do grupo para cada critério. Os resultados estão apresentados no Quadro 5.

Inicialmente, haviam sido destinados dois encontros para essa atividade, para que os participantes pudessem analisar profundamente cada obra e posteriormente apresentassem o resultado da análise para a pesquisadora. No entanto, no decorrer da atividade e diante das dificuldades em realizar a atividade, a mesma se estendeu ao oitavo encontro. Percebeu-se que quando eles realizam as análises na escola são orientados a buscar questões de vestibular e do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), privilegiando a operacionalização para a testagem, em detrimento dos objetivos relativos à uma formação para o exercício da cidadania, como se as questões fizessem o aluno pensar e buscar soluções a problemas do cotidiano, voltados a aplicação do conhecimento e não apenas a marcar uma resposta ou resolver mecanicamente. Atualmente, os professores têm dificuldade até mesmo para julgar um programa novo de ensino, um livro didático ou em produzir suas aulas com independência e autonomia. Não podem ser culpados por isso, pois são vítimas do processo a que sempre foram submetidos. Cabe a nós, que trabalhamos na formação inicial e continuada de professores, darmos o toque inicial para a superação do atual estágio em que se encontram os professores de química, principalmente do ensino médio (MALDANER, 2000).

Quadro 5: Resultado da análise dos livros realizada pelos professores cursistas.

ORIENTAÇÃO DA ANÁLISE	SER PROTAGONISTA – I VOLUME	QUÍMICA CIDADÃ – II VOLUME	QUÍMICA EDUARDO MORTIMER – I VOLUME	QUÍMICA MARTHA REIS – I VOLUME
01 – Com estão as imagens (nítidas, atrativas, quantidade, resolução, etc)?	As imagens estão de acordo com o que está escrito no texto. Entretanto, estas são meramente ilustrativas. Há também poucas imagens.	As imagens estão bastante coerentes com o conteúdo proposto, em quantidades adequadas, com alta resolução, mostrando-se atrativas e essenciais (complementares) à compreensão dos conteúdos.	São utilizadas várias imagens no decorrer dos capítulos, são nítidas, atrativas e de alta resolução. Contudo, apresentam caráter apenas representativo, associados principalmente aos experimentos.	Há pouca quantidade de imagens, mas são nítidas e atrativas, com boa resolução.
02 – Linguagem e rigor científico?	A linguagem é favorável à compreensão dos conteúdos. Apresentando rigor científico adequado a compreensão do aluno.	A linguagem é favorável à compreensão dos conteúdos. Apresentando rigor científico adequado a compreensão do aluno.	A linguagem é simples e de fácil compreensão para posterior execução das atividades propostas (principalmente experimentos), apresentando rigor científico adequado.	Linguagem apropriada com rigor científico adequado.
03 – Atividades experimentais proposta?	Ambos os experimentos (dois) são de fácil execução e podem ser realizados em sala de aula e até mesmo com materiais de fácil acesso.	Há apenas uma atividade experimental, sendo esta simples e reproduzível em sala de aula com materiais alternativos (fácil acesso).	São inúmeras atividades propostas que apresentam caráter não apenas demonstrativo, mas também investigativo, partindo-se do microscópico para o macroscópico.	Poucas atividades experimentais, que podem ser executadas com materiais acessíveis, e uma outra que pode ser realizada apenas no laboratório.
04 – Evolução histórica do conteúdo?	A abordagem histórica é apresentada de maneira pontual na forma de quadros complementares. Abordando-se um pouco apenas sobre o significado das fórmulas químicas e algumas das contribuições de cientistas (Fritz Haber e Carl Bosch).	O livro aponta os acontecimentos históricos, porém não há discussão sobre os mesmos (Lavoisier, Proust e Dalton).	A abordagem histórica é apresentada de maneira pontual com caráter apenas informativo, não se atentando ao fato de demonstrar como a ciência evoluiu ao longo do tempo.	Há uma ótima evolução do conteúdo, tratando sempre de descobertas e atribuindo as mesmas a seus respectivos cientistas. Apresentando também curiosidades e como a ciência evoluiu com o tempo.

<p><b>05</b> – Contextualização do conteúdo?</p>	<p>Livro apresenta contextualizações em quadros separados sobre os conteúdos. Entretanto, não apresenta exemplificações pautadas nessas contextualizações (inseridas nas mesmas).</p>	<p>O conteúdo é bastante contextualizado, sendo que esta contextualização inter-relaciona-se com os textos, imagens e experimentos.</p>	<p>A contextualização do conteúdo baseia-se em sua maioria na realização dos experimentos (teoria + prática).</p>	<p>A contextualização do conteúdo no volume I, pauta-se basicamente na abordagem dos fatos históricos, já no volume II são encontradas exemplificações dos conteúdos.</p>
<p><b>06</b> – A abordagem metodológica?</p>	<p>Abordagem metodológica tradicional, respeitando-se a aquisição do conhecimento de maneira gradativa (cognitiva).</p>	<p>Abordagem metodológica tradicional, respeitando-se a aquisição do conhecimento de maneira gradativa (cognitiva).</p>	<p>Parte dos experimentos para que os alunos possam construir seus conceitos/conhecimentos relacionando constantemente a teoria com a prática.</p>	<p>Respeita-se a aquisição do conhecimento de maneira gradativa (cognitiva).</p>
<p><b>07</b> – Relaciona o conteúdo com o desenvolvimento tecnológico?</p>	<p>Não. Pois embora haja quadros que abordem sobre o desenvolvimento tecnológico, não é mostrado as relações do conteúdo com o mesmo. Demonstra-se, então, bastante conteudista.</p>	<p>Sim. Pois há relações explícitas das aplicabilidades do conteúdo no desenvolvimento tecnológico em diferentes setores da sociedade.</p>	<p>Não. Pois apresenta um foco teórico-prático. Não apresentado a aplicabilidade do conteúdo com os processos industriais.</p>	<p>No volume I não, pois trata-se mais da parte histórica. Já no volume II sim.</p>
<p><b>08</b> – Aspectos inerentes aos exercícios e problemas que são disponibilizados?</p>	<p>Há uma proporção razoável entre atividades objetivas e discursivas. Sendo os com questões de vestibulares e ENEM, em sua maioria, contextualizados.</p>	<p>Verifica-se que a maioria das atividades são discursivas e conteudistas. Entretanto, há também questões bem contextualizadas, como de vestibulares.</p>	<p>A maioria dos exercícios no decorrer dos capítulos são discursivos (na forma de estudos dirigidos) correspondentes aos experimentos propostos. Mas, também, ao término dos capítulos há vários exercícios contextualizados retirados de vestibulares e ENEM.</p>	<p>Verifica-se que a maioria das atividades são discursivas e conteudistas. Também há questões contextualizadas, como as de vestibulares e ENEM.</p>

Fonte: Elaboração da autora

No oitavo encontro, como citado, houve a apresentação dos resultados da análise dos livros didáticos, posteriormente propôs-se uma discussão sobre a questão: “É possível que todas as transformações químicas ocorram mantendo relações proporcionais de massa? Para finalizar esse encontro, fez-se uma sistematização da Lei de Proust e resolução de questões de aprofundamento sobre o conteúdo, com questões extraídas do livro “Interações e Transformações I: elaborando conceitos sobre Transformações Químicas”, de autoria do GEPEQ, no módulo II, tópico 5. Durante a resolução dos exercícios, percebeu-se que alguns apresentaram dificuldades para a resolução de exercícios aparentemente simples. Isso levou a uma reflexão coletiva sobre as implicações de um professor levar exercícios para a turma, sem ter resolvido anteriormente. Eles discutiram entre si e afirmaram que isso pode confundir muito os alunos e deve ser evitado. Que o planejamento da aula é muito importante incluindo a resolução antecipada das atividades propostas pelo professor.

O nono encontro contou com a seguinte programação: discussão sobre as contribuições de Gay-Lussac e Avogadro na Estequiometria; relações entre as leis de Gay-Lussac, Avogadro, Dalton e Proust, e a aplicação de questões para aplicação do conhecimento sobre massa e número de partículas, encontrados no livro do GEPEQ, “Interações e transformações I: elaborando conceitos sobre Transformações Químicas”, módulo III, tópico 6. Durante a discussão, o foco ficou no fato de Dalton não concordar com Avogadro, mas que no final, o número encontrado por Avogadro foi adotado para conversão de gases e líquidos. Para Dalton não seria possível trabalhar essas relações em volume. Foram apresentadas, usando slides, as relações entre as leis de Gay-Lussac, Avogadro, Dalton e Proust.

Após a discussão foram apresentados alguns exercícios, que podem ser encontrados no guia de atividades elaborado a partir desta pesquisa, que se encontra no pêndice 3. Ao realizar os exercícios percebeu-se muita dificuldade em entender a relação que o número de Avogadro estabelecia com o número de mols. Então foi feita a seguinte reflexão: se os professores apresentaram dificuldades para entender o significado da constante, como seria para os alunos? Daí a necessidade dos cursos de formação continuada que atendam às necessidades reais de professores de determinada localidade. Porque é nesse tipo de curso que ele vai superar algumas das dificuldades em relação ao ensino de determinados conteúdos.

Caminhando rumo ao término do curso, encerrou-se o tema Leis Ponderais e o décimo encontro foi implementado em conformidade com o descrito no Quadro 3. As discussões transcorreram com os professores fazendo observações acerca do vídeo, impressionados com a abordagem da história do cientista. O destaque dessa aula, foi o experimento: para os professores que não eram formados em Química, os

quais se mostraram muito entusiasmados e impressionados com o mesmo. O teste de diversas substâncias em relação ao acendimento e luminosidade da lâmpada se tornou algo totalmente novo e motivador para esses professores. As questões trabalhadas sobre eletroquímica, também contemplavam estequiometria, para destacar a eles, a importância e a presença desta em outros conteúdos. Durante a resolução dos exercícios, os professores mostraram uma dificuldade em relação a Pilha de Daniel, solicitando uma complementação de explicações, seguindo depois, com a resolução orientada dos exercícios.

Para o décimo primeiro encontro foram preparadas atividades voltadas ao estudo de Termoquímica. Foram desenvolvidas as seguintes atividades: realizado o experimento “Calor liberado na reação”, seguido de uma discussão sobre os cálculos estequiométricos envolvidos no ensino de Termoquímica e resolução de questões baseadas no experimento e ainda uma discussão sobre os fatores que influenciam no rendimento das reações e resolução de cálculos, que podem ser encontrados no livro do GEPEQ, módulo III, tópico 9. O objetivo do experimento era apenas analisar a diferença de temperatura e discutir as relações de massa e suas relações com a entalpia. Foram discutidos também os cálculos estequiométricos envolvidos no estudo da Termoquímica. Afirmaram que esse conteúdo também é difícil de ensinar, e muitas vezes se limitam a ensinar apenas Lei de Hess e cálculo de entalpia, sem relacionar com os demais conteúdos, inclusive com a Estequiometria. Em relação aos exercícios os professores verbalizaram que as questões contextualizados foram muito difíceis, devido ao tamanho e a complexidade dos enunciados. Foi necessária a intervenção constante junto aos professores para que conseguissem resolver.

Para finalizar o curso de formação promoveu-se o décimo segundo encontro, com uma discussão sobre as atividades desenvolvidas durante o curso e a elaboração de um relato de experiência. Houve uma dificuldade em relação a realização desse encontro: os professores tinham uma atividade na escola e a duração do encontro foi reduzida, ocorrendo apenas a discussão. O relato de experiência não foi elaborado. A discussão foi um fechamento. Os professores manifestaram sua satisfação em participar de um curso pensado segundo o interesse deles. Destacaram a dificuldade em abordar a História da Ciência nas aulas, uma vez que desconheciam muito dessa abordagem. Afirmaram que é necessário a inserção desse tópico nos cursos de formação inicial de professores, pois nunca tinham trabalhado sob esse enfoque.

## **4.2 ANÁLISE DA CONSTRUÇÃO DO GUIA DIDÁTICO**

Um dos objetivos deste trabalho consistiu na elaboração de um guia didático tendo como base o material usado no curso de formação continuada. A questão era: como construir um material acessível que pudesse, ao mesmo tempo, servir de consulta



ao professor e dispor de atividades para serem aplicadas nas aulas de Química?

Inicialmente, constatou-se que os materiais didáticos existentes, e particularmente os livros didáticos para o Ensino Médio, não trazem uma abordagem histórica com informações relevantes sobre a vida e o trabalho dos cientistas. Não existe uma preocupação em mostrá-los como pessoas comuns inseridas em seus contextos socioeconômico e histórico, que por meio da pesquisa, da experimentação e da socialização de suas hipóteses e teses contribuíram com o desenvolvimento da ciência ao longo do tempo, ou seja, esses materiais não contribuem para a humanização da ciência. Dessa forma, a primeira escolha foi pesquisar uma biografia dos cientistas responsáveis pela autoria das Leis Ponderais, seguindo uma ordem cronológica da elaboração das mesmas. Uma das dificuldades encontradas nessa etapa foi relacionada ao acesso à História da Ciência propriamente dita, pois são materiais escritos por diferentes historiadores, o que implica em diferentes perspectivas e finalidades, dificultando até mesmo um julgamento quanto à qualidade dos produtos historiográficos.

Segundo Gução et al. (2009), há uma inevitável obscuridade entre os fatos e as interpretações, sendo possível observar a distorção de provas documentais, a adaptação dos fatos às funções sociais, ignorando ou investindo numa importância desproporcionada. Optou-se por selecionar alguns documentos originais, como foi o caso de Lavoisier, Dalton e Avogadro, abordados no Produto Educacional, o qual é parte integrante dessa dissertação, Apêndice 3. Também, os sites de museus, como o Museo Galileo - Istituto e Museo di Storia della Scienza e Science History Institute, buscou-se documentos de historiadores contemporâneos aos cientistas abordados, além de dissertações e teses brasileiras da área de História da Ciência.

Assim, foram elaborados cinco capítulos para compor o guia (Apêndice 3), nos quais inicialmente foi abordada a biografia e principais obras do cientista, na sequência foram apresentadas atividades, intituladas como “Situações de Aprendizagem”, em conformidade com o conceito de situação apresentado por Vergnaud e detalhado no Capítulo 2. As situações elaboradas e adaptadas, voltadas ao desenvolvimento conceitual, requerem a evocação de habilidades e competências variadas. Apresentou-se, ainda, algumas curiosidades e dicas para que o professor instigue o aluno na busca de mais conhecimentos, e ao final, tudo que foi abordado no capítulo é retomado de forma sintética.

O Quadro 6 sumariza as atividades do guia conforme foram adaptadas após o curso de formação continuada, levando em consideração as dificuldades enfrentadas tanto para aplicação como para a resolução pelos professores.

Quadro 6: Atividades que compõem o guia didático.

Capítulo do guia	Atividade	Situação	Regras de ação
1	Quantos grãos de feijão há no pote? Qual a massa de uma folha de papel A4?	Deve ser apresentado aos alunos um pote de vidro cheio de grãos de feijão e algumas folhas de papel A4. Eles devem prever a quantidade de grãos de feijão no pote e a massa de 1 folha de papel utilizando para isso uma balança adequada.	1- Esvaziar o pote e pesá-lo, colocar os grãos de feijão para saber sua massa total e em seguida pesar 1 grão para saber sua massa. 2- Dividir a massa total pela massa de 1 grão para estimar a quantidade de grãos presentes no pote. 3- Usar o mesmo raciocínio para a folha de papel. Pesquisar certa quantidade de folhas juntas dobradas, contando-se a quantidade.
1	Que unidades de medida são estas?	Por meio da resenha e de algumas tabelas do Capítulo 9 do livro “Tratado Elementar de Química”, analise e compare, juntamente com os alunos, as grandezas físicas e unidades de medida apresentadas, destacando o ano da publicação, justificando dessa maneira as características da escrita.	1- Utilizando os fatores de conversão apresentados na “Dica”, represente as reações descritas através de uma equação para cada. 2- Descreva as quantidades de reagentes e produtos em uma unidade de medida usual do Sistema Internacional de Medidas.

2	Será que a Soda Cáustica comercializada nos supermercados é pura? Como podemos determinar?	Leve os alunos ao laboratório, divida-os em grupos, e entregue uma cópia do roteiro a cada grupo, explicando a função das vidrarias e o momento em que serão utilizadas. Oriente os alunos a seguirem os procedimentos conforme o roteiro e acompanhe a execução.	<p>1- Com o roteiro em mãos, os alunos devem iniciar calculando as concentrações molares de HCl e NaOH. Seguir os procedimentos descritos no roteiro.</p> <p>2- Para realizar o cálculo da normalidade utilizar a equação</p> $N_1 \cdot V_1 = N_2 \cdot V_2.$ <p>3- Calcular a massa correspondente de NaOH da solução de soda cáustica titulada, utilizando a fórmula da normalidade, e em seguida converter em porcentagem.</p> <p>4- Calcular o teor de pureza do NaOH, por meio da massa obtida e a massa molar.</p>
2	Por que a normalidade não é uma medida de concentração de soluções usual em Química?	Realize a leitura do artigo, e discuta com os alunos, por meio dos exemplos nele apresentados, ou outros de sua preferência, as exceções que dificultam a adoção da normalidade para a determinação da concentração de soluções, justificando o motivo pelo qual os termos “equivalente-grama” e “normal” entraram em desuso.	<p>1- Refletir sobre a utilização da normalidade como medida de concentração de soluções, comparando com as medidas mais utilizadas (Concentração comum, Concentração em quantidade de matéria – mó).)</p>

3	Será que as relações proporcionais entre as massas dos reagentes e as massas dos produtos se mantêm constantes em todas as transformações químicas?	Apresente aos alunos a tabela do exercício 1, e peça a eles que observem as relações entre as massas dos reagentes e produtos, analisando o que acontece com as massas em cada experiência. A partir dessa análise, os alunos devem traçar uma linha de raciocínio para responder aos demais exercícios.	1- Comparar as massas dos reagentes e produtos em cada reação apresentada, por meio da realização de operações mentais.
4	Vamos montar sanduíches?	Os alunos devem ser organizados em pequenos grupos. Cada grupo de alunos deve receber em uma bandeja 8 fatias de pães, 8 fatias de queijo muçarela e 9 fatias de presunto, montar sanduíches com esses ingredientes e em seguida propor uma equação genérica que represente o resultado. Sugira que eles utilizem símbolos para representar os ingredientes, ex.: Pães – P; Muçarela – M; Presunto – Pr.	1- O grupo precisa estar atento ao raciocínio proporcional e à razão. 2- Montar sanduíches com os ingredientes apresentados. 3- Representar, por meio de uma equação genérica, a montagem dos sanduíches. A equação deve representar fielmente o que o grupo se propôs a fazer.

4	Quais eram as ideias de Dalton acerca das transformações químicas? Como desenvolveu suas formas de representação?	<p>Apresente aos alunos as ideias de Dalton sobre as transformações químicas, promovendo uma comparação com as ideias de Lavoisier. Mostre exemplos das representações circulares de Dalton e destaque a evolução dos modelos. Entregue aos alunos uma ficha com atividades adaptadas sobre as transformações químicas, iniciando com a discussão sobre as representações circulares criadas por Dalton em comparação à de Lavoisier e à atual.</p>	<p>1- Os alunos precisam compreender a discussão sobre modelos de átomos diferenciando o conceito de elementos químicos propostos por Lavoisier e Dalton, para dessa forma compreender a representação atual. Perceber que as formas de representação são complementares e se alteram com o tempo.</p> <p>2- Estabelecer relações entre a constituição da matéria e as características dos estados físicos em que ela se apresenta.</p> <p>3- Compreender o poder explicativo dos modelos, mobilizando informações, como massa, para elaboração do modelo que leva ao número de partículas.</p>
4	Que tal conhecer mais sobre o trabalho de Dalton por meio de seus próprios escritos?	<p>Realize a leitura da tradução livre do capítulo 4 (sessões 1, 2 e 3) do livro “Um Novo Sistema de Filosofia Química”, juntamente com os alunos, destacando o ano da publicação, justificando dessa maneira as características da escrita, analisando e comparando as grandezas físicas e unidades de medida presentes no texto, bem como as ideias do autor.</p>	<p>1- Compreender o desenvolvimento do pensamento dos cientistas por meio dos próprios registros, e comparar criticamente os métodos utilizados nas pesquisas.</p> <p>2- Representar as reações descritas através de uma equação para cada.</p> <p>3- Descrever as quantidades de reagentes e produtos em uma unidade de medida usual nos nossos dias.</p>

5	Qual a forma mais adequada de determinar a quantidade de átomos e moléculas? Será que a contribuição de Avogadro foi mesmo importante?	Abordagem da síntese de Avogadro - Quantidade de matéria (mol), por meio de questões para aplicação do conhecimento sobre massa, quantidade de matéria e número de partículas.	1- Compreender a importância do trabalho de Avogadro para o desenvolvimento de questões importantes nas Ciências. 2- Realizar os cálculos e reinterpretar situações anteriores com a nova grandeza.
---	--	--	--

Fonte: Elaboração da autora

Conforme essa sequência, no Capítulo 1 foram apresentadas as contribuições de Lavoisier e sua esposa Marie-Anne para o desenvolvimento da Química Moderna. O trabalho de ambos ficou marcado pelo caráter experimental, especialmente a alta precisão nos seus dados experimentais, sistematizando o uso da balança. Dessa forma, Lavoisier passou a definir a matéria por sua propriedade de possuir uma massa determinada e enunciou a Lei da Conservação das Massas, que é bastante explorada no estudo dos cálculos estequiométricos. Assim, as atividades propostas tiveram por objetivo explorar habilidades de medição, para que o aluno seja capaz de apropriar-se de conhecimentos da Química e, em situações-problema, interpretar, avaliar e planejar ações, aplicando os esquemas que ele já domina e os ampliando.

O Capítulo 2 traz a história de um cientista que, praticamente não é mencionado nos livros didáticos, mesmo tendo realizado importantes trabalhos, contribuindo significativamente para as pesquisas em ciência da sua época. Richter foi considerado o pai da Estequiometria, e acreditava que toda ciência verdadeira é matemática aplicada. Dedicou toda a sua vida a pesquisar as leis de acordo com as quais os números químicos são combinados por “medida, número e peso”. Uma de suas maiores contribuições, com certeza, foi sua Lei de Proporção Equivalente que permitiu o desenvolvimento de novas ideias e pesquisas em Química, entre as quais o caminho para se chegar a uma forma de determinar a concentração de soluções, a “Normalidade”. As atividades desse capítulo tinham como objetivo permitir a análise e comparação de termos que foram muito utilizados na Química em determinada época e que hoje foram substituídos, além de explorar a relação entre teoria e prática por meio da experimentação.

Já no Capítulo 3, foi apresentado o trabalho de Joseph Louis Proust, um químico

francês que provou que quando dois ou mais elementos se combinam para formar substâncias, conservam entre si proporções definidas. Isso é conhecido como a Lei das Proporções Definidas, muito utilizada na Estequiometria, por fornecer a base teórica da “combinação química”. As narrativas tradicionais da história da química concentraram-se exclusivamente no trabalho analítico de Proust. Desse modo, as atividades propostas nesse capítulo tiveram por objetivo levar o aluno a comparar quantidades de reagentes e produtos envolvidos em transformações químicas, estabelecendo a proporção entre as suas massas, mobilizando esquemas que envolvem o raciocínio proporcional.

Por sua vez, o Capítulo 4 trouxe a história do cientista responsável por uma Teoria Atômica inédita em sua época, e que durante o percurso realizou trabalhos importantes para o desenvolvimento da Química e da ciência como um todo. A teoria de Dalton forneceu uma base para a compreensão dos resultados de experimentalistas anteriores, incluindo a lei de conservação das massas, de Lavoisier, e a lei das proporções constantes de Proust. Ele também foi responsável por desenvolver um sistema de representações para os elementos e os compostos. Assim, as atividades, nesse capítulo, objetivavam levar os alunos a compreender e diferenciar o conceito de elementos químicos propostos por Lavoisier e Dalton, e a mobilizar informações na resolução de questões que envolvem as formas de representação e as massas dos elementos.

Por fim, consta no Capítulo 5 as biografias de dois importantes cientistas, Joseph Louis Gay-Lussac e Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro. Gay-Lussac desenvolveu um importante trabalho com os gases, com sua atenção voltada à volumetria, e suas ideias entraram em conflito com as ideias de Dalton. Daí a importância do trabalho de Avogadro, que permitiu a conciliação da teoria atômica de Dalton e o trabalho de Gay-Lussac. Avogadro afirmou em sua hipótese de que “o número de moléculas em qualquer gás é sempre o mesmo em volume ou é sempre proporcional a volumes”, e conseguiu prova-la por meio do número de Avogadro, definido anos mais tarde. Nesse capítulo, as atividades tiveram o objetivo de promover a aplicação do conhecimento sobre massa, quantidade de matéria e número de partículas, em meio ao raciocínio matemático.

Durante todo o trabalho de seleção, adaptação e reelaboração das atividades pensou-se em estimular a mobilização de vários conceitos-em-ação e teoremas-em-ação, por meio de situações variadas, pois, segundo Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008), baseado na TCC, a diversificação de situações exerce um importante papel na conceitualização ao fornecer uma base para que os alunos possam testar seus modelos explicativos em diferentes contextos, tanto reformulando-os como ampliando-os.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de formação de um professor é contínuo. O ingresso no curso de licenciatura marca o ponto de partida numa trajetória de crescimento na qual, somados à experiência de vida deste indivíduo, conhecimentos de uma determinada área específica, teorias pedagógicas e elementos práticos provenientes da atividade docente, serão agregados, estabelecendo a base sobre a qual o exercício profissional irá se alicerçar.

Com essa ideia em mente, o desenvolvimento deste trabalho foi motivado pela preocupação da pesquisadora com a formação continuada dos professores que atuam nas salas de aula do seu local de origem, refletindo nos resultados de aprendizagem dos alunos, na cidade de Itumbiara/GO e, também pelo desejo de contribuir com esses professores, no sentido de auxiliá-los a desenvolver suas potencialidades e ampliar seus conhecimentos. Após identificar as dificuldades dos professores em estabelecer relações de ensino no conteúdo por eles definido como mais complexos na Química através de questionário e entrevista, um curso de formação continuada foi planejado e realizado, centrado na ampliação do universo de conhecimento deles, utilizando a História da Ciência e subsidiado na Teoria dos Campos Conceituais. Aliado a isso, um guia de atividades, adaptadas de diferentes fontes, foi elaborado como um material instrucional ao professor.

O questionário elencava questões abertas e fechadas sobre a formação acadêmica dos profissionais da área de Química que atuam nas escolas de nível médio do município, suas concepções de formação continuada, seus anseios em relação à profissão. Também solicitava a opinião dos professores quanto ao conteúdo que gostariam que fosse abordado em um curso de formação continuada, bem como qual(is) o(s) conteúdo(s) eram considerados por eles como mais complexos para o ensino e aprendizagem dos conceitos tradicionalmente abordados na disciplina de Química no Ensino Médio. Verificou-se que grande parte dos professores não possuem formação em Química, e na falta de professores habilitados, outros que não têm conhecimentos específicos na área são convocados para assumirem as aulas desse componente curricular. Algumas dificuldades existentes em relação a formação continuada também foram identificadas, pois mesmo o professor sendo consciente da sua importância, não consegue se inserir satisfatoriamente nesse processo, por problemas como carga horária extensa, falta de incentivo para o aprimoramento profissional, dificuldade de acesso a bons cursos, entre outros.

Um dado foi considerado importante e que viabilizou esse trabalho foi a afirmação, em uma das respostas ao questionário, de que os professores necessitam de um curso que possibilite melhorar sua prática docente. Essa afirmação permitiu



pensar em um novo instrumento que complementasse os dados do questionário, de modo que entrevistas semiestruturadas com seis professores de Química, selecionados aleatoriamente, foram agendadas e efetuadas. Os dados obtidos evidenciaram que a formação anterior referente a noções de História e Filosofia da Ciência era inexistente ou escassa. Esse resultado corrobora os obtidos por Bastos (2016), que apontam, ainda, como possíveis obstáculos à incorporação de conteúdos de História de Ciência no currículo, a saber:

- 1) a formação inicial de professores dá acesso insuficiente a esses conteúdos;
- 2) a concepção dos professores de Ciências, sobre o ensino de História, pode estar muito associada a uma abordagem tradicional (enumeração repetitiva de datas, lugares, personagens, fatos), talvez por reproduzir os esquemas de aula que eles vivenciaram durante o período em que eram alunos da escola básica;
- 3) os relatos encontrados nos livros didáticos são muitas vezes inadequados;
- 4) os alunos possuem conhecimentos precários sobre princípios norteadores da análise histórica, como a localização temporal;
- 5) os alunos possuem sérias lacunas em suas habilidades de leitura, escrita e participação em debate. (adaptado de Bastos (2016, p. 167-168))

No sentido de atender a demanda apresentada pelos professores que participaram da pesquisa, foi estabelecida a oferta de um curso de formação continuada relativo à Estequiometria e sua história, assim como aplicações à Termoquímica e à Eletroquímica. Metodologias diversificadas foram mobilizadas, a fim de oportunizar diferentes situações, dando ênfase à experimentação e as representações de interesse. Vale destacar que esses assuntos foram pensados de forma integrada, de modo a transcender a visão tradicional explicitada no segundo item anterior, que é a usualmente presente nos livros didáticos. A realização deste trabalho permitiu à pesquisadora o amadurecimento de ideias e concepções acerca da formação continuada e da importância do embasamento em uma teoria que possibilite compreender e analisar as atitudes do sujeito frente a uma situação. Os conceitos da Teoria dos Campos Conceituais permearam a dialética entre a teoria e a prática, possibilitando analisar, por meio da aplicação da teoria, pontos como o planejamento de ações pedagógicas e as vivências oportunizadas pelos encontros realizados. Além de evidenciar as relações envolvidas entre os conceitos e leis e sua mobilização para a resolução das situações propostas, foi possível destacar a importância das representações, particularmente para a Química e para o seu ensino.

Ao término desta pesquisa foi possível verificar as contribuições efetivas que a proposta de formação continuada em contexto trouxe para o processo de reflexão

do professor em relação a sua prática diária, bem como a sua atualização teórica. Some-se, ainda, a valorização dos saberes docentes, a efetivação do trabalho coletivo e a democratização da escola, enquanto espaço de formação continuada. Fica evidente que o professor e o coletivo da escola podem produzir conhecimento a partir da reflexão na e sobre a prática pedagógica presente em sua realidade escolar, desde que tenha intencionalidade, ou seja, que saiba aonde querem chegar e ainda consigam identificar o que precisam para alcançar seus objetivos. Só assim, a reivindicação de espaços e tempo para a formação continuada em serviço, far-se-á uma conquista, oportunizando momentos ricos e produtivos para a sua práxis educativa. A formação continuada dos professores configura uma necessidade cotidiana.

Embora a formação continuada deva atender às necessidades do professor citadas, ela não pode ser entendida como um receituário, ou seja, um conjunto de modelos metodológicos e/ou lista de conteúdos que, se seguidos, serão a solução para os problemas. Os processos de formação continuada podem ser valiosíssimos, se conseguirem aproximar os pressupostos teóricos e a prática pedagógica numa relação dialética. A formação continuada deve ser capaz de conscientizar o professor de que teoria e prática são “dois lados da mesma moeda”, que a teoria o ajuda a compreender melhor a sua prática e a lhe dar sentido e, conseqüentemente, que a prática proporciona melhor entendimento da teoria ou, ainda, revela a necessidade de nela fundamentar-se. No nosso entendimento, a formação continuada será significativa e ajudará a provocar mudanças na postura do professor quando conseguir formar um professor: a) competente na sua profissão, a partir dos recursos materiais e metodológicos de que ele dispõe; b) dotado de uma fundamentação teórica consistente; e c) consciente dos aspectos externos que influenciam a educação, visto que a educação não se resume à sala de aula ou à escola, mas está presente num contexto social cujas características interferem no seu andamento.

Candau (1997) apresenta três aspectos fundamentais para o processo de formação continuada de professores: a escola, como locus privilegiado de formação; a valorização do saber docente; e o ciclo de vida dos professores. Isto significa dizer que a formação continuada precisa: primeiro, partir das necessidades reais do cotidiano escolar do professor; depois, valorizar o saber docente, ou seja, o saber curricular e/ou disciplinar, acrescido do saber da experiência; por fim, valorizar e resgatar o saber docente construído na prática pedagógica (teoria + prática). Reconhecendo a validade dos aspectos explorados por Candau (1997), concluímos, como de importância vital para um programa de formação continuada ser capaz de qualificar professores, que: a) elaborem programas que partam das necessidades do dia-a-dia do profissional da educação e b) se proponham temas e métodos de operacionalização que busquem auxiliar o docente a refletir e a enfrentar as adversidades vivenciadas na prática. Em síntese, a relação entre os saberes teóricos e os saberes práticos necessários para

uma boa performance e uma boa qualificação é fundamental.

De acordo com Gatti e Barreto (2009), de forma não unânime, os professores apontam aspectos positivos como a oportunidade de aprofundar conhecimentos, o acesso a novos conceitos que ampliam suas possibilidades de análise das situações de ensino e mesmo os relativos ao próprio conteúdo, as interações com os pares, e o contato com os formadores, no sentido de transcender a percepção de formação continuada como atualização pedagógica. No caso da nossa ação, o décimo segundo encontro revelou a apreciação dos participantes relativas à abordagem histórica e à análise dos livros didáticos, uma vez os mesmos não haviam utilizado anteriormente critérios para avaliar e comparar essas obras. Ainda de acordo com Gatti e Barreto (2009), as queixas, ocorrem em uníssono: a ação implementada, assim como outros programas, não prevêem acompanhamento e apoio sistemático da prática pedagógica dos professores, e estes sentem dificuldade de entender a relação entre o programa desenvolvido e suas ações no cotidiano escolar. Mesmo quando os efeitos sobre a prática são evidentes, estes encontram dificuldade em prosseguir com a nova proposta após o término do programa; a descontinuidade das políticas e orientações do sistema dificulta a consolidação dos avanços alcançados. A pesquisadora concorda com Terrazzan quando ele aponta à necessidade de uma forte articulação entre as instituições formadoras e as unidades escolares, que leve em consideração um equilíbrio entre os conhecimentos produzidos nestas duas instâncias e respeite suas naturezas distintas, para que as ações de formação continuada não se percam no decorrer do tempo nem fiquem sobrepujadas pela burocracia das instituições e unidades citadas (Gama e Terrazzan (2009), e referências do mesmo autor presentes nesse trabalho).

Segundo Gama e Terrazzan (2009), o desenvolvimento profissional do professor pode ser dividido em três níveis relacionados entre si, os quais apresentam objetivos distintos:

- O primeiro refere-se à formação individual, na qual o professor busca, eventualmente, participar de cursos, oficinas e palestras com o intuito de melhorar sua prática docente e se manter atualizado.
- O segundo nível está relacionado à formação em “Grupos de Trabalho”, na qual a formação do professor se efetiva na relação com o outro, por meio da prática da reflexão coletiva, fundamentada pela ideia de compartilhamento.
- No terceiro e último nível, a formação dos professores ocorre por meio do envolvimento em espaços coletivos mais amplos, quando, por exemplo, participam em seminários e congressos da área de atuação, ou em projetos de investigação escolar, onde as diversas práticas, seus resultados, seus

pressupostos e suas justificativas teóricas requerem uma avaliação crítica da comunidade específica, buscando uma validação social, profissional e acadêmica, para a consolidação do conhecimento “científico-pedagógico” construído pela própria área.

Concordando com a postura de Maldaner, abordada anteriormente neste trabalho, o terceiro nível corresponde ao desenvolvimento ideal para a formação continuada, haja vista que amplia o campo de visão do professor e permite a autoavaliação e a reflexão crítica sobre a própria prática. Contudo, o que se percebeu é que ainda predomina o tipo de formação relacionada ao primeiro nível, pois os professores, quiçá por todas as dificuldades já citadas, não se envolvem espontaneamente em formações de maior alcance, como em eventos gerais da área educacional, antes preferem os cursos de curta duração, com material substanciado e objetivo, pensado e conduzido pelos formadores.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, P. E.; TILLOTSON, J. W. Why research in the service of science teacher education is needed. **Journal of Research in Science teaching**, v. 32, n. 5, p. 441 – 443, 1995. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/tea.3660320503>. Acesso em: 12/03/2017.  
<https://doi.org/10.1002/tea.3660320503>
- ALVES, N. (coord.). **Formação de professores: pensar e fazer**. 1. ed. São Paulo: Cortez, 1992. 112 p.
- ARASASINGHAM, R. D. et al. Using knowledge space theory to assess student understanding of stoichiometry. **Journal of Chemical Education**, v. 81, n. 10, p. 1517 – 1523, outubro 2004. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed081p1517>. Acesso em: 20 de maio de 2017.  
<https://doi.org/10.1021/ed081p1517>
- ARROIO, A. et al. O show da Química: motivando o interesse científico. **Química Nova**, v. 29, n. 1, p. 173 – 178, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v29n1/27876.pdf>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2019.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000100031>
- AULT, A. Mole city: A stoichiometric analogy. **Journal of Chemical Education**, Mount Vernon, v. 83, n. 11, p. 1587 – 1587, novembro 2006. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed083p1587>. Acesso em: 02 de junho de 2017.  
<https://doi.org/10.1021/ed083p1587>
- AYRES-PEREIRA, T. I. **Transformações químicas: visões e práticas de professores de ciências**. 2013. 217 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) — Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81132/tde-10042014-200912/>. Acesso em: 02 de junho de 2017.
- BASTOS, F. Debates recentes sobre formação de professores: considerações sobre contribuições da pesquisa acadêmica. In: BASTOS, F. (org.). **Formação de professores e práticas pedagógicas no ensino de ciências: contribuições da pesquisa na área**. São Paulo: Escrituras, 2016. (Educação para a Ciência, v. 8).
- BATINGA, V. T. S.; TEIXEIRA, F. M. **A abordagem de resolução de problemas por professores de química do ensino médio: um estudo sobre o conteúdo de estequiometria**. 2010. 284 p. Tese (Programa de Pós-graduação em Educação) — Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/3695>. Acesso em: 03 de junho de 2017.
- BEALL, H.; PRESCOTT, S. Concepts and Calculations in Chemistry Teaching and Learning. **Journal of Chemical Education**, v. 71, n. 2, p. 111 – 112, Fevereiro 1994. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed071p111>. Acesso em: 04 de junho de 2017.  
<https://doi.org/10.1021/ed071p111>
- BOUJAOUDE, S.; BARAKAT, H. Students' Problem Solving Strategies in Stoichiometry and their Relationships to Conceptual Understanding and Learning Approaches. **Electronic Journal of Science Education**, v. 7, n. 3, Mar 2003. Disponível em:

<http://ejse.southwestern.edu/article/view/7709>. Acesso em: 21 de junho de 2017.

BRAGA, M. M. A licenciatura no Brasil: um breve histórico sobre o período 1973-1987. **Ciência & Cultura**, São Paulo, v. 40, n. 2, p. 16 – 27, 1988.

BRASIL. Ministério da Educação. Orientações Curriculares para o Ensino Médio. **Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias**, MEC, Brasília, 2006.

CANAU, V. M. (org.). **Magistério: construção cotidiana**. Petrópolis, RJ: Vozes, 1997.

CANAU, V. M. F. (coord.). **Novos rumos da Licenciatura**. Brasília: INEP, PUC/RJ, 1987. 93 p.

CARINE, B. et al. O uso de aspectos históricos das reações químicas como base para a proposição de estratégias didáticas. In: ABRAPEC (Ed.). **X ENPEC**. Águas de Lindóia, SP: [s.n.], 2015. Disponível em: [http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/lista\\_area\\_03.htm](http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/lista_area_03.htm). Acesso em: 01 de agosto de 2017.

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. 608 p. ISBN 8535218785.

CARVALHO, A. M. P. de; GIL-PÉREZ, D. (ed.). **Formação de professores de ciências: tendências e inovações**. 10. ed. São Paulo: Cortez, 2011. v. 28. 128 p.

CARVALHO JR., G. D. de; AGUIAR JR., O. Os campos conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p. 207 – 227, 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/6061/5632>. Acesso em: 24 de junho de 2017.  
<https://doi.org/10.5007/2175-7941.2008v25n2p207>

CARVALHO JÚNIOR, G. D. de. **Invariantes operatórios na transição entre dois campos conceituais: o caso do tempo relativo**. 2013. 230 p. Tese (Programa de Pós-graduação em Educação) — Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUBD-9FVFQX/tese.pdf?sequence=1>. Acesso em: 03 de outubro de 2017.

CHASSOT, A. I. **Catalisando transformações na educação**. Ijuí: Unijuí, 1993.

COSTA, A. A. F.; SOUZA, J. R. da T. Obstáculos no processo de ensino e de aprendizagem de cálculo estequiométrico. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 10, n. 19, p. 106 – 116, ago-dez 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/revistaamazonia/article/view/2190/2483>. Acesso em: 06 de junho de 2017.  
<https://doi.org/10.18542/amazrecm.v10i19.2190>

COSTA, E. T. H.; ZORZI, M. B. **Uma proposta diferenciada de ensino para o estudo da estequiometria**. 2007. Disponível em: <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/2281-8.pdf>. Acesso em: 24 de maio de 2017.

COTES, S.; COTUÁ, J. Using audience response systems during interactive lectures to promote active learning and conceptual understanding of stoichiometry. **Journal of Chemical Education**, v. 91, n. 5, p. 673 – 677, Abril 2014. Disponível em:

<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed400111m>. Acesso em: 07 de junho de 2017.  
<https://doi.org/10.1021/ed400111m>

DAVIDOWITZ, B.; CHITTLEBOROUGH, G.; MURRAY, E. Student-generated submicro diagrams: a useful tool for teaching and learning chemical equations and stoichiometry. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 11, n. 3, p. 154 – 164, Maio 2010. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2010/rp/c005464j#divAbstract>. Acesso em: 08 de junho de 2017.  
<https://doi.org/10.1039/C005464J>

DAVIS, N. T. et al. Transitions from objectivism to constructivism in science education. **International Journal of Science Education**, v. 15, n. 6, p. 627 – 636, 1993. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0950069930150601>. Acesso em: 18 de maio de 2017.  
<https://doi.org/10.1080/0950069930150601>

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI José A. **Metodologia do Ensino de Ciências**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1990. (Magisterio-2º grau. Formação do professor). ISBN 8524902728, 9788524902727.

DUARTE, M. da C. A história da ciência na prática de professores portugueses: implicações para a formação de professores de ciências. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 10, n. 3, p. 317 – 331, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v10n3/02.pdf>. Acesso em: 14 de junho de 2017.  
<https://doi.org/10.1590/S1516-73132004000300002>

EICHLER, M. L.; PINO, J. C. D. A produção de material didático como estratégia de formação permanente de professores de ciências. **Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, n. 3, p. 633 – 656, 2010. Disponível em: [http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen9/ART8\\_Vol9\\_N3.pdf](http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen9/ART8_Vol9_N3.pdf). Acesso em: 09 de junho de 2017.

ENGEL, G. I. Pesquisa-ação. **Educar em Revista**, Editora da UFPR, Curitiba, v. 16, p. 181 – 191, 2000. Disponível em: [http://www.educaremrevista.ufpr.br/arquivos\\_16/irineu\\_engel.pdf](http://www.educaremrevista.ufpr.br/arquivos_16/irineu_engel.pdf).

FABRÍCIO, C. M.; GUIMARÃES, L. M.; AIRES, J. A. Lavoisier e a combustão: uma proposta para o Ensino de Química baseada na História e Filosofia da Ciência. In: ABRAPEC (Ed.). **VIII ENPEC**. Campinas, 2011. Disponível em: <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R0042-2.pdf>. Acesso em: 09 de junho de 2017.

FALSARELLA, A. M. **Formação continuada e prática de sala de aula**: os efeitos da formação continuada na atuação do professor. São Paulo: Autores Associados, 2004. 230 p.

FORTUNA, J. et al. Processo Bayer de obtenção de alumina como ferramenta para o ensino de conceitos de estequiometria. In: **XVI ENEQ e X EDUQUI**. Salvador, BA: [s.n.], 2012. Disponível em: <https://portalseer.ufba.br/index.php/anaiseneq2012/article/view/7702/5643>. Acesso em: 11 de junho de 2017.

FURIÓ, C.; AZCONA, R.; GUIASOLA, J. Revisión de investigaciones sobre la enseñanza-aprendizaje de los conceptos de cantidad de sustancia y Mol.

**Enseñanza De Las Ciencias**, v. 20, n. 2, p. 229 – 242, 2002. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/38990699.pdf>. Acesso em: 23 de maio de 2017.

GABEL, D. Analyzing difficulties with mole-concept tasks by using familiar analog tasks. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 21, n. 8, p. 843 – 851, abril 1984. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/tea.3660210808>. Acesso em: 21 de maio de 2017.

<https://doi.org/10.1002/tea.3660210808>

GALAGOVSKY, L. R.; GIACOMO, M. A. D.; ALÍ, S. Estequiometría y ley de conservación de la masa: lo que puede ocultar la simplificación del discurso experto. **Ciência & Educação (Bauru)**, scielo, v. 21, p. 351 – 360, 06 2015. ISSN 1516-7313. Disponível em: <http://www.scielo.br/scieloOrg/php/articleXML.php?lang=en&pid=S1516-73132015000200006>.

<https://doi.org/10.1590/1516-731320150020006>

GAMA, M. E. R.; TERRAZZAN, E. Ações extensionistas de formação continuada de professores em serviço. **Vivências: Revista Eletrônica de Extensão da URI**, URI. Erechim, Erechim/RS, v. 5, p. 12 – 20, 2009.

GATTI, B. A. Análise das políticas públicas para formação continuada no Brasil, na última década. **Revista Brasileira de Educação**, v. 13, n. 37, p. 57 – 70, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbedu/v13n37/06.pdf>. Acesso em: 19 de maio de 2017.

<https://doi.org/10.1590/S1413-24782008000100006>

GATTI, B. A.; BARRETO, E. S. de S. (coord.). **Professores do Brasil: impasses e desafios**. Brasília: UNESCO, 2009. 294 p.

GHEDIN, E.; PIMENTA, S. G. **Professor Reflexivo no Brasil: gênese e crítica de um conceito**. São Paulo: Cortez, 2002.

GOMES, R. S. **As dificuldades de aprendizagem em Química no Ensino Médio: Uma barreira a ser rompida por alunos e professores**. 2008. 47 p. Monografia (Licenciatura em Química) — Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos/Universidade da Tecnologia e do Trabalho. Disponível em: <http://bd.centro.iff.edu.br/bitstream/123456789/249/3/Documento.pdf>. Acesso em: 07 de março de 2019.

GOMES, R. S.; MACEDO, S. da H. Cálculo estequiométrico: o terror nas aulas de Química. **Revista Vértices**, Essentia, Campos dos Goytacazes, RJ, v. 9, n. 1, 2007. Disponível em: <http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/1809-2667.20070010/44>. Acesso em: 12 de junho de 2017.

GORIN, G. Mole and chemical amount: A discussion of the fundamental measurements of chemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 71, n. 2, p. 114 – 116, 1994. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed071p114?journalCode=jceda8>. Acesso em: 13 de junho de 2017.

<https://doi.org/10.1021/ed071p114>

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 1, p. 31 – 53, 2002. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/141216>.



Acesso em: 23 de junho de 2017.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Do saber fazer ao saber dizer: uma análise do papel da resolução de problemas na aprendizagem conceitual de Física. **Ensaio - pesquisa em educação em ciências**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 52 – 67, março 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/epec/v5n1/1983-2117-epec-5-01-00052.pdf>. Acesso em: 18 de novembro de 2018.

GROSSI, E. P.(org.). **O que é aprender?: O iceberg da conceitualização**. 1. ed. Porto Alegre: GEEMPA, 2017a. v. 2. 124 p. (Coleção Campos Conceituais, v. 2). ISBN 9788598022628.

GROSSI, E. P.(org.). **Piaget e Vygotski em Gérard Vergnaud: Teoria dos Campos Conceituais TCC**. 1. ed. Porto Alegre: GEEMPA, 2017b. v. 1. 88 p. (Coleção Campos Conceituais, v. 1). ISBN 97 88598022611.

GUÇÃO, M. F. B. et al. Dificuldades na inserção da História da Ciência no ensino de ciência: poema para Galileu sob duas versões. In: ABRAPEC (Ed.). **VII ENPEC**. Florianópolis, 2009. Disponível em: <http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viienpec/pdfs/1428.pdf>. Acesso em: 09 de março de 2019.

GULACAR, O.; EILKS, I.; BOWMAN, C. R. Differences in General Cognitive Abilities and Domain-Specific Skills of Higher- and Lower-Achieving Students in Stoichiometry. **Journal of Chemical Education**, v. 91, n. 7, p. 961 – 968, julho 2014. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed400894b>. Acesso em: 14 de junho de 2017. <https://doi.org/10.1021/ed400894b>

GULACAR, O.; FYNEWEVER, H. A Research Methodology for Studying What Makes Some Problems Difficult to Solve. **International Journal of Science Education**, v. 32, n. 16, p. 2167 – 2184, 2010. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500690903358335>. Acesso em: 21 de maio de 2017. <https://doi.org/10.1080/09500690903358335>

GULACAR, O. et al. A novel code system for revealing sources of students' difficulties with stoichiometry. **Chemistry Education Research and Practice**, RSC Publishing, v. 14, n. 4, p. 507 – 515, julho 2013. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2013/rp/c3rp00029j#ldivAbstract>. Acesso em: 13 de junho de 2017. <https://doi.org/10.1039/C3RP00029J>

HAIM, L. et al. Learning stoichiometry with hamburger sandwiches. **Journal of Chemical Education**, v. 80, n. 9, p. 1021 – 1022, setembro 2003. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed080p1021>. Acesso em: 14 de junho de 2017. <https://doi.org/10.1021/ed080p1021>

HARSHMAN, J.; YEZIERSKI, E. Characterizing high school chemistry teachers' use of assessment data via latent class analysis. **Chemistry Education Research and Practice**, RSC Publishing, v. 17, n. 2, p. 296 – 308, 2016. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/rp/c5rp00215j#ldivAbstract>. Acesso em: 15 de junho de 2017. <https://doi.org/10.1039/C5RP00215J>

HUDDLE, P. A.; PILLAY, A. E. An in-depth study of misconceptions in stoichiometry and chemical equilibrium at a South African University. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 33, n. 1, p. 65 – 77, 1996. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/%28SICI%291098-2736%28199601%2933%3A1%3C65%3A%3AAID-TEA4%3E3.0.CO%3B2-N>. Acesso em: 19 de maio de 2017.

IMBERNÓN, F. **Formação Continuada de Professores**. 1. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

JENSKE, G. **A Teoria de Gérard Vergnaud como aporte para a superação da defasagem de aprendizagem de conteúdos básicos da matemática**: um estudo de caso. 2011. 86 p. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e Matemática) — Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/3412>. Acesso em: 20 de janeiro de 2019.

KAVALEK, D. S. et al. Filosofia e História da Química para educadores em Química. **História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces**, v. 12, p. 1 – 13, 2015. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/hcensino/article/download/21917/17938>. Acesso em: 02 de junho de 2017.

KRASILCHIK, M. **Prática de ensino de biologia**. São Paulo: EDUSP, 2004.

LAMBACH, M.; MARQUES, C. A. O Conceito de Substância: uma construção histórica a partir de diferentes Estilos de Pensamento. In: ABRAPEC (Ed.). **VIII ENPEC**. Campinas, 2011. Disponível em: <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R0972-1.pdf>. Acesso em: 17 de junho de 2017.

LAVOISIER, A. L. A Lei de Lavoisier. 1785.

LAVOISIER, A. L. **Tratado Elementar de Química**: Tradução de Laís dos Santos Pinto Trindade. São Paulo: Madras, 2007.

LEHENBAUER, S.; SCHEIBEL, M. F. (org.). **Reflexões sobre a educação de jovens e adultos – EJA**. Porto Alegre: Pallotti, 2006.

LIBÂNEO, J. C. **O essencial da Didática e o trabalho do professor**: em busca de novos caminhos. Goiânia: [s.n.], 2001.

LIBÂNEO, J. C. **Organização e gestão da escola**: teoria e prática. Goiânia: Alternativa, 2004.

LIRA, M. B.; RECENA, M. C. P. Avaliação das possibilidades de uso de vídeos digitais didáticos de experimentos para o ensino de estequiometria. In: UNB, S. . (Ed.). **XV ENEQ**. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.sbgq.org.br/eneq/xv/resumos/R1131-1.pdf>. Acesso em: 19 de junho de 2017.

LOBATO, C. de B. **Misturas e combinações químicas dos gases**: estudos e explicações atômicas de John Dalton (1766-1844). 2007. 113 p. Dissertação (Programa de Estudos Pós-Graduados em História da Ciência) — PUC-SP. Disponível em: <https://tede2.pucsp.br/handle/handle/13367>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2017.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação**: abordagens qualitativas.

São Paulo: EPU, 1986.

MALDANER, O. A. **A formação inicial e continuada de professores de química**. Ijuí: Unijuí, 2000. 424 p. (Coleção Educação em Química).

MARQUES, M. O. A reconstrução dos cursos de formação do profissional da educação. **Em aberto**, Brasília, v. 12, n. 54, p. 43 – 50, abr/jun 1992. Disponível em: <http://emaberto.inep.gov.br/index.php/emaberto/article/view/1844/1815>. Acesso em: 18 de maio de 2017.

MARTINEZ, M. S.; LONGHI, A. L. D. Identificación y categorización de dificultades de lectocomprensión en enunciados de problemas de lápiz y papel de estequiometría. **Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación De Las Ciencias**, v. 10, n. 2, p. 159 – 170, Fevereiro 2013. Disponível em: <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2830>. Acesso em: 21 de junho de 2017.  
[https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2013.v10.i2.02](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2013.v10.i2.02)

MARTINS, R. de A. A história das ciências e seus usos na educação. In: MARTINS, R. de A. (Ed.). **Estudos de História e Filosofia das ciências**. São Paulo: Livraria da Física, 2006. cap. Introdução.

MARTORANO, S. A. de A.; MARCONDES, M. E. R. Investigando as ideias e dificuldades dos professores de química do ensino médio na abordagem da história da química. **História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces**, v. 6, p. 16 – 31, 2012. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/hcensino/article/viewFile/11463/9437>. Acesso em: 03 de junho de 2017.

MIGLIATO FILHO, J. R.; FERREIRA, L. H. **Utilização de Modelos Moleculares no Ensino de Estequiometria para alunos do Ensino Médio**. 2005. 130 p. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Química) — Universidade Federal de São Carlos. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/6616/DissJRMF.pdf?sequence=1>. Acesso em: 23 de junho de 2017.

MIZUKAMI, M. das G. N. et al. **Escola e a aprendizagem da docência**: processos de investigação e formação. São Carlos: EdUFSCar, 2002.

MOREIRA, M. A. A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o Ensino de Ciências e a Pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 1, p. 7 – 29, 2002. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/569/361>. Acesso em: 03 de agosto de 2017.

MORETTI, G. The “extent of reaction”: a powerful concept to study chemical transformations at the first-year general chemistry courses. **Foundations of Chemistry**, Springer Netherlands, v. 17, n. 2, p. 107 – 115, julho 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10698-014-9212-x>. Acesso em: 02 de julho de 2017.  
<https://doi.org/10.1007/s10698-014-9212-x>

NEGRÓN, A. C. V.; GIL, P. E. G. Em busca de alternativas para facilitar la enseñanza – aprendizagem de la estequiometria. **Revista En Blanco & Negro**, v. 1, n. 1, p. 1 – 8, 2010. ISSN 2221-8874. Disponível em:

<http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/enblancoynegro/article/view/2186/2117>  
. Acesso em: 04 de julho de 2017.

OKI, M. da C. M.; MORADILLO, E. F. de. O ensino da história da química: contribuindo para a compreensão da natureza da ciência. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 14, n. 1, p. 67 – 88, 2008. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1516-73132008000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1516-73132008000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=pt). Acesso em: 02 de junho de 2017.

<https://doi.org/10.1590/S1516-73132008000100005>

OSORIO, V. K. L. Determinação Permanganométrica de Sulfóxidos: Mais uma Armadilha no Uso de Normalidades. **Química Nova**, v. 15, n. 1, 1992. Disponível em: [http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol15No1\\_99\\_v15\\_n1\\_%2816%29.pdf](http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol15No1_99_v15_n1_%2816%29.pdf). Acesso em: 22 de fevereiro de 2017.

PIETROCOLA, M.; BROCKINGTON, G. Serão as regras da Transposição Didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 3, p. 387 – 404, 2005. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/512/309>. Acesso em: 18 de abril de 2017.

PRIMO, J. de O.; PRICINOTTO, G. Adoçando as oficinas temáticas: da dificuldade em estequiometria à confecção de alfajores. In: SBQ (Ed.). **XVIII ENEQ**. Florianópolis, 2016. Disponível em: <http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R2152-2.pdf>. Acesso em: 18 de junho de 2017.

RAVILOLO, A.; LERZO, G. Enseñanza de la estequiometría: uso de analogías y comprensión conceptual. **Educación Química**, v. 27, n. 3, p. 195 – 204, julho 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187893X16300040#>. Acesso em: 25 de junho de 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.eq.2016.04.003>

ROGADO, J. A grandeza quantidade de matéria e sua unidade, o mol: algumas considerações sobre dificuldades de ensino e aprendizagem. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 10, n. 1, p. 63 – 73, 2004. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-73132004000100005&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-73132004000100005&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 22 de maio de 2017.

<https://doi.org/10.1590/S1516-73132004000100005>

ROSA, M. I. de Freitas Petrucci dos S.; SCHNETZLER, R. P. A Investigação-Ação na Formação Continuada de Professores de Ciências. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 9, n. 1, p. 27 – 39, 2003. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-73132003000100003&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-73132003000100003&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 27 de junho de 2017.

<https://doi.org/10.1590/S1516-73132003000100003>

SÁ, C. S. da S.; SANTOS, W. L. P. Motivação para a carreira docente e construção de identidades: o papel dos pesquisadores em ensino de Química. **Química Nova**, v. 39, n. 1, p. 104 – 111, 2016. Disponível em: <http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/v39n1a15.pdf>. Acesso em: 21 de janeiro de 2019.

SANTANA, E.; ALVES, A. A.; NUNES, C. B. A Teoria dos Campos Conceituais num Processo de Formação Continuada de Professores. *Bolema*, Rio Claro, v. 29, n. 53, p.

1162 – 1180, dezembro 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/bolema/v29n53/1980-4415-bolema-29-53-1162.pdf>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2019.

<https://doi.org/10.1590/1980-4415v29n53a18>

SANTOS, L. C. dos. **Dificuldades de aprendizagem em estequiometria**: uma proposta de ensino apoiada na modelagem. 2013. 153 p. Dissertação (Pós-graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: [https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/16103/1/LiviaCS\\_DISSERT.pdf](https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/16103/1/LiviaCS_DISSERT.pdf). Acesso em: 25 de maio de 2017.

SCHMIDT, H. Stoichiometry Problem Solving in High School Chemistry. **International Journal of Science Education**, v. 16, n. 2, p. 191 – 200, Janeiro 1992. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0950069940160207>. Acesso em: 27 de junho de 2017.

<https://doi.org/10.1080/0950069940160207>

SCHMIDT, H. Stoichiometric problem solving in high school chemistry. **International Journal of Science Education**, v. 16, n. 2, p. 191 – 200, 1994. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0950069940160207>. Acesso em: 20 de junho de 2017.

<https://doi.org/10.1080/0950069940160207>

SCHMIDT, H. An alternate path to stoichiometric problem solving. **Research in Science Education**, Springer Nature, v. 27, n. 2, p. 237 – 249, junho 1997. ISSN 1573-1898. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02461319>. Acesso em: 14 de junho de 2017.

<https://doi.org/10.1007/BF02461319>

SCHÖN, D. A. **The Reflective Practitioner**: How Professionals Think In Action. San Francisco: Basic Books, 1983. 374 p.

SCHÖN, D. A. **Educating the Reflective Practitioner**: Toward a New Design for Teaching and Learning in the Professions. 1. ed. San Francisco: Jossey-Bass, 1987. 376 p.

TAASOOBSHIRAZI, G.; GLYNN, S. M. College students solving chemistry problems: A theoretical model of expertise. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 46, n. 10, p. 1070 – 1089, dezembro 2009. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/tea.20301>. Acesso em: 14 de junho de 2017.

<https://doi.org/10.1002/tea.20301>

TARDIF, M. (ed.). **Saberes Docentes e Formação Profissional**. 11. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2010. 325 p.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez, 2004.

TÓTH, Z.; SEBESTYÉN, A. Relationship between students' knowledge structure and problem-solving strategy in stoichiometric problems based on the chemical equation. **Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education**, v. 1, n. 1, p. 8 – 20, 2009. Disponível em: <http://www.acarindex.com/dosyalar/makale/acarindex-1423880515.pdf>. Acesso em: 16 de junho de 2017.



TRINDADE, L. D. S. P.; BELTRAN, M. H. R.; SAITO, F. **História da Ciência para formação de professores**. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

TRISTÃO, J. C.; FREITAS-SILVA, G. D.; JUSTI, R. da S. Estequiometria: Investigações em uma Sala de Aula Prática. In: SBQ (Ed.). **XIV ENEQ**. 2008. Disponível em: <http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/eneq2008/resumos/R0798-2.pdf>. Acesso em: 08 de junho de 2017.

VANNATTA, M. W.; RICHARDS-BABB, M.; SWEENEY, R. J. Oxalate synthesis and pyrolysis: a colorful Introduction to stoichiometry. **Journal of Chemical Education**, v. 87, n. 11, p. 1225 – 1229, Agosto 2010. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed1002702>. Acesso em: 20 de junho de 2017.  
<https://doi.org/10.1021/ed1002702>

VERGNAUD, G. La théorie des champs conceptuels. **Recherches em Didactique des Mathématiques**, Grenoble, v. 10, n. 23, p. 133 – 170, 1990. Disponível em: <http://rdm.penseesauvage.com/La-theorie-des-champs-conceptuels.html>. Acesso em: 04 de agosto de 2017.

VERGNAUD, G. A comprehensive theory of representation for Mathematics Education. **The Journal of Mathematical Behavior**, v. 17, n. 2, p. 167 – 181, 1998. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0364021399800573>. Acesso em: 29 de setembro de 2017.  
[https://doi.org/10.1016/S0364-0213\(99\)80057-3](https://doi.org/10.1016/S0364-0213(99)80057-3)

VERONEZ, K. N. da S.; PIAZZA, M. C. R. Estudo sobre as dificuldades de alunos do ensino médio com estequiometria. In: ABRAPEC (Ed.). **VI ENPEC**. Florianópolis, 2007. Disponível em: <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/vienpec/CR2/p884.pdf>. Acesso em: 22 de junho de 2017.

VIANA, H. E. B. **A Construção da Teoria Atômica de Dalton como Estudo de Caso - e Algumas Reflexões para o Ensino de Química**. 2007. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) — Universidade de São Paulo. Disponível em: [http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos\\_teses/2011/quimica/dissertacoes/const\\_teorica\\_at\\_dalton\\_dissert.pdf](http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/2011/quimica/dissertacoes/const_teorica_at_dalton_dissert.pdf). Acesso em: 02 de fevereiro de 2017.

ZEICHNER, K. M. **A Formação Reflexiva de Professores**: idéias e Práticas. Lisboa: Educa, 1993.

ZEICHNER, K. M.; DINIZ-PEREIRA, J. E. **Pesquisa dos educadores e formação docente voltada para a transformação social**. São Paulo: Cadernos de Pesquisa, 2005.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-15742005000200005>

## **Apêndices**

**APÊNDICE 1**

Questionário dirigido aos Professores de Química para viabilização de formações continuadas

1- Qual o seu nível de escolaridade?

( ) Ens. Médio completo

( ) Especialização

( ) Ens. Superior incompleto

( ) Mestrado

( ) Ens. Superior completo

( ) Doutorado

2- Qual sua formação inicial?

3- Qual(is) ano(s)/série(s) você ministra aulas atualmente?

4- Gosta de participar de cursos de formação continuada?

5- Com qual frequência participa de cursos de formação continuada?

( ) Sempre que posso

( ) Quase sempre

( ) Às vezes

( )

Nunca

6- Que tipo de curso interessa a você, dentro de sua área de formação?

7- Qual sua disponibilidade de horários/períodos para participar de cursos de formação continuada?

8- Domina as mídias e as novas tecnologias?

9- Realiza aula prática com os alunos? Se não, por quê?

10- Como seria o curso que te ajudaria, realmente, a melhorar sua prática docente?

11- Você já ouviu falar ou leu algo sobre Oficinas Temáticas no ensino e Situações de Estudo?



## APÊNDICE 2

### Questões da Entrevista Semiestruturada realizada com professores de Química

- 1) 1) Qual a sua formação?
- 2) Quando você iniciou seus estudos já pensava em ser professor, ou pensava em atuar em outras áreas?
- 3) Em quantas escolas você trabalha atualmente?
- 4) Qual sua carga horária semanal?
- 5) Há quanto tempo você trabalha como docente?
- 6) Em quais séries ministra aulas?
- 7) Você gosta de trabalhar com o Ensino Médio? É sua faixa etária preferida?
- 8) Você considera que foi bem preparado na sua formação inicial?
- 9) Possui especialização?
- 10) Na sua concepção o que que é formação continuada?
- 11) Com que frequência você participa de cursos de formação continuada?
- 12) Qual o tipo de formação continuada (assunto, modalidade, tema) atenderia às suas necessidades, atualmente?
- 13) Em relação a conteúdos mesmo de química quais você acha que os alunos têm mais dificuldade em compreender?

## APÊNDICE 3

### Produto Educacional

## **Anexos**

## ANEXO 1

### **DINÂMICA - A HISTÓRIA DA CASA**

Você se candidatou ao emprego anunciado por uma grande empresa de imóveis valiosos.

Hoje é seu primeiro dia no trabalho e seu gestor lhe destacou para vistoriar uma casa. Este lhe entrega os dados e você sai da empresa em seguida, para realizar a tarefa proposta.

A caminho do imóvel você observa o bairro em que este se encontra, as pessoas que circulam e a rua em que de fato se encontra a casa.

Quando desce do carro, um casal se aproxima e comenta com você que a casa se encontra fechada por muito tempo e que as pessoas têm certo medo de entrar nela, até mesmo de morar.

Como você precisa muito trabalhar. . . agradece cordialmente pela observação e resolve entrar.

Ao abrir o portão, você observa atentamente o jardim da entrada, a fachada da casa e se dirige com receio, mas com certa firmeza, para abrir a porta de entrada. Observa a situação da porta e consegue abrir.

Ao adentrar, cerra a porta, observa a enorme sala com piso às vezes rangendo enquanto pisa suavemente, o embaçamento deste devido à poeira e alguns móveis cobertos por lençóis.

Em seguida, sentindo toda a atmosfera da casa, inclusive as frestas que permitem alguma luminosidade entrar, se dirige para enorme e imponente escada esquecida pelo tempo. Inicia sua subida para parte superior da casa. Entra em um quarto, busca na parede o interruptor de luz, mas esta encontra-se sem energia. Abre a enorme janela que lhe permite ver parte do interior do piso superior da casa e lá fora o jardim dos fundos e um belo sol no horizonte.

Você para por alguns minutos e começa a usar seus demais sentidos para de fato viver esta experiência que de certa forma lhe causa ansiedade e medo. Sente algumas reações corporais. . . sensações que há muito não sentia.

Fecha a janela, e em seguida sem ao menos olhar os demais cômodos, desce com cuidado pela escada e se dirige diretamente para cozinha sem também visitar os demais cômodos.

Na cozinha abre as janelas novamente e começa a pensar sobre as inúmeras possibilidades para esta casa, para seu relatório que irá entregar para seu gestor e sua postura mediante ao trabalho designado por ele.

Após um pequeno tempo, fecha as janelas e portas, e se retira do local.

Entra no carro, e percebe os vizinhos com olhos desconfiados para você. Estes assistiam como estátuas sua visita à velha casa da rua.

Durante o retorno para empresa você reflete sobre suas atribuições para com este cargo e também como você se encontra para desempenhar a função que apesar de já ter sido delineada, você percebe que pode ir mais além.

Chegando na empresa você, vai até sua mesa e inicia seu relatório.

## ANEXO 2

### AULA PRÁTICA

### DETERMINAÇÃO DO GRAU DE PUREZA DA SODA CÁUSTICA COMERCIAL- TITULOMETRIA

**Tema:** Introdução ao trabalho experimental.

**Objetivos:**

- Executar corretamente a operação de titulação.
- Discutir sobre o cálculo e validade da normalidade.

**Introdução:**

**a) Titulometria**

Análise volumétrica ou volumetria: processo de análise quantitativa, que determina a concentração de uma solução através de um volume de solução de concentração conhecida.

Equação fundamental da titulometria:  $N_1 \cdot V_1 = N_2 \cdot V_2$

Titulação: processo que determina, em laboratório, a normalidade desconhecida de uma solução.

Ponto de equivalência: determina o final de uma reação

Indicadores: substâncias que indicam o ponto final (equivalência) de uma reação através da mudança de coloração.

Tipos de Volumetria:

a.) Volumetria de neutralização

Acidimetria: é a determinação da concentração de um ácido através de uma base de concentração conhecida.

Alcalimetria: é a determinação da concentração de uma base através de um ácido de concentração conhecida.

**Material**

- 1 bureta de 25 mL
- 1 pipeta volumétrica de 10mL
- 1 erlenmeyer de 250mL
- 2 béqueres de 100 mL
- 1 funil de vidro
- 1 suporte para garra
- Solução de soda cáustica comercial (C= 4,0 g/L)
- Solução de HCl 0,1N
- Indicador metilorange
- Pêra de borracha

**Procedimento**

- a.) Com o auxílio de um béquer, apanhar 40mL de Cl 0,1N e com o auxílio de um funil, transferir para a bureta.
- b.) Observar se não há bolhas de ar na bureta, e zerar
- c.) Em dois erlenmeyers, pipetar em cada um 10ml de solução de soda cáustica a ser titulada
- d.) Adicionar em cada erlenmeyer 1 gota de indicador metilorange e aproximadamente 50 mL de água destilada (escorrendo pelas paredes)
- e.) Iniciar a titulação: com a mão esquerda, abrir a torneira da bureta, e com a mão direita, segurar o erlenmeyer, agitando continuamente.
- f.) Fechar a torneira da bureta, no instante em que ocorrer a mudança de coloração do indicador, do amarelo para o rosa (ponto de viragem)
- g.) Fazer a leitura na bureta do volume gasto de HCl, e anotar.
- h.) Repetir a titulação com o segundo erlenmeyer e anotar o volume gasto de HCl. Comparar os volumes gastos de HCl.
- i.) Fazer os cálculos para determinar a % de NaOH na solução.

**Questionário**

- 1) Calcular a normalidade da solução de soda cáustica, utilizando a equação fundamental da volumetria.

- 2) Calcular a massa correspondente de NaOH da solução de soda cáustica titulada, utilizando a fórmula da normalidade.
- 3) Calcular a % de NaOH na solução utilizada.
- 4) Qual o teor de pureza do NaOH?
- 5) Escreva a equação que representa a reação que ocorre no erlenmeyer, durante a titulação.
- 6) O que é alcalimetria?
- 7) Qual a razão de escorrermos gota a gota o HCl no erlenmeyer?
- 8) Por que o cálculo da normalidade não é abordado no Ensino Médio, e em muitos cursos de formação de professores?

### **Bibliografia**

- **Práticas de Química II**, Ministério da Educação e do Desporto, CEFET/PR, Curitiba, 1992.

# Estequiometria para além da regra de três



Ana Flávia dos Santos



**Ana Flávia dos Santos**

# **Estequiometria para além da regra de três**

Produto educacional da dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Orientadora: Prof. Dra. Débora Coimbra  
Coorientador: Prof. Dr. Deividi Márcio Marques



## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	6
CAPITULO 1 – Lavoisier e a Lei de Conservação da Massa.....	7
CAPÍTULO 2 – Richter, o pai da Estequiometria.....	22
CAPÍTULO 3 – Proust e sua Lei das Proporções Definidas.....	31
CAPÍTULO 4 – Dalton e suas contribuições para as Leis Ponderais.....	47
CAPÍTULO 5 – Avogadro, a conciliação da teoria atômica de Dalton e o trabalho de Gay Lussac com os gases.....	52
REFERÊNCIAS .....	65

## APRESENTAÇÃO

*Quando comecei a fazer, pela primeira vez, um curso de Química, fiquei surpreso ao ver quanta obscuridade cercava a abordagem desta ciência, muito embora o professor que eu escolhera passasse a ser o mais claro, o mais acessível aos principiantes, e ele tomasse infinitos cuidados para se fazer entender. (LAVOISIER apud CHASSOT, 1993, p.21)*

Este trecho, no qual Chassot cita Lavoisier, permite ao leitor uma noção de que, desde a gênese da Química, as pessoas encontram dificuldades em compreender e interpretar as transformações e os fenômenos que as envolvem. Muitas dificuldades persistem até os dias atuais, e mesmo com tantos avanços, ainda há muito a se descobrir e entender.

**Estequiometria para além da regra de três** é uma proposta que tem por objetivo facilitar o ensino da estequiometria usando como motivação um contexto histórico, que mostra o surgimento e evolução das famosas “Leis Ponderais”, e apresenta ao professor exemplos de situações de aprendizagem que auxiliam no desenvolvimento da aula. Essas situações envolvem experimentos e atividades planejadas de forma a favorecer aos alunos o exercício de observar, indagar, avaliar dados, exercitar o raciocínio e a argumentação, dentre outras habilidades.

Os cálculos estequiométricos são uma das ferramentas mais utilizadas para a compreensão dos fenômenos químicos desde o século XVII, com as ideias de Gassendi e Boyle, que evidenciam como a matematização da natureza torna possível a interpretação inteligível dos fenômenos por meio de suas proporções harmoniosas, expressas em números.

Professor, neste material você vai vivenciar o contexto histórico em que surgiram as leis que regem a estequiometria de forma inédita, percebendo a existência de um modelo de ciência no qual os cientistas interagiam, discutiam e pensavam juntos. Dessa forma, você terá aqui um suporte para trabalhar a parte histórica, bem como situações de aprendizagem inspiradas na teoria da aprendizagem de Vergnaud, a famosa Teoria dos Campos Conceituais, que poderão ser utilizadas em suas aulas.

A Teoria dos Campos Conceituais pressupõe que o conhecimento está organizado em campos conceituais, adquiridos pelo sujeito ao longo do tempo, por meio da experiência, maturidade e aprendizagem. Tais campos conceituais constituem recortes do mundo físico associados a componentes culturais, podendo ser definidos como “um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição” (VERGNAUD, 1998).

No século XVIII, os estudos de Lavoisier contribuíram decisivamente para a quantificação e sistematização dos processos químicos. Em 1797, Proust defendia ideias que culminaram na proposta de Richter da “Lei das proporções equivalentes”. No início de 1808, Thomson divulgou seu trabalho sobre reações de neutralização totais e parciais, que concordavam com a lei das proporções múltiplas de Dalton. Essas leis ponderais demonstraram claramente o poder explicativo da teoria atômica de Dalton.

Representamos na Figura 1 os cientistas e suas respectivas leis, as quais contribuíram para o desenvolvimento e disseminação do conceito de estequiometria.

Figura 1: Representação cronológica das publicações e seus respectivos autores.



Fonte: Elaboração da autora

Para melhor apresentar o conteúdo, este material está organizado nas seguintes seções:

**Feitos científicos**, apresenta a biografia e principais obras do cientista, referentes ao desenvolvimento da estequiometria.

**Situação de Aprendizagem**, com atividades elaboradas e adaptadas, voltadas ao desenvolvimento conceitual, e que requerem a evocação de habilidades e competências variadas. Nesta seção você encontrará situações práticas e teóricas que mobilizam o raciocínio do aluno.

**PARA SABER MAIS**, é um tópico que aparece em alguns capítulos, com curiosidades e dicas para que você instigue o seu aluno na busca de mais conhecimentos.

**Guia para a atividade**, com instruções para aplicação das atividades e as regras de ação que devem ser seguidas para a resolução das mesmas.



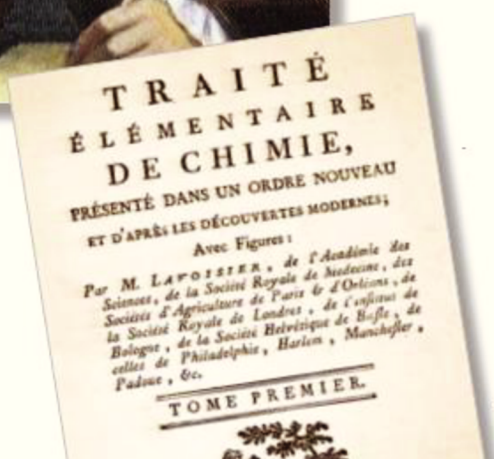
Esse tópico resgata os principais pontos do capítulo, resumindo as contribuições dos cientistas para a Estequiometria e esclarecendo as expectativas das Situações de Aprendizagem.

# CAPITULO 1 – Lavoisier e a Lei de Conservação da Massa

# Feitos científicos

## Antoine Laurent de Lavoisier

O francês Antoine Lavoisier, nasceu no dia 26 de agosto de 1743, filho de Jean Antoine, procurador no Parlamento de Paris, e Emilie Punctis, filha de um juiz do



Parlamento, que faleceu quando Lavoisier tinha apenas 5 anos. Durante sua infância e adolescência, ele e a irmã viveram cercados pelos carinhos e cuidados de sua tia materna Constance e da avó Mme. Punctis.

Estudou no College Mazarin e, em 1764, licenciou-se em Direito, parecia estar seguindo os passos de seu pai, seu sucesso como advogado estava crescendo. O problema era que ele amava a Ciência mais do que a lei, assim, decidiu dedicar sua vida à ela, entregando-se a cursos de professores renomados, entre os quais o químico Guillaume François Rouelle (1703-1770), e Etienne Bonnot de Marly de

Condillac 1715-1780), com o qual Lavoisier aprendeu os princípios de lógica que embasaram a construção do seu tratado.

Aos vinte anos, iniciou sua primeira pesquisa, que consistia em registrar as leituras do barômetro três ou quatro vezes ao dia, talvez porque na época houvesse a necessidade de descobrir o motivo pelo qual a pressão atmosférica mudava de acordo com



a altitude e influenciava o clima, e o barômetro era o aparelho mais indicado e preciso. O químico Dalton iniciou sua carreira científica da mesma maneira. Lavoisier continuou a registrar a pressão barométrica de Paris e até mesmo de outras províncias durante toda a sua vida. O fascínio pela meteorologia e os estudos de fenômenos climáticos levou-o a estabelecer algumas relações para prever o tempo ainda na década de 1760. Infelizmente, ele morreu antes que pudesse reunir todos os seus registros e submetê-los a uma análise crítica, caso contrário, o mundo poderia ter aprendido sobre anticiclones e depressões secundárias setenta anos antes.

Em 1768, o nome de Lavoisier é proposto pelos membros da Academia para ocupar um posto deixado disponível com a morte do químico Baron, entretanto o escolhido pelo rei foi o mineralogista Gabriel Jars. Acatando a vontade dos acadêmicos, criou, excepcionalmente, um posto de acadêmico adjunto para Lavoisier até que surgisse outra vaga. Era uma grande honra para alguém tão jovem como Lavoisier, pois os candidatos, geralmente, eram homens maduros, com um passado científico valioso ou que tivessem contribuído para o bem do Estado com uma obra prática.

No mesmo ano, em março de 1768, Lavoisier passa a fazer parte da Ferme Générale<sup>1</sup>, também na qualidade de adjunto. Nesse período, o Estado concedia a uma companhia privada, os Fermiers Généraux, a arrecadação dos impostos indiretos em troca de uma soma fixa que deveria ser repassada ao governo. As transações entre a empresa e a Coroa estavam nas melhores linhas financeiras modernas à época, e eram convenientes para o governo, pois além de garantir uma receita regular, isentavam-no da responsabilidade e do ódio da arrecadação de impostos. Dessa forma, os fazendeiros<sup>2</sup> fizeram fortunas principescas e o povo pagou.

Lavoisier, ao entrar para a Ferme Générale, não colocou uma quantia em dinheiro que lhe desse direito para adesão plena e um rendimento desse fim. Ele comprou um terço de ação de um fazendeiro idoso, Baudon, que tinha setenta anos e pensava em se aposentar. Essa aquisição lhe custou 520.000 libras, Lavoisier dispunha de 340.000 libras, a maior parte da fortuna deixada por sua mãe, e seu pai lhe emprestou o restante.

---

<sup>1</sup>A *Ferme Générale* foi uma instituição terceirizada de operação alfandegária que, por meio de um sistema altamente impopular, controlava a cobrança de impostos especiais de consumo e impostos indiretos. Os *fermiers généraux*, como eram chamados os administradores tributários, coletavam taxas em nome do rei (mais taxas de bônus para si), sob contratos renováveis de seis anos.

<sup>2</sup>A palavra inglesa "fazendeiro" no sentido de "produtor agrícola" é derivada da palavra francesa *fermier* que significa "arrendatário" (de um negócio agrícola ou qualquer outra coisa). Inicialmente, a palavra "fazendeiro" designava na Inglaterra apenas os produtores agrícolas que não eram os proprietários das terras que cultivavam. Posteriormente, "agricultor" tornou-se o termo genérico de todos os empresários agrícolas, independentemente de possuírem ou não o solo cultivado.

Nos seis anos seguintes ao contrato, ele foi capaz de avançar sua parte para metade da ação e, em 1779, com a morte de Baudon, ele passou a ter uma participação completa no rendimento da empresa.

A essa altura, Lavoisier já havia formado uma família com Marie-Anne Pierrette Paulze (figura 1). Ela era filha de outro membro da empresa de coleta de impostos onde Lavoisier trabalhava, e tinha apenas 13 anos quando se casaram em 1771. Logo após o casamento, Marie Anne começou a se interessar pelo trabalho do marido, o que a levou a estudar química e habilidades de laboratório, instruída por Jean Baptiste Bucquet, colaborador e seguidor de Lavoisier. Marie Anne também dominava outras línguas, conhecia muito bem o latim e o inglês, o que lhe permitiu traduzir muitos trabalhos químicos ingleses para o francês, contribuindo para que Lavoisier e os seus colegas estudassem os trabalhos de cientistas ingleses. Na época, algumas pessoas achavam que ele estava roubando as ideias dos trabalhos que lia, porém isso o ajudou a aprender coisas novas, a reproduzir experimentos. Ler o trabalho de outros cientistas tornou-se um novo padrão, e hoje é uma parte importante no desenvolvimento da pesquisa científica.

**A visão de ciência, na época, tinha como essência a observação e a descrição dos fenômenos naturais e, como fim, a manipulação e transformação da natureza. Lavoisier foi pioneiro no método experimental pautado na precisão das medidas, e acreditava no progresso através do avanço da ciência.**

Marie Anne fez algumas contribuições para a química que podemos atribuir diretamente a ela. Uma de suas contribuições mais notáveis aparece no “Tratado Elementar de Química” de Lavoisier. Toda a instrumentação laboratorial e equipamentos utilizados por Lavoisier para o Tratado Elementar de Química foram desenhados por Marie Anne e evidenciam sua atenção rigorosa aos detalhes. Madame Lavoisier criou muitos esboços e desenhos de instrumentação e experimentos que ocorreram no laboratório. Seus esboços estão entre os melhores da época e são úteis na datação de equipamentos e técnicas de laboratório. Outra contribuição importante de Marie Anne foi a tradução do texto "Ensaio sobre o Flogístico", de Richard Kirwan, do inglês para o francês, o que possibilitou que Lavoisier e seus colegas conseguissem refutar a Teoria do Flogístico. Vale ressaltar que mesmo após a morte de Antoine, Marie Anne editou e

publicou as memórias dele cuja introdução ela mesma escreveu, além de dar continuidade aos estudos científicos, contribuindo para o desenvolvimento das ciências.

Figura 1: Pintura de Marie Anne Paulze e Antoine Lavoisier, de Jacques Louis David, 1788.



Fonte: metmuseum.org

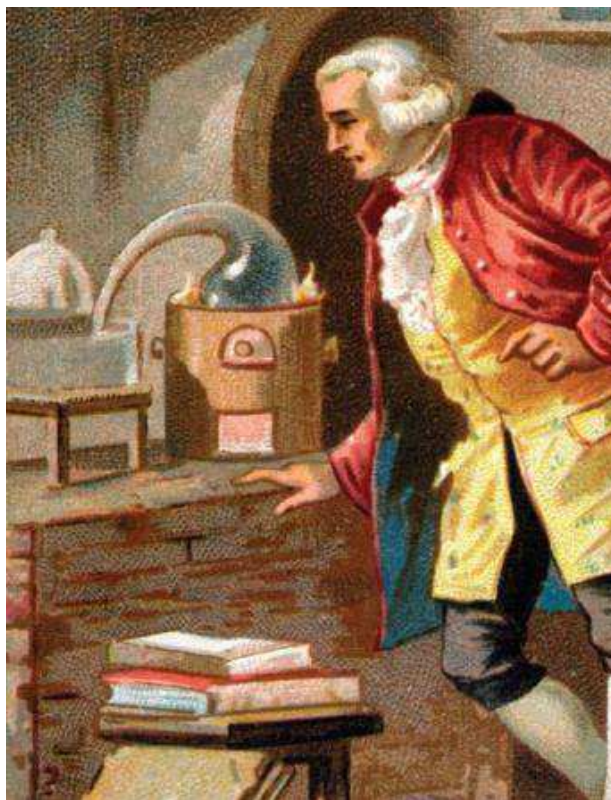
Em 1775, Lavoisier começou a trabalhar para a Comissão de Pólvora Nacional, o que lhe permitiu criar um excelente laboratório para seus experimentos. Seu laboratório e sua casa também se tornaram lugares importantes para os cientistas se reunirem. As pessoas que visitavam a casa e o laboratório de Lavoisier falavam sobre ciência e política. Lavoisier acreditava que a França precisava ser reformada e se juntou a um comitê organizado para fazer a diferença. O comitê propôs novos impostos e sugeriu mudanças para hospitais e prisões, na tentativa de facilitar a vida das pessoas, mas não adiantou, o país caminhava para a revolução.

Durante sua vida como cientista, Lavoisier se dedicou a vários trabalhos importantes, e chegou a conclusões fantásticas. Um deles, consistiu em colocar um pedaço de ferro em um recipiente hermeticamente fechado, o qual ele determinou a massa utilizando uma balança. Depois, levou o recipiente a um forno de alta temperatura e, em seguida, pesou-o novamente. Para sua surpresa, não houve alteração na massa, apesar de o metal ter-se combinado com o oxigênio do ar, formando um óxido (ferrugem). A



experiência foi repetida várias vezes, com diferentes reações, e sempre medindo a massa das substâncias a serem testadas e a massa dos resultados obtidos utilizando balanças. A conclusão foi que a massa das substâncias que entram numa reação química é sempre igual à das substâncias que resultam do processo. Ele provou que a matéria nunca é perdida ou ganha. Mesmo quando algo novo é feito, a massa permanece a mesma, isto é, a massa se conserva. Assim, ficou estabelecido o Princípio da Conservação da Massa, como ele fez isso mudou a química para sempre.

Figura 2: Lavoisier em seus experimentos sobre a Conservação das Massas.



Fonte: <https://www.gettyimages.pt/fotos/>

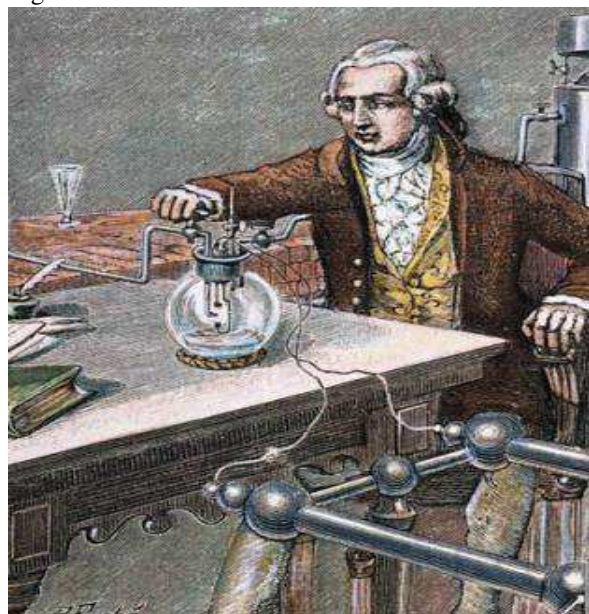
Em 1783, Lavoisier sintetizou a água. Utilizando um grande frasco, misturou oxigênio e hidrogênio e desencadeou a reação através de uma centelha elétrica. Pouco mais tarde, conseguiu realizar o processo inverso. Fez passar água muito lentamente por um cano de espingarda aquecido ao rubro e cheio de limalha de ferro. Pela ação do calor, o oxigênio da água oxidava a limalha de ferro, ficando retido no caminho, enquanto o hidrogênio escapava livre pelo outro lado.

O diferencial de Lavoisier não estava no ineditismo de suas experiências, pois muitas foram inspiradas ou mesmo diretamente reproduzidas de trabalhos publicados por outros cientistas, mas a originalidade e as conclusões que ele soube tirar nas interpretações eram geniais.

O químico inglês Joseph Priestley (1733-1804), por exemplo, era um trabalhador incansável, realizava vários experimentos em diversas direções. Seu caderno de anotações está cheio de expressões do tipo: “Mal podia eu esperar”, “qual não foi minha surpresa”, “por mero acaso tentei”, etc. Priestley isolou o oxigênio antes de Lavoisier e comunicou-lhe pessoalmente a descoberta numa visita a Paris, acreditando ter descoberto “ar desflogistificado”. Lavoisier reproduziu o experimento e realizou outros concluindo

acertadamente que se tratava do oxigênio. De modo semelhante, Lord Cavendish, dono de uma imensa riqueza, passava a vida isolado no laboratório. Ele realizou a síntese da água, numa experiência feita diante de seu auxiliar, Blagden, que logo contou a novidade a Lavoisier. Cavendish, entretanto, nunca chegou à interpretação adequada, ele acreditava que o hidrogênio era “puro flogisto” devido à sua grande capacidade de combustão.

Figura 3: Lavoisier em seu laboratório



Fonte: <https://www.sciencephoto.com>

Um dos primeiros cientistas franceses a aderir às novas ideias de Lavoisier foi Louis Berthollet, que havia descoberto a possibilidade de produzir explosivos a partir do clorato de potássio. Não demorou muito, vieram se juntar a ele Antoine de Fourcroy, conferencista e escritor brilhante, e Guyton de Morveau, considerado, até então, o maior químico da França. Os quatro se reuniam no Arsenal de Paris, fábrica e depósito de pólvora, cujo responsável, desde 1775, era Lavoisier.

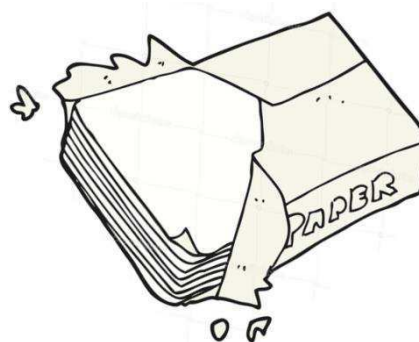
Ao longo de oito meses, Lavoisier, Berthollet, Fourcroy e De Morveau trabalharam juntos numa nomenclatura química de acordo com os conhecimentos aos quais tinham acesso. Foi então que surgiram os nomes oxigênio e hidrogênio e as grandes categorias que permanecem até hoje, como óxidos, sulfatos, ácidos, bases etc. Para esse trabalho, os cientistas tomaram como exemplo os conceitos de classes e espécies que eram usados na nomenclatura botânica desde a metade do século XVIII.

O ano de 1789 foi um marco na vida de Lavoisier, tanto para sua glória quanto para sua desgraça. Foi o ano em que ele lançou seu Tratado Elementar de Química, uma das maiores revoluções científicas de todos os tempos, e também o ano em que os franceses tomaram a fortaleza da Bastilha, iniciando a Revolução Francesa.

Em novembro de 1793, a Convenção decretou a prisão de todos os “Fermers”, e Lavoisier foi levado como prisioneiro. Ele foi então enviado para o Tribunal Revolucionário, e em 8 de maio de 1794, ele foi condenado e guilhotinado no mesmo dia.

## Situação de Aprendizagem

Quantos grãos de feijão há no pote? Qual a massa de uma folha de papel A4?



**Dica:** Para resolver este problema você poderá utilizar a balança que julgar adequada, e a partir daí traçar uma linha de raciocínio para encontrar as respostas.

1. Qual é a massa do pote vazio?
2. Qual é a massa de um grão de feijão? A balança que você utilizou consegue medir?
3. Experimente verificar a massa de um conjunto de 10 grãos. Qual é o valor encontrado?
4. Qual é a massa do pote com os feijões?
5. Observando as questões anteriores, diga quantos feijões há no pote. Mostre seu raciocínio.
  
6. Qual é a massa de 1 folha de papel? A balança que você utilizou consegue medir?
7. Experimente medir a massa de um conjunto de 10 folhas de papel. Qual é o valor encontrado?
8. Há diferença ao medir a massa das folhas abertas ou dobradas? Caso exista, a que pode ser atribuída essa diferença?
  
9. Com esses valores é possível calcular a massa de 1 folha? Mostre seu raciocínio.
  
10. Qual a relação entre esta atividade e o trabalho desenvolvido por Lavoisier?

## Guia para a atividade

**Para a execução desta atividade o aluno deve ser exposto à seguinte situação:**

- ❖ Devem ser apresentados aos alunos um pote de vidro cheio de grãos de feijão e algumas folhas de papel A4. Eles devem prever a quantidade de grãos de feijão no pote e a massa de 1 folha de papel utilizando para isso uma balança adequada.

**Regras de ação a serem seguidas:**

- ❖ Esvaziar o pote e pesá-lo, colocar os grãos de feijão para saber sua massa total e em seguida pesar 1 grão para saber sua massa.
- ❖ Dividir a massa total pela massa de 1 grão para estimar a quantidade de grãos presentes no pote.
- ❖ Usar o mesmo raciocínio para a folha de papel. Pesquisar certa quantidade de folhas juntas dobradas, contando-se a quantidade.
- ❖ Em seguida, dividir a massa das folhas pela quantidade para se descobrir a massa de uma unidade.

## Situação de Aprendizagem

### Que unidades de medidas são estas?

Leia a resenha do capítulo IX do livro “Tratado elementar de Química” de Lavoisier, que segue anexo (página 16), identifique e descreva as quantidades usando unidades de medidas do Sistema Internacional.

**Dica:** Para resolver este problema, observe e utilize adequadamente os seguintes dados para conversão de medidas – 1 libra = 453,6 g / 1 onça = 31,25 g / 1 grão = 0,0648 g / 1 gros = 3,9 g

1- No decorrer do capítulo IX, Lavoisier descreve várias reações ligadas a diferentes espécies de combustão. Identifique e represente cada uma por meio de uma equação.

2- Você considera o que fez fácil ou difícil? Por quê?

3- Agora, descreva as quantidades de reagentes e produtos em uma unidade de medida usual nos nossos dias.

## Guia para a atividade

**Para a execução desta atividade o aluno deve ser exposto à seguinte situação:**

- ❖ Por meio da resenha e de algumas tabelas do capítulo 9 do livro “Tratado Elementar de Química”, analise e compare, juntamente com os alunos, as grandezas físicas e unidades de medida apresentadas, destacando o ano da publicação, justificando dessa maneira as características da escrita.

**Regras de ação a serem seguidas:**

- ❖ Utilizando os fatores de conversão apresentados na “Dica”, represente as reações descritas no capítulo IX por meio de uma equação para cada uma.
- ❖ Descreva as quantidades de reagentes e produtos em uma unidade de medida usual do Sistema Internacional de Unidades (SI).



O Capítulo 1 apresenta as grandes contribuições de Lavoisier para o desenvolvimento da Estequiometria e, conseqüentemente, da Química Moderna. O seu trabalho ficou marcado pelo caráter experimental e por características como a alta precisão nos dados experimentais, sistematizando o uso da balança. Dessa forma, Lavoisier passou a definir a matéria por sua propriedade de possuir uma massa determinada e enunciou a Lei da Conservação das Massas. Em suas pesquisas mais importantes, Lavoisier dedicou-se a um conhecimento científico da natureza daqueles elementos que, desde a antiguidade, eram considerados insuscetíveis de análise científica: a terra, a água, o ar e o fogo. Assim, as Situações de Estudo propostas tiveram por objetivo explorar habilidades para que o aluno seja capaz de apropriar-se de conhecimentos da Química para, em situações-problema, interpretar, avaliar e planejar intervenções científico-tecnológicas.



## Anexo 1

## TRATADO ELEMENTAR DE QUÍMICA - Resenha Capítulo IX

Lavoisier, A. L. Tratado Elementar de Química (1789). Trad. Laís dos Santos Pinto Trindade. São Paulo: Editora Madras, 2007.

O capítulo IX do livro Tratado Elementar de Química apresenta dados de resultados experimentais realizados por Lavoisier na sua investigação da quantidade de calórico que era liberado das diferentes espécies de combustão. No decorrer do capítulo, o texto mostra claramente que foram realizadas várias tentativas para cada experimento, e que em cada uma dessas tentativas, Lavoisier registrou atentamente e precisamente as quantidades de compostos que participaram das reações das várias combustões. Observe os registros nas tabelas, e a forma como ele as apresentou.

<b>Combustão do Fósforo</b>				
	libras	onças	gros	grãos
Quantidade de fósforo queimado:	1	>>	>>	>>
Quantidade de gás oxigênio necessária para a combustão:	1	8	>>	>>
Quantidade de ácido fosfórico obtido:	2	8	>>	>>

<b>Combustão do Carvão</b>				
	libras	onças	gros	grãos
Quantidade de carvão queimado:	1	>>	>>	>>
Quantidade de gás oxigênio absorvido durante a combustão:	2	9	1	10
Quantidade de ácido carbônico formado:	3	9	1	10

<b>Combustão do Gás Hidrogênio</b>				
	libras	onças	gros	grãos
Quantidade de gás hidrogênio queimado:	1	>>	>>	>>
Quantidade de gás oxigênio empregado para a combustão:	5	10	5	24
Quantidade de água formada:	6	10	5	24

**Combustão da Vela**

Depois de ter examinado alguns casos de combustões simples, vou dar exemplos de combustões compostas; começo pela cera.

Uma libra dessa substância, queimando no aparelho para gelo, destinado a mensurar a quantidade de calórico, derrete 133 libras, 2 onças, 5 gros e 1/3 de gelo.

Ocorre que uma libra de cera, segundo as experiências que relatei, *Memória da Academia*, ano 1784, página 606, contém:

	Onças	gros	grãos	
Carvão:	13	1	23	
Hidrogênio:	2	6	49	
				Libras de gelo
As 13 onças, 1 gros e 23 grãos de carvão, segundo as experiências a seguir relatadas, devem derreter:				73,39390
As 2 onças, 6 gros e 49 grãos de hidrogênio devem derreter:				52,37605
			Total	131,76995

**Combustão do Óleo de Oliva**

Fechamos em um aparelho comum um bulbo que continha uma quantidade de óleo de oliva bem conhecido. Terminada a experiência, determinamos exatamente o peso do óleo consumido e o do gelo que tinha sido derretido; o resultado foi que 1 libra de óleo de oliva, ao queimar, pode derreter 148 libras, 14 onças e 1 gros de gelo.

Mas 1 libra de óleo de oliva, segundo as experiências que relatei, *Memórias da Academia*, ano 1784, e de que se achará um trecho no capítulo seguinte, contém:

	Onças	gros	grãos	
Carvão:	12	5	5	
Hidrogênio:	3	2	67	
				Libras de gelo
A combustão de 12 onças, 5 gros e 5 grãos de Carvão só deveria fundir:				76,18723
E a de 3 onças, 2 gros e 67 grãos de hidrogênio:				<u>62,15053</u>
			Total	138,33776
			Derreteram-se	148,88330
A liberação de calórico, portanto, formou uma quantidade equivalente a:				10,54554

**PARA SABER MAIS**

Acesse o site <https://www.sciencehistory.org/> para ter acesso à biografia e à trabalhos de Lavoisier e dos demais cientistas, e outras informações relacionadas à História da Ciência.



# CAPÍTULO 2 – Richter, o pai da Estequiometria

# Feitos científicos

## Jeremias Benjamin Richter

Jeremias Benjamin Richter, químico alemão, nasceu em Hirschberg em 10 de março de 1762. Richter se formou no Hirschberg Gymnasium e, em 1778, juntou-se ao corpo de engenharia do exército prussiano. Ele dedicou seu tempo livre a estudar química e, depois de sete anos, deixou o exército para entrar na Universidade, estudando matemática e filosofia e, provavelmente, assistiu às palestras de Immanuel Kant. Obteve o doutorado em 1789 por meio da tese “O uso da matemática na Química”, em que ele estabeleceu a determinação da gravidade específica<sup>3</sup> de várias substâncias, tanto compostos como soluções, e tentou determinar o peso do flogisto.



Richter, então, foi para Gross-Ober-Tschirna, onde estabeleceu um laboratório e se apoiou em pesquisas químicas e na fabricação de aerômetros<sup>4</sup>. No ano de 1795, tornou-se secretário e avaliador do Oberbergamt, indústria de mineração em Breslau, e, em 1798, foi a Berlim, onde se tornou químico na Royal Porcelain Works, fábrica de porcelana real. Nunca teve uma posição acadêmica, nunca se casou e morreu de tuberculose aos quarenta e cinco anos, em 4 de abril de 1807.

---

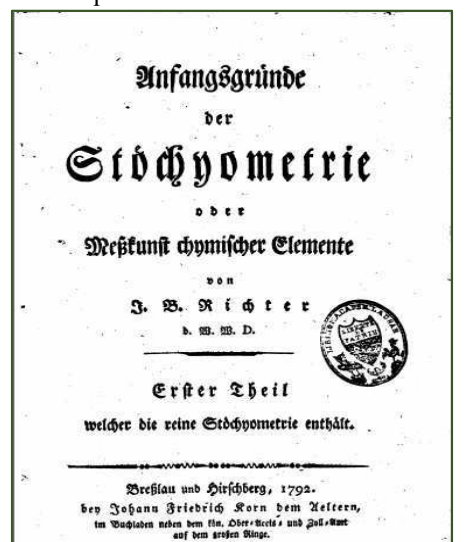
<sup>3</sup>Densidade relativa ou gravidade específica é a razão entre a densidade de uma substância e a densidade de um dado material de referência. A expressão "gravidade específica" geralmente significa uma densidade relativa com respeito à água.

<sup>4</sup>Um aerômetro é um instrumento projetado para medir a densidade do ar e alguns gases. A palavra aerômetro refere-se a vários tipos de dispositivos para medir ou manusear gases.

Apesar da brevidade de sua vida e das dificuldades financeiras crônicas, Richter conseguiu manter um programa de investigações experimentais que produziu resultados significativos. Ele os relatou em numerosas memórias, bem como nos três volumes de “Razões iniciais de Estequiometria ou medição de elementos” (1792-1794) e onze pequenos volumes intitulados “Sobre os objetos mais recentes em Química”, publicados entre 1791 e 1802. Ele, também, era um membro correspondente da Revista Alemã Grande Sociedade Britânica (Gross-britannische Societät) e das academias de Munique e São Petersburgo.

Ao longo de sua carreira, a química de Richter foi moldada por sua firme

Figura 4: Capa do livro “Razões iniciais de Estequiometria”



Fonte: <https://books.google.com.br/>

convicção de que todos os processos químicos são baseados em leis matemáticas, ele acreditava que toda ciência verdadeira é matemática aplicada. A visão de Richter levou-o ao novo conceito de estequiometria, que consta na introdução de sua tese, na qual ele afirmou que a matemática pode ser estendida a todas as áreas da ciência e da arte em que algo pode ser medido. A química deve, portanto, ser especialmente acessível à matemática, porque seu problema básico é determinar as proporções exatas dos componentes de cada composto.

Essa ideia também aparece no prefácio do “Razões iniciais de Estequiometria” (Figura 4), no qual Richter escreveu que

Todas as ciências preocupadas com as grandezas pertencem à matemática. A razão pela qual tão pouco progresso é feito neste ramo é que os químicos raramente se ocupam com matemática e os matemáticos não sentem nenhum chamado para conquistar a arte da medição no campo da química (Volume I, parte, 1, p. 121).

Assim, Richter prosseguiu para definir sua nova especialidade, estequiometria, como “a ciência de medir as proporções quantitativas ou proporções de massa nas quais os elementos químicos se conectam uns aos outros”. Ele deu à sua teoria uma base teológica em uma citação da Sabedoria de Salomão, que ele colocou na página de rosto

da quarta parte do seu livro “Novos itens”: “*Mas tu [Deus] fizeste todas as coisas, em medida, número e peso*”. Fiel a essa palavra, Richter dedicou toda a sua vida a pesquisar as leis de acordo com as quais os números químicos são combinados por “medida, número e peso”. Esse trabalho teve prioridade sobre todas as suas outras pesquisas, que estavam relacionadas com a química dos metais, e foi o assunto da maioria dos seus escritos.

Os experimentos que levaram Richter à lei da neutralidade surgiram de seu interesse em determinar as proporções combinadas de compostos. Ele havia observado que as soluções de acetato de cálcio ( $\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ ) e tartarato de potássio ( $\text{K}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ ) permanecem neutras ao serem misturadas, enquanto o tartarato de cálcio ( $\text{CaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ ) é precipitado e o acetato de potássio ( $\text{C}_2\text{H}_3\text{KO}_2$ ) permanece em solução e estabeleceu que os diferentes ácidos seguem proporções correspondentes com diferentes bases para se neutralizarem. Em 1791, descreveu esse fenômeno e afirmou que a neutralização deveria ocorrer em todas as decomposições químicas por dupla afinidade, na medida em que os compostos usados na decomposição são eles próprios neutros. No ano seguinte, escreveu que, quando duas soluções neutras são misturadas e ocorre a decomposição, os produtos resultantes são neutros quase sem exceção. Ele tirou duas conclusões disso, primeiro, que os compostos (para os quais ele usou a palavra "elementos", referindo-se a ácidos e bases) devem "ter entre si uma certa razão fixa de massa", de modo que as composições dos produtos resultantes podem ser calculadas matematicamente daqueles das substâncias que interagem. E, segundo, que

se os pesos das massas de dois compostos neutros que se decompõem um ao outro para dar um produto neutro são **A** e **B**, e se a massa do um elemento em **A** é **a**, e a do mesmo em **B** é **b**, então as massas dos elementos em **B** são **B - b** e **b**. As proporções das massas de elementos nos compostos neutros antes da reação são **(A - a) : a** e **(B - b) : b**; após a decomposição, no entanto, as massas dos novos produtos formados são **a + (B - b)** e **b + (A - a)**, e as proporções das massas dos elementos são **a : (B - b)** e **b : (A - a)**. Se, portanto, a relação das massas nos compostos **A** e **B** é conhecida, isso nos novos produtos formados é também conhecido [Anfangsgründe der stöchyometrie, I, 1, 124].

Em síntese, as quantidades de diferentes bases necessárias para neutralizar um dado ácido formavam uma progressão aritmética e as quantidades de ácidos que neutralizam uma dada base formavam uma progressão geométrica e, ainda, que

conhecendo-se as massas dos compostos que reagiam, era possível prever as massas dos produtos formados.

Richter apresentou esta lei (que havia sido antecipada por Guyton de Morveau em 1787) em 1795. Na busca de evidências empíricas, fez pesquisas quantitativas para determinar a proporção em que um número de óxidos (incluindo os de alumínio, magnésio, cálcio, estrôncio e bário) e um número de bases (amônia, potássio e sódio) se misturam com os ácidos clorídrico, sulfúrico, nítrico ou fluorídrico. Ele também determinou os pesos equivalentes<sup>5</sup> de vários metais e óxidos metálicos e de ácidos crômico ( $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$ ), molibdico ( $\text{MoO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) e túngstico ( $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). Em 1797, ele estabeleceu que os sais metálicos também estão sujeitos à lei da neutralidade na decomposição mútua.

De suas experiências com metais que se dissolvem em pesos fixos de ácido a sais neutros, Richter foi levado a concluir que a quantidade de oxigênio em qualquer base é a mesma necessária para saturar uma quantidade constante de ácido. Ele aplicou o princípio da manutenção da neutralidade para estabelecer que, quando um metal precipita outro de um sal neutro, as quantidades de ambos os metais que se dissolverão na mesma quantidade de ácido se unirão com quantidades idênticas de oxigênio para formar óxidos.

Richter publicou suas primeiras pesquisas estequiométricas como descrições gerais. De sua suposição básica de que a química é um ramo da matemática aplicada, ele ofereceu seus resultados como verdades matemáticas inatacáveis e não incluiu relatos de seu trabalho experimental até que publicou, em 1793, o segundo volume de "Fundamentos", no qual também ofereceu suas primeiras especulações sobre a série de massas. Ele partiu da noção de que as proporções combinadas em um composto formam séries aritméticas ou geométricas e, quando seus dados não confirmavam tais relações numéricas, eventualmente, manipulava os resultados de maneira favorável às relações de forma arbitrária. Ele afirmou sua crença sucintamente no prefácio deste volume, tomando como um dado que "as afinidades duplas prosseguem em progressão aritmética, e após observações exatas dificilmente é possível resistir à noção de que todo o sistema químico consiste em tais progressões".

---

<sup>5</sup> O peso equivalente é a massa de um equivalente, isto é, a massa de uma dada substância que combinará ou deslocará uma quantidade fixa de outra substância. O peso equivalente de um composto pode ser calculado dividindo o peso molecular pelo número de cargas elétricas positivas ou negativas que resultam da dissolução do composto.

As pesquisas adicionais de Richter sobre estequiometria foram publicadas em sua coleção “Novos objetos”, começando com o Volume VI (1796). Ele desenvolveu uma série de massas para os ácidos fluorídrico, clorídrico, sulfúrico e nítrico, de acordo com sua capacidade de neutralizar a magnésia, a cal e a barita, e estabeleceu uma progressão geométrica a partir de seus resultados, também publicou uma série geométrica que engloba os ácidos carbônico, sebácico, oxálico, fórmico, succínico, acético, cítrico e tartárico, dos quais ele escreveu que:

Sem me expor à acusação de malabarismo, descobri, guiado pela analogia da experiência, que o ácido carbônico, assim como os sete ácidos que contêm carbono, que foram examinados do ponto de vista da estequiometria, são termos de uma progressão geométrica, que difere da progressão anterior em que os expoentes dos poderes aumentam na ordem usual dos números; enquanto, ao contrário, a progressão aritmética que os álcalis produzem com esses ácidos mantém sua forma inalterada [Neuern Gegenstände, VI, v-vi].

Mais uma vez, há termos faltando na série de massas desses ácidos, e Richter supõe que correspondam a ácidos desconhecidos contendo carbono. Ele generalizou as diferenças que encontrou na série de massas de certos grupos de bases e ácidos para aplicar a todas as bases e ácidos conhecidos e concluiu que os pesos equivalentes das bases seguem uma série aritmética, enquanto os pesos equivalentes dos ácidos progredem geometricamente, mas não há registros em que ele explique o motivo dessa relação.

Apesar de toda a sua sistematização, Richter nunca deu uma declaração totalmente generalizada de sua lei de proporção equivalente, talvez por não ter muitas habilidades com a escrita, dificultando assim a leitura e interpretação dos seus trabalhos. Restou a Ernst Gottfried Fischer, professor de física e matemática no “Gymnasium zum Grauen Kloster” de Berlim<sup>6</sup>, dar um resumo claro do trabalho de Richter. Em sua tradução de 1802 de “Pesquisas sobre as leis da afinidade”, de Berthollet, Fischer coletou e confrontou os valores numéricos de Richter e os combinou em uma única tabela de pesos equivalentes. Essa tabela continha treze ácidos e oito bases, todos referenciados ao padrão único de 1.000 partes de ácido sulfúrico, o mesmo padrão que o próprio Richter usara consistentemente. Ao mesmo tempo, Fischer criticou a série de massas de Richter como hipóteses inaceitáveis, ecoando a crítica do filósofo kantiano Jakob Friederich Fries.

---

<sup>6</sup>Um ginásio é um tipo de escola de ensino secundário existente em alguns países. Por analogia, “ginásio” também se refere ao ensino realizado, o que nos dias de hoje corresponderia ao Ensino Fundamental.

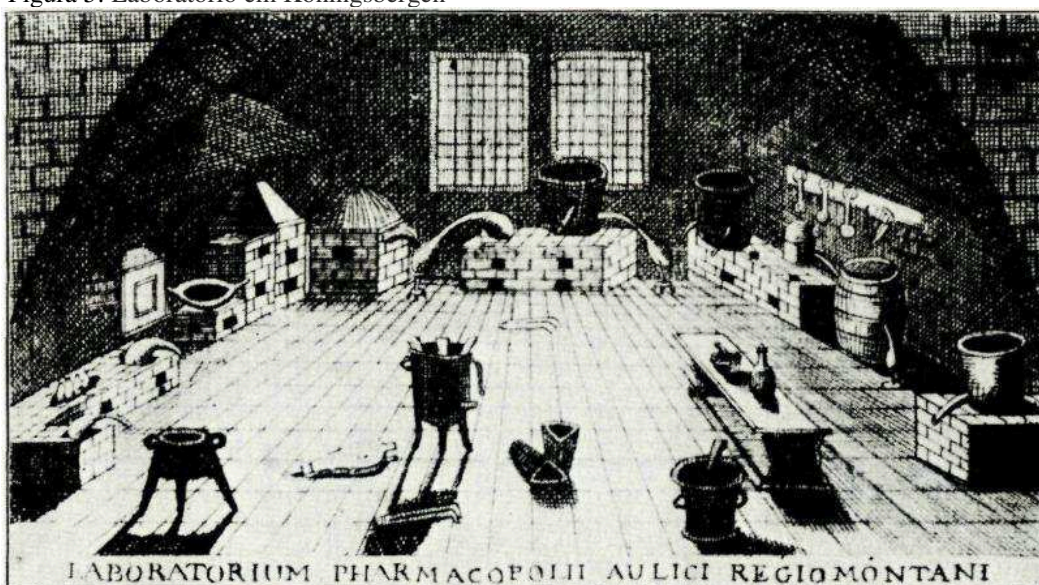


O trabalho de Fischer foi responsável pela disseminação do trabalho de Richter. Berthollet usou-o no seu “Teste de Química Estática” (Essai de statique chimique) de 1803, e Thomas Thomson incorporou-o na edição de 1807 do seu “Sistema de Química”. O próprio Richter reconheceu o valor da compilação de Fischer e, em 1803, publicou uma tabela mais completa, contendo os pesos equivalentes de dezoito ácidos e trinta bases. Embora os livros de Berthollet e Thomson recebessem ampla circulação, o de Richter não recebia, todos criticaram os aspectos especulativos de seu trabalho e sua escrita, enquanto elogiavam seus métodos experimentais.

Além de suas próprias publicações, Richter contribuiu, entre 1803 e 1805, com artigos importantes sobre oxigênio, luz, neutralidade, estequiometria e oxidação, “Dicionário de mão de Química” projetado com as mais recentes descobertas, que ele editou a partir do Volume III em diante. Entre seus outros trabalhos, Richter anunciou, em 1805, sua descoberta de um novo metal em minérios de níquel, que ele chamou de “niccolanum”. Descobriu-se, posteriormente, que essa substância não era nova, mas sim um níquel bastante impuro, contendo cobalto, ferro e arsênico.

O significado de sua estequiometria não foi reconhecido por vários anos, e seus resultados praticamente não influenciaram o desenvolvimento da química até depois da aceitação da teoria atômica de Dalton.

Figura 5: Laboratório em Koningsbergen



Fonte: C.G.Hagen, livro didático de Arte Botânica, 1778

## Situação de Aprendizagem

**Será que a Soda Cáustica comercializada nos supermercados é pura? Como podemos determinar?**

### AULA PRÁTICA: DETERMINAÇÃO DO GRAU DE PUREZA DA SODA CÁUSTICA COMERCIAL- TITULOMETRIA

Desentupir ralos e pias, fazer sabão e auxiliar na limpeza pesada são alguns usos cotidianos para a soda cáustica que pode ser adquirida no supermercado. A exemplo de outras substâncias como o álcool, é possível saber se o produto adquirido é 100% soda ou se há mistura?

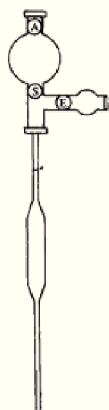
Para propor uma solução realizaremos um experimento de neutralização no qual utilizaremos uma solução conhecida de HCl (ácido clorídrico) e uma solução preparada com a soda comercial. Realizar experimentos em Química, demanda medidas de segurança e conhecimentos procedimentais, por isso, descrevemos o procedimento que deve ser seguido.

#### Materiais

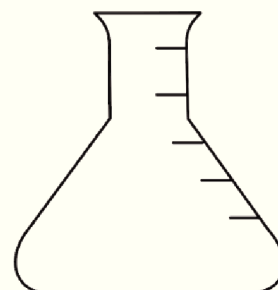
- 1 bureta de 25 mL



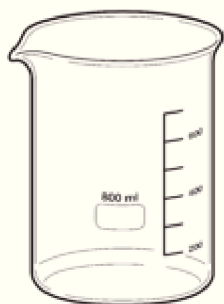
- 1 pipeta volumétrica de 10mL com pera de borracha



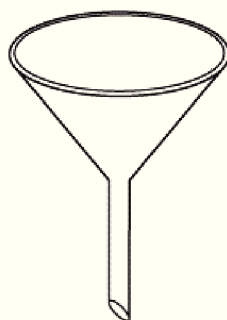
- 1 erlenmeyer de 250mL



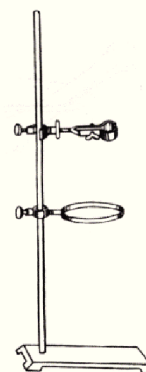
- 2 béqueres de 100 mL



- 1 funil de vidro



- 1 suporte para garra





- Solução de soda cáustica comercial (C= 4,0 g/L)
- Solução de HCl 0,1N
- Indicador metilorange

### Procedimento

- Descreva a reação entre a soda (NaOH) e o ácido clorídrico HCl, representando-a por meio de uma equação.
- Como preparar a solução de soda cáustica comercial a 4 g/L? Quais hipóteses devem ser feitas?
- Como obter a solução 0,1 N de HCl a partir da solução 1N?
- Com o auxílio de um béquero, medir 40mL de HCl 0,1N e com o auxílio de um funil, transferir para a bureta.
- Observar se não há bolhas de ar na bureta, e zerar. Por que não pode haver bolhas de ar? Por que a calibração (o zerar no equipamento) é feita?
- Em dois erlenmeyers, pipetar em cada um 10ml de solução de soda cáustica a ser titulada. Adicionar em cada erlenmeyer 1 gota de indicador metilorange e aproximadamente 50 mL de água destilada (escorrendo pelas paredes do recipiente).
- Iniciar a titulação: com a mão esquerda, abrir a torneira da bureta, e com a mão direita, segurar o erlenmeyer, agitando continuamente.
- Fechar a torneira da bureta, no instante em que ocorrer a mudança de coloração do indicador, de amarelo para rosa (ponto de viragem).
- Fazer a leitura na bureta do volume gasto de HCl, e anotar.
- Repetir a titulação com o segundo erlenmeyer e anotar o volume gasto de HCl. Comparar os volumes gastos de HCl.
- Fazer os cálculos para determinar a porcentagem de NaOH na solução.

### Conceitos e procedimentos importantes para a condução do experimento

#### a) Titulometria

Análise volumétrica ou volumetria: processo de análise quantitativa, que determina a concentração de uma solução através de um volume de solução de concentração conhecida.

$$\text{Equação fundamental da titulometria: } N_1 \cdot V_1 = N_2 \cdot V_2$$

Titulação: processo que determina, em laboratório, a normalidade ou a concentração desconhecida de uma solução.

Ponto de equivalência: determina o final de uma reação, ou o momento em que o titulado reagiu completamente com o titulante.

Indicadores: substâncias que indicam o ponto de equivalência (ou ponto final) de uma reação através da mudança de coloração.

#### Volumetria de neutralização

Acidimetria: é a determinação da concentração de um ácido através de uma base de concentração conhecida.

Alcalimetria: é a determinação da concentração de uma base através de um ácido de concentração conhecida.

Teor de pureza: é a percentagem da massa da substância pura em relação à massa total da amostra.

### Questionário

- 1) Calcule a massa de NaOH considerando o resultado da titulação.
- 2) Calcule a normalidade da solução de soda cáustica, utilizando a equação fundamental da volumetria e o resultado experimental obtido.
- 3) Calcule a massa correspondente de NaOH da solução de soda cáustica titulada.
- 4) Calcule a % de NaOH na solução utilizada.
- 5) Qual o teor de pureza do NaOH?
- 6) Qual a razão de escorrermos gota a gota o HCl no erlenmeyer?
- 7) Desejamos obter a partir dessa soda cáustica comercial 10 g de NaCl. Qual quantidade da solução de NaOH é necessária?

## Guia para a atividade

**Para a execução desta atividade o aluno deve ser exposto à seguinte situação:**

- ❖ Leve os alunos ao laboratório, divida-os em grupos, e entregue uma cópia do roteiro a cada grupo, explicando a função das vidrarias e o momento em que serão utilizadas. Oriente os alunos a seguirem os procedimentos conforme o roteiro e acompanhe a execução.

**Regras de ação a serem seguidas:**

- ❖ Com o roteiro em mãos, os alunos devem, antes de tudo, calcular as concentrações molares de HCl e NaOH. Seguir os procedimentos descritos no roteiro.

- ❖ Para realizar o cálculo da normalidade utilizar a equação

$$N_1 \cdot V_1 = N_2 \cdot V_2.$$

- ❖ Calcular a massa correspondente de NaOH da solução de soda cáustica titulada, utilizando a fórmula da normalidade  $N = \frac{n_{\text{Eqg}_1}}{V}$ , e em seguida converter em percentagem.
- ❖ Calcular o teor de pureza do NaOH, por meio da massa obtida e a massa molar.

### Um exemplo da realização da atividade

As condições climáticas e ambientais podem alterar levemente os resultados do experimento. O produto adquirido no comércio em suas diferentes marcas, também pode apresentar purezas diferentes. Colocamos este exemplo para auxiliar o professor que deseje implementar o experimento com seus estudantes.

- 1) As soluções tanto do ácido como da base foram preparadas:

NaOH: Para preparar a solução com concentração 4,0 g/L, foram pesadas na balança 2g de soda cáustica comercial (considerando-se uma pureza de 100%), a qual foi diluída para 500mL de solução.

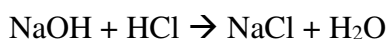
HCl: Para preparar a solução 0,1N de HCl, utilizamos uma solução padrão 1 mol/L. Como o HCl possui apenas um hidrogênio ionizável o equivalente-grama é 1, e consequentemente a normalidade é 1,0N.

2) Realizou-se o seguinte cálculo:

$$N_1 \times V_1 = N_2 \times V_2 \rightarrow 1,0 \times V_1 = 0,1 \times 40 \rightarrow V_1 = 4 \text{ mL}$$

Então, foram pipetados 4mL da solução padrão diluindo-a, na sequência, a 40 mL.

3) Em seguida, em dois erlenmeyers, foram pipetados em cada um 10mL de solução de soda cáustica que ia ser titulada. Adicionou-se em cada erlenmeyer 1 gota de indicador metilorange e 50 mL de água destilada (escorrendo pelas paredes, e devagar, devido à liberação de calor). Iniciou-se a titulação: com a mão esquerda, abriu-se a torneira da bureta, e com a mão direita, segurou-se o erlenmeyer, agitando continuamente, promovendo a reação:



4) A proporção estequiométrica é de 1 : 1, ou seja, uma molécula de ácido reage com exatamente uma de base:  $n_{\text{HCl}} = n_{\text{NaOH}}$ , foram gastos 7,4 mL do titulante (HCl)

Sendo  $M = n/V \rightarrow n = M \cdot V$ , temos a seguinte relação:

$$M_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}} = M_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}}$$

$$0,1 \times 7,4 = M_{\text{NaOH}} \times 67,4$$

$$0,74 = M_{\text{NaOH}} \times 67,4$$

$$M_{\text{NaOH}} = 0,74 / 67,4$$

$$M_{\text{NaOH}} = 0,011 \text{ mol/L}$$

5) Inicialmente, usamos 10 mL da solução padrão de NaOH com  $M = 0,1 \text{ mol/L}$ . Ao adicionarmos 50 mL de  $\text{H}_2\text{O}$ , a concentração da solução passou a ser  $M = 0,016 \text{ mol/L}$ , segundo o cálculo:

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$0,1 \times 10 = M_2 \times 60 \rightarrow M_2 = 0,016 \text{ mol/L}$$

Com esse cálculo, consideramos que a soda cáustica é 100% pura.

6) Ao passo que ao realizarmos a titulação encontramos uma concentração de 0,011 mol/L. Dessa forma, para sabermos a pureza da soda cáustica calculamos:

$$0,016 \text{ mol/L} \text{ ---- } 100\%$$

$$0,011 \text{ mol/L} \text{ ---- } x$$

$$x = 68,75\% \text{ , ou seja, a pureza da soda cáustica é de aproximadamente } 68,75\%$$

## Situação de Aprendizagem

### Por que a normalidade não é uma medida de concentração de soluções usual em Química?

**DETERMINAÇÃO PERMANGANOMÉTRICA DE SULFÓXIDOS: mais uma armadilha no uso de normalidades**

**Resenha do artigo de Viktoria K. L. Osório – Química Nova (1992)**

Ao introduzir seu artigo, Osório (1992) destaca que a literatura sobre o Ensino de Química adverte quanto ao uso dos conceitos de equivalente e normalidade, e que, apesar de a tendência atual primar pela extinção dos termos, eles ainda são encontrados em alguns livros-textos e até mesmo em recomendações da IUPAC.

Na sequência, a autora apresenta um recorte histórico, no qual ela descreve como e quando surgiram os conceitos de “pesos equivalentes” e “pesos atômicos”, e como esses termos se misturavam na explicação dos resultados experimentais de vários cientistas que estudavam, entre outros assuntos, a base da Teoria Atômica de Dalton. Houve um tempo de grande confusão nos conceitos fundamentais, pois diversos autores utilizavam os termos “pesos equivalentes” e “pesos atômicos” sem distinção, e observa que o caminho para o esclarecimento do problema foi apontado em 1811 por Avogadro.

O assunto também foi discutido no Congresso de Karlsruhe, que reuniu 140 cientistas europeus para tentar resolver a confusão reinante nos conceitos de equivalentes, átomos e moléculas, porém sem resultados decisivos imediatos, já que a ideia prevalecente era de que se devia respeitar a liberdade de cada pesquisador.

Anos mais tarde, em 1905, Mendeleiev relegava os equivalentes a um segundo plano, em seu livro “Princípios de Química”, justificando que a teoria dos equivalentes era simples e precisa se cada metal formasse apenas um óxido e apenas um sal. Nesse ponto, a autora traz o nome de Benjamim Richter, e seus importantes trabalhos que apontavam a ideia de equivalência Química, e ressalta que apesar de não ser encontrado nos trabalhos de Richter, nem nos de Fischer, o termo “equivalência”, suas tabelas são verdadeiras tabelas de equivalentes-grama.

Foram essas tabelas que deram origem ao sistema de normalidades, introduzido em 1860 por John J. Griffin, para designar a composição de soluções com propósitos

analíticos. O termo “soluções normais” indicava que tais soluções continham quantidades equivalentes de solutos (por exemplo 0,0113g NH<sub>3</sub>/ 0,042g HNO<sub>3</sub>/ 0,046g K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Nessa época, os pesos atômicos e moleculares corretos disponíveis não eram aceitos de modo geral, o que fez com esse conceito fosse muito útil. E, apesar das advertências contra seus usos, os termos “equivalente” e “normal” estavam tão arraigados que a própria IUPAC, em 1978, publicou recomendações sobre o seu emprego.

Em seguida, a autora apresenta uma análise de sulfóxidos, que demonstram diversas propriedades favoráveis a métodos analíticos, por exemplo: podem ser titulados, como bases, por ácidos; absorvem radiações de vários comprimentos de onda, em forma livre ou combinada; podem ser reduzidos a sulfetos ou oxidados a sulfonas.

Em sua análise, a autora mostra os dados experimentais de um ensaio de titulação, e observa que os cálculos estequiométricos dão o mesmo resultado, quer sejam efetuados em termos de números de equivalentes-gramas, quer em quantidade de matéria. E, em suas conclusões, destaca que o sucesso da normalidade está relacionado à praticidade e rapidez no uso da expressão  $NV = N^*V^*$ , pois o titulante e titulado reagem entre si equivalente a equivalente. No entanto, para que a expressão seja aplicável, é imprescindível que o titulante apresente o mesmo valor de equivalente-grama na reação de padronização e na reação analítica, o que não é tão fácil de conseguir quando se trata de reações com transferência de elétrons, onde oxidante e/ou redutor contém elementos que apresentam uma gama variada de estados de oxidação estáveis.

Enfim, a normalidade é uma forma de expressar a concentração de uma solução, e indica o número de equivalentes-gramas do soluto em 1 (um) litro de solução. Esta é calculada através do quociente entre o número de equivalente-grama (eg) de soluto dissolvidos e o volume de solução em litros. O grande problema no uso da normalidade são as limitações da fórmula e as dificuldades de raciocínio, ao lidar com os conceitos e efetuar as conversões de unidades de concentração (mol/L; g/L) para normalidade quando se trata de reações entre compostos que apresentam mais de um número de valência.

#### PARA SABER MAIS

Acesse o endereço eletrônico [http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe\\_artigo.asp?id=1599](http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=1599), para ter acesso ao artigo completo.

## Guia para a atividade

**Para a execução desta atividade o aluno deve ser exposto à seguinte situação:**

- ❖ Realize a leitura do artigo, e discuta com os alunos, por meio dos exemplos nele apresentados, ou outros de sua preferência, as exceções que dificultam a adoção da normalidade para a determinação da concentração de soluções, justificando o motivo pelo qual os termos “equivalente-grama” e “normal” entraram em desuso.

**Regras de ação a serem seguidas:**

- ❖ Refletir sobre a utilização da normalidade como medida de concentração de soluções, comparando com as medidas mais utilizadas (Concentração comum, Concentração em quantidade de matéria – mol).



O Capítulo 2 traz a história de um cientista que, praticamente, não é mencionado nos livros didáticos, mas que realizou importantes trabalhos, contribuindo para o desenvolvimento da Química e para as pesquisas em ciência da sua época. Richter foi considerado o pai da Estequiometria, acreditava que toda ciência verdadeira é matemática aplicada, e dedicou toda a sua vida a pesquisar as leis de acordo com as quais os números químicos são combinados por “medida, número e peso”. Uma de suas maiores contribuições, com certeza, foi sua Lei de Proporção Equivalente que permitiu o desenvolvimentos de novas ideias e pesquisas em Química, entre as quais o caminho para se chegar a uma forma de determinar a concentração de soluções, a “Normalidade”. Nesse sentido, este capítulo teve o intuito de fazer conhecida a história desse cientista e permitir a análise e comparação de termos que foram muito utilizados na Química em determinada época e que hoje foram substituídos, mostrando a evolução do conhecimento científico.

**CAPÍTULO 3 –  
Proust e sua Lei das  
Proporções  
Definidas**



# Feitos científicos

## Joseph Louis Proust



Joseph Louis Proust, também conhecido como Louis Proust, nasceu em 26 de setembro de 1754, em Angers, na França, e morreu em 5 de julho de 1826, na mesma cidade. Foi um químico francês que provou que as quantidades relativas dos elementos constituintes de qualquer composto químico puro permanecem invariantes, independentemente da fonte do composto. De forma simplificada, quando dois ou mais elementos se combinam para formar substâncias, conservam entre si proporções definidas. Isso é conhecido como a lei de Proust, ou a lei das proporções definidas (1793), e é o princípio fundamental da química analítica.

Filho de um farmacêutico, Proust se preparou para a mesma ocupação, primeiro com o pai em Angers e depois em Paris, onde também estudou química com Hilaire-Martin Rouelle. Em 1776, Proust foi nomeado farmacêutico no Hospital Salpêtrière, em Paris. No entanto, em 1778, Proust abandonou a farmácia para se tornar professor de química no recém-criado Seminário Patriótico Vascongado em Vergara, Espanha. Esta escola foi a criação da Real Sociedad Económica Vascongada dos Amigos do País, a primeira e mais importante das sociedades provinciais “iluminadas” da Espanha.

Em 1780, Proust retornou a Paris, onde lecionou Química no Musée, uma instituição de ensino privada fundada pelo empresário científico Jean-François Pilâtre de Rozier, para demonstrar seus conhecimentos científicos aos nobres. Parte dessa associação envolveu Proust com experimentos aerostáticos, que culminaram em uma ascensão de balão com Pilâtre em 23 de junho de 1784, em Versalhes, na presença da corte real.

Em 1786, Proust retornou à Espanha para ensinar química nas escolas de Artilharia de Segóvia e de Salamanca, a fim de introduzir os cadetes de artilharia no mais recente treinamento científico relevante. Por causa do atraso científico da Espanha, instrutores especializados precisavam ser procurados no exterior. Proust foi recomendado por ninguém menos que o grande químico francês Antoine Laurent Lavoisier.

Proust não assumiu sua cadeira até 1792, devido a uma combinação de ineficiência burocrática e suas próprias demandas exigentes por equipamentos de laboratório. Quando finalmente estava pronto, seu laboratório era inegavelmente um dos melhores da Europa e, provavelmente, ele fez a maior parte de sua química prática e analítica lá. Dificuldades com as autoridades militares resultaram na sua transferência em 1799 para Madri.

Proust é mais conhecido como um químico analítico<sup>7</sup>, particularmente por sua enunciação da lei de proporções definidas. A essência da lei de Proust é que as substâncias químicas só se combinam verdadeiramente para formar um pequeno número de compostos, cada um dos quais é caracterizado por componentes que se combinam em proporções fixas em massa. Observe o exemplo:

**Tabela 1:** Demonstração experimental da Lei de Proust

	<b>Fe + S → FeS</b>		<b>Proporção em massa</b>
<b>1º experimento</b>	56,0 g	32,0 g	56,0 : 32,0 = 1,75 : 1,00
<b>2º experimento</b>	47,6 g	27,2 g	47,6 : 27,2 = 1,75 : 1,00
<b>3º experimento</b>	81,2 g	46,4 g	81,2 : 46,4 = 1,75 : 1,00

A formulação de Proust e a demonstração experimental (tabela 1) dessa lei estavam voltadas exclusivamente para compostos binários inorgânicos, como óxidos, sulfetos e sulfatos metálicos. Ele acreditava que a maioria dos metais formava dois óxidos distintos em proporções constantes - que ele denominou de mínimo e máximo - e estes, por sua vez, eram capazes de produzir duas séries separadas de compostos. Para sulfetos, Proust afirmou que existia apenas um por metal, com exceção do ferro.

Embora as declarações da lei que atraíram a atenção dos químicos europeus tenham aparecido pela primeira vez em revistas francesas a partir de 1797, Proust formulou a lei em 1793 e a publicou em 1795 em periódicos espanhóis. A lei de

<sup>7</sup>A química analítica é o ramo da química que trata da identificação ou quantificação de espécies ou elementos químicos, e o químico analítico é o técnico responsável por selecionar os métodos analíticos e operar os equipamentos laboratoriais.

proporções definidas de Proust teve precursores na química e um paralelo na mineralogia francesa no século XVIII. Contemporânea com a formulação de Proust foi a doutrina de espécies minerais fixas na mineralogia francesa, que foi definida em termos de forma cristalina fixa e composição química constante.

A lei de proporções definidas de Proust foi contestada em 1803 pelo eminente químico francês Claude Louis Berthollet, que havia refinado sua própria teoria de afinidade química em 1801 para sugerir que a combinação química não estava necessariamente restrita a proporções definidas de saturação. Ele afirmava que a composição das substâncias não era fixa, fato mais tarde verificado em relação a certos compostos. O sulfato ferroso,  $\text{FeS}$ , por exemplo, varia ligeiramente de composição conforme a fonte de onde é extraído. A controvérsia ocorreu em revistas científicas francesas e consistia de um ou dois documentos por ano de cada protagonista.

No coração da controvérsia estava a definição de combinação química. Berthollet acreditava que a afinidade química era uma força semelhante à gravidade e achava que qualquer tipo de combinação entre substâncias era uma expressão dessa mesma força. Não havia nenhuma diferença fundamental entre solução e combinação química e, desse modo, a Lei das Proporções Constantes era apenas um caso especial da lei geral da afinidade. Ele havia denominado algumas combinações em proporções variáveis (por exemplo, sulfetos metálicos) e as considerou como verdadeiros compostos.

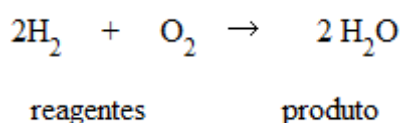
O que acabou resolvendo a disputa em favor de Proust foi o impacto da teoria química atômica (1808) do químico inglês John Dalton. A teoria atômica de Dalton forneceu uma base teórica simples para a lei de proporções definidas, especialmente depois que o químico sueco Jöns Jacob Berzelius estabeleceu a relação conceitual entre a lei de Proust e a teoria de Dalton em 1811.

As narrativas tradicionais da história da química concentraram-se exclusivamente no trabalho analítico de Proust. No entanto, sua carreira na verdade foi sustentada por atividades químicas mais práticas. Por exemplo, o contexto da afirmação mais antiga de Proust de que, ao combinar substâncias, formavam-se dois compostos distintos em proporções máximas e mínimas provenientes de seu estudo sobre o lançamento de canhões; em particular, dizia respeito à proporção de estanho para cobre em duas ligas de bronze. Em uma área relacionada à química aplicada, Proust publicou os mais abrangentes estudos experimentais sobre pólvora. Ele também realizou importantes investigações em química nutricional, sugerindo métodos para a fabricação de vários suplementos nutricionais.

## Situação de Aprendizagem

**Será que as relações proporcionais entre as massas dos reagentes e as massas dos produtos se mantêm constantes em todas as transformações químicas?**

**Dica:** A forma que representamos uma transformação ou reação química chama-se equação química. Na equação química, os participantes da reação são chamados de reagentes (1º membro) e produtos (2º membro). Exemplo:



**Obs.:** As atividades desse capítulo foram adaptadas do livro do GEPEQ (módulo 2, p.79 a 103).

### As relações proporcionais em massa nas reações químicas

1- Sabe-se que formação da água ocorre segundo a reação  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ , na qual, de acordo com registros de Lavoisier em seus trabalhos eram “necessárias 85 partes de oxigênio e 15 partes também em massa de hidrogênio para compor 100 partes de água...” Essa conclusão somente foi possível a partir de dados experimentais semelhantes aos descritos na tabela abaixo:

Estado inicial			Estado final		
Experiência	Massa de gás oxigênio (g)	Massa de gás hidrogênio (g)	Massa de água (g)	Massa de gás oxigênio que não reagiu (g)	Massa de gás hidrogênio que não reagiu (g)
1	0,033	0,002	0,018	0,016	-
2	0,033	0,004	0,037	-	-
3	0,033	0,006	0,037	-	0,002
4	0,085	0,015	0,095	-	0,004

Já Proust verificou que nessa reação de formação da água, o hidrogênio sempre reagia com o oxigênio em uma proporção constante e definida. Com base nos dados da tabela, responda:

- a) Quantas vezes a massa de hidrogênio utilizada na experiência *b* é maior do que a massa do mesmo gás usada na experiência *a*?
- b) Observe as massas do oxigênio nas experiências *a* e *b*. Quantas vezes a massa usada em *b* é maior do que a massa usada em *a*?
- c) Quantas vezes a massa de água obtida em *b* é maior do que a obtida em *a*?
- d) Por que a massa de água obtida em *b* é maior, se as massas de oxigênio em *b* e *a* são iguais?
- e) Compare as massas de oxigênio e de hidrogênio que reagem nas experiências *a* e *c*. Como se pode explicar as diferentes quantidades de água formadas nesses experimentos?
- f) Calcule, para cada ensaio, quantas vezes a massa de oxigênio que reage é maior do que a massa de hidrogênio que reage.
- g) Que massa de oxigênio ( $O_2$ ) seria necessária para reagir totalmente com 0,005 g de hidrogênio ( $H_2$ )?
- h) Qual a quantidade de água seria formada com a junção de 1,60 g de oxigênio e 0,30 g de hidrogênio?

2- Para formar o óxido de magnésio ( $MgO$ ), reagiu-se totalmente 0,50 g de magnésio metálico ( $Mg$ ) e 0,33 g de oxigênio ( $O_2$ ). Que massa de óxido de magnésio espera-se nessa experiência? Que massa de oxigênio é necessária para reagir totalmente com 1,0 g de magnésio? Em que você se baseou para responder a essas questões?

3- No aquecimento de 2,16 g de óxido de mercúrio ( $HgO$ ), em sistema aberto, observa-se que a massa do sistema diminui em 0,16 g. Lembrando seus estudos anteriores, a que você atribui essa perda de massa? Qual a diminuição no valor da massa do sistema que seria observada no aquecimento de 1,08 g de óxido de mercúrio nas mesmas condições do ensaio anterior?

4- Considerando as conclusões sobre a conservação de massa e sobre as proporções constantes nas transformações químicas, complete a tabela abaixo, referente à transformação do mármore em gesso sob a ação de ácido sulfúrico, admitindo que os reagentes sejam consumidos totalmente.

Mármore (Carbonato de cálcio, $CaCO_3$ )	+ Chuva ácida (Solução de ácido sulfúrico, $H_2SO_4$ )	→ Gesso (Sulfato de cálcio, $CaSO_4$ )	+ Gás carbônico ( $CO_2$ )	+ Água ( $H_2O$ )
100,0 g	98,0 g	136,0 g	44,0 g	
50,0 g		68,0 g		
	196,0 g			

## Guia para a atividade

**Para a execução desta atividade o aluno deve ser exposto à seguinte situação:**

- ❖ Apresente aos alunos a tabela do exercício 1 e peça a eles que observem as relações entre as massas dos reagentes e produtos, analisando o que acontece com as massas em cada experiência. A partir dessa análise, os alunos devem traçar uma linha de raciocínio para responder aos demais exercícios.

**Regras de ação a serem seguidas:**

- ❖ Comparar as massas dos reagentes e produtos em cada reação apresentada, por meio da realização de operações mentais.



No Capítulo 3, apresentamos o trabalho de Joseph Louis Proust, um químico francês que provou que, quando dois ou mais elementos se combinam para formar substâncias, conservam entre si proporções definidas. Isso é conhecido como a lei de Proust, ou a Lei das Proporções Definidas, extremamente utilizada na Estequiometria por fornecer a base teórica da “combinação química”. As narrativas tradicionais da história da química concentraram-se exclusivamente no trabalho analítico de Proust, no entanto sua carreira, na verdade, foi sustentada por atividades químicas mais práticas. Em uma área relacionada à química aplicada, Proust publicou os mais abrangentes estudos experimentais sobre pólvora. Ele também realizou importantes investigações em química nutricional, sugerindo métodos para a fabricação de vários suplementos nutricionais. Desse modo, as Situações de Aprendizagem propostas nesse capítulo têm por objetivo levar o aluno a comparar quantidades de reagentes e produtos envolvidos em transformações químicas, estabelecendo a proporção entre as suas massas, mobilizando esquemas que envolvem o raciocínio proporcional.

# CAPÍTULO 4 – Dalton e suas contribuições para as Leis Ponderais



# Feitos científicos

## John Dalton



O químico britânico John Dalton nasceu em Eaglesfield, Inglaterra, em 6 de setembro de 1766, e foi educado como membro da *Sociedade dos Amigos*, grupo protestante surgido em meados do século XVII, cujos adeptos ficaram conhecidos como *Quakers*<sup>8</sup>. Seu avô Jonathan Dalton era sapateiro e seu pai Joseph era um tecelão. Joseph casou-se com Deborah Greenup em 1755, jovem de uma próspera família Quaker. O pai de Dalton ganhava uma renda modesta como um tecelão de tear manual. Quando criança, Dalton ansiava por uma educação formal, mas sua família era muito pobre. Ficou claro que ele precisaria trabalhar para ajudar com as finanças da família desde tenra idade.

John Dalton frequentou a escola de gramática Quaker, de John Fletcher, em Eaglesfield. Quando John tinha apenas 12 anos de idade, Fletcher passou a escola para o irmão mais velho de John, Jonathan, que chamou o jovem Dalton para ajudá-lo com o

---

<sup>8</sup>Os *quakers* são uma seita cristã originada na Inglaterra do século XVII. Eles reagiram contra a Igreja oficial por meio de interpretações próprias da Bíblia e da investigação dos segredos da Natureza como forma de conhecer as obras de Deus. Ao contrário de outras seitas radicais do período, o quakerismo sobreviveu, caracterizando-se como um grupo com hábitos próprios, cultuando o recolhimento, a pureza moral e a prática ativa do pacifismo, da solidariedade e da filantropia.



ensino. Dois anos depois, os irmãos compraram uma escola em Kendal, onde ensinaram aproximadamente 60 estudantes, alguns deles pensionistas. Como professor, Dalton recorreu às experiências de dois importantes mentores: Elihu Robinson, um cavaleiro quaker de alguns meios e gostos científicos em Eaglesfield, e John Gough, um estudioso matemático e clássico de Kendal, dos quais adquiriu os primeiros princípios da matemática, do grego e do latim, bem como conhecimento prático na construção e uso de instrumentos meteorológicos e instruções para manter os registros diários.

Em 1793, Dalton mudou-se para Manchester a fim de ensinar matemática em uma academia dissidente, o New College. Ele levou consigo as folhas de prova de seu primeiro livro, uma coletânea de ensaios sobre tópicos meteorológicos baseados em suas próprias observações, juntamente com as de seus amigos John Gough e Peter Crosthwaite. Este trabalho, *Meteorological Observations and Essays (Observações Meteorológicas e Ensaios)*, foi publicado em 1793. Ele criou pouca agitação no início, mas continha ideias originais que, juntamente com os artigos mais desenvolvidos de Dalton, marcaram a transição de meteorologia de um tópico de folclore geral a uma séria busca científica.

Dalton estava bem posicionado para observar vários fenômenos meteorológicos, afinal nasceu e cresceu no montanhoso Lake District, na Inglaterra. Ele confirmou sua opinião, contra a opinião contemporânea, de que a atmosfera era uma mistura física de aproximadamente 80% de nitrogênio e 20% de oxigênio. Ele mediu a capacidade do ar de absorver o vapor de água e a variação de sua pressão parcial com a temperatura. Um dos contemporâneos de Dalton, o cientista britânico John Frederic Daniell, mais tarde aclamou-o como o "pai da meteorologia".

Logo após sua chegada a Manchester, Dalton foi eleito membro da Sociedade Literária e Filosófica de Manchester. Sua primeira contribuição para essa sociedade foi uma descrição do defeito que ele havia descoberto em sua própria visão e na de seu irmão. Este trabalho foi a primeira publicação sobre o daltonismo<sup>9</sup>. No ano seguinte à sua chegada em Manchester, Dalton começou a ensinar química, usando como livro-texto o *Elements of Chemistry* – tradução inglesa do tratado de Antoine Laurent Lavoisier (1743 – 1794), o que lhe rendeu conhecimentos importantíssimos para a consolidação da sua teoria atômica.

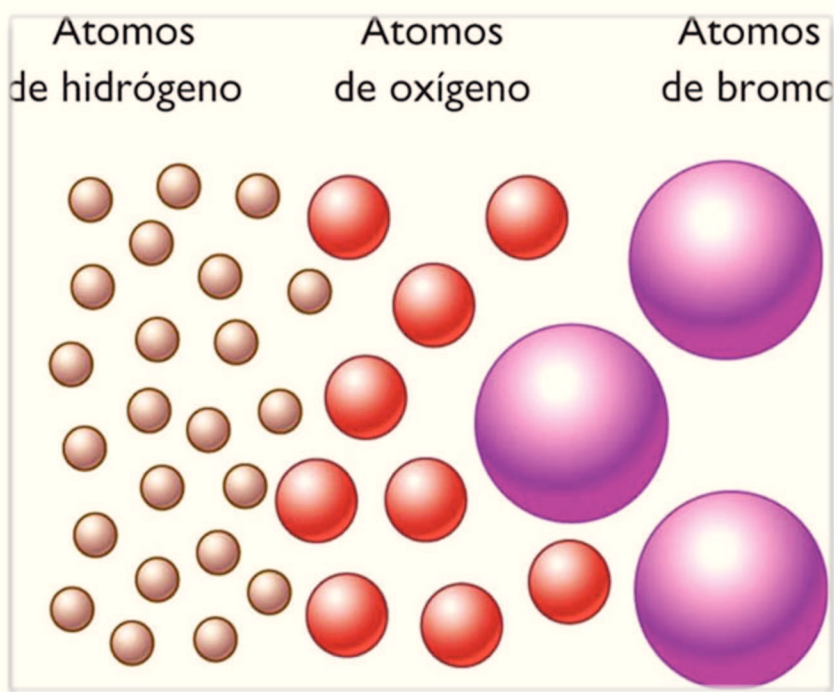
---

<sup>9</sup> **Daltonismo**, também conhecido como **discromatopsia** ou **discromopsia**, é uma perturbação da percepção visual caracterizada pela incapacidade de diferenciar todas ou algumas cores, manifestando-se muitas vezes pela dificuldade em distinguir o verde do vermelho, e normalmente tem origem genética. O distúrbio, que era conhecido desde o século XVIII, recebeu esse nome em homenagem ao químico John Dalton, que foi o primeiro cientista a estudar a anomalia da qual ele mesmo era portador.

Sem dúvida, o trabalho mais influente de Dalton em química foi a sua teoria atômica. Ele sustentou que a matéria é composta de partículas pequenas e indivisíveis, que as partículas, ou átomos, de cada elemento eram únicas, e que reações químicas estavam envolvidas no rearranjo de átomos para formar novas substâncias. Essa visão das reações químicas define com precisão o assunto atual. A teoria de Dalton forneceu uma base para a compreensão dos resultados de experimentalistas anteriores, incluindo a lei de conservação da matéria (a matéria não é criada nem destruída) e a lei da composição constante (todas as amostras de uma substância têm composições elementares idênticas).

Tentativas de descobrir precisamente como Dalton desenvolveu essa teoria provaram-se inúteis; até as próprias lembranças de Dalton sobre o assunto são incompletas. Ele baseou sua teoria de pressões parciais na ideia de que apenas os átomos presentes em uma mistura de gases se repelem. Essa conceituação explicava por que cada gás em uma mistura se comportava de maneira independente. Embora essa visão tenha se mostrado errônea, ela serviu a um propósito útil ao permitir que ele abolisse a ideia mantida por muitos atomistas anteriores, do filósofo grego Demócrito ao matemático e astrônomo Ruggero Giuseppe Boscovich, do século XVIII, de que átomos de todos os tipos da matéria são iguais. Dalton afirmou que os átomos de diferentes elementos variam em tamanho e massa, e essa afirmação é a característica principal de sua teoria atômica.

Figura 7: Diferença entre átomos de Hidrogênio, Oxigênio e Bromo segundo a teoria de Dalton



Fonte: <http://quimica.caxias.ifrs.edu.br/wp-content/uploads/2017/05/JUNHO-QI.pdf>

Seu argumento de que cada elemento tinha seu próprio tipo de átomo era contra-intuitivo para aqueles que acreditavam que ter tantas partículas fundamentais diferentes destruiria a simplicidade da natureza, mas Dalton considerou fantasiosas suas objeções. Ele se concentrou em determinar as massas relativas de cada tipo diferente de átomo, um processo que poderia ser realizado, segundo ele, considerando apenas o número de átomos de cada elemento presente em diferentes compostos químicos.

Em um livro de memórias lido para a Sociedade Literária e Filosófica de Manchester em 21 de outubro de 1803, ele afirmou: “*Uma investigação sobre os pesos relativos das partículas finais dos corpos é um assunto, tanto quanto eu sei, inteiramente novo; Ultimamente tenho processado este inquérito com um sucesso notável*”. Ele descreveu seu método de medir as massas de vários elementos, incluindo hidrogênio, oxigênio, carbono e nitrogênio, de acordo com a forma como se combinavam com massas fixas umas das outras. Se tais medidas fossem significativas, os elementos teriam que combinar em proporções fixas. Dalton tomou as proporções fixas como garantidas, desconsiderando a controvérsia contemporânea entre os químicos franceses Joseph Louis Proust e Claude-Louis Berthollet sobre essa mesma proposição.

**Tabela 2:** Os pesos atômicos segundo Dalton.

Espécie química	Pesos atômicos ( <i>sic</i> )	
	1805	1808
Hidrogênio	1	1
Azoto	4,2	5
Carbono	4,3	5
Amônia	5,2	6
Oxigênio	5,5	7
Água	6,5	8
Fósforo	7,2	9
Hidrogênio fosforetado (PH <sub>3</sub> )	8,2	-
Gás nitroso (NO)	9,3	12
Éter	9,6	-
Óxido gasoso de carbono (CO)	9,8	12
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	13,7	17
Enxofre	14,4	13
Ácido nítrico (NO <sub>2</sub> )	15,2	19
Hidrogênio sulfuretado (H <sub>2</sub> S)	15,4	16
Ácido carbônico (CO <sub>2</sub> )	15,3	19
Álcool	15,1	16
Ácido sulfuroso (SO <sub>2</sub> )	19,9	-
Ácido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	25,4	34
Hidrogênio carburetado da água estagnada (CH <sub>4</sub> )	6,3	7
Gás olefiante (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	5,3	6

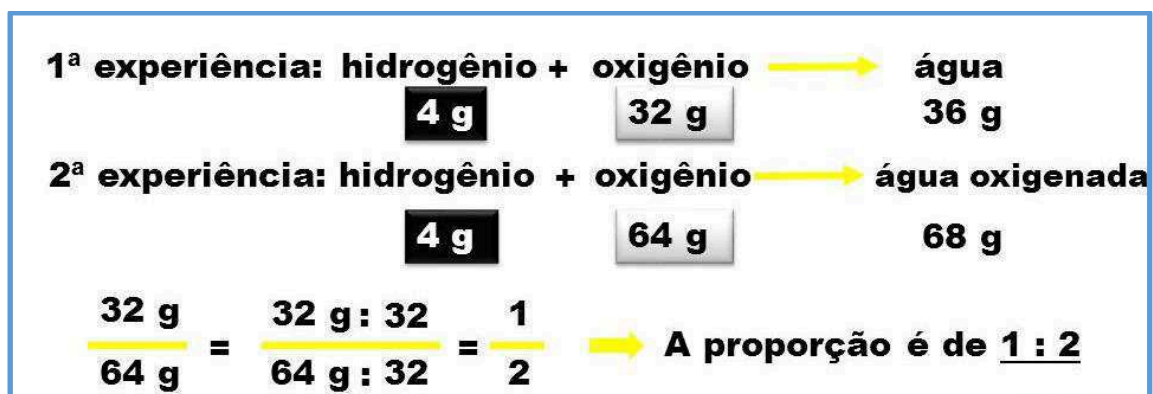
Fonte: FILGUEIRAS, 2004, p. 43.

A primeira coluna da Tabela 2 foi apresentada oralmente por Dalton em 1803 e em seguida, publicada como artigo nas “Memórias da Sociedade Filosófica de Manchester” (2ª série, v. 1, p. 271-287, 1805). A segunda coluna foi publicada no livro “Um Novo Sistema de Filosofia Química” (1808). O padrão é o átomo de hidrogênio, cujo peso atômico foi considerado unitário.

As medidas de Dalton, por mais grosseiras que sejam, permitiram-lhe formular a Lei das Proporções Múltiplas:

**Quando dois elementos formam mais de um composto, as massas de um elemento que combinam com uma massa fixa do outro estão na proporção de pequenos números inteiros.**

Assim, tomando os elementos como A e B, várias combinações entre eles ocorrem naturalmente de acordo com as proporções de massa  $A : B = x : y$  ou  $x : 2y$  ou  $2x : y$ , e assim por diante. Observe o exemplo:



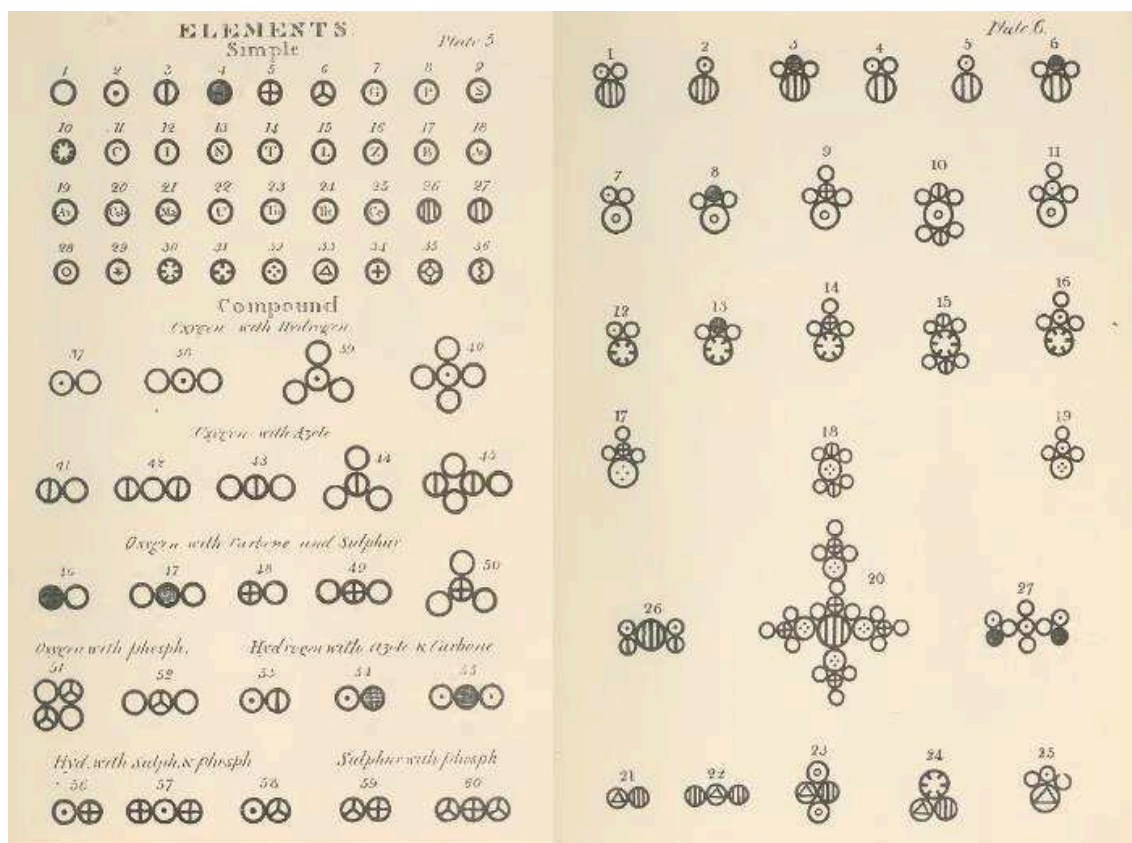
Seguindo a regra do exemplo acima, diferentes compostos foram formados pela combinação de blocos de construção atômica de diferentes massas. Como o químico sueco Jöns Jacob Berzelius escreveu a Dalton: “A lei das múltiplas proporções é um mistério sem a teoria atômica”. E Dalton forneceu a base para essa teoria.

Permaneceu, entretanto, o problema de que o conhecimento das proporções era insuficiente para determinar o número real de átomos elementares em cada composto. Por exemplo, descobriu-se que o metano continha duas vezes mais hidrogênio que o etileno. Seguindo a regra de Dalton de “maior simplicidade”, a saber, que AB é a combinação mais provável para a qual ele encontrou uma justificativa meritória na geometria de



esferas compactadas, ele atribuiu ao metano uma combinação de um carbono e dois átomos de hidrogênio ( $\text{CH}_2$ ) e ao etileno uma combinação de um átomo de carbono e um de hidrogênio ( $\text{CH}$ ). Hoje sabemos que essas combinações não estavam corretas, pois a molécula de metano é quimicamente simbolizada como  $\text{CH}_4$  e a molécula de etileno como  $\text{C}_2\text{H}_4$ . Tal fato se repetiu com outras moléculas. A molécula de água, por exemplo, foi representada como  $\text{OH}$ , hoje se sabe que sua representação é  $\text{H}_2\text{O}$ , e a amônia foi representada como  $\text{NH}$ , contudo o correto é  $\text{NH}_3$ . Isso é menos importante do que o fato de que o sistema de átomos e moléculas de Dalton é quase idêntico ao modo como podemos representá-los hoje. Veja, na Figura 8, os exemplos das representações de Dalton para os elementos e os compostos, como foi publicado em seu livro “Uma Nova Filosofia Química”, inspirada nas representações alquímicas.

Figura 8: Representação de Dalton para os elementos e compostos.



Fonte: DALTON, 1808

Na representação de Dalton, apresentada acima, os elementos são ilustrados por meio de esferas com detalhes que diferenciam cada um, e os compostos são apresentados por meio da combinação desses elementos. A teoria atômica de Dalton triunfou, pois, seu

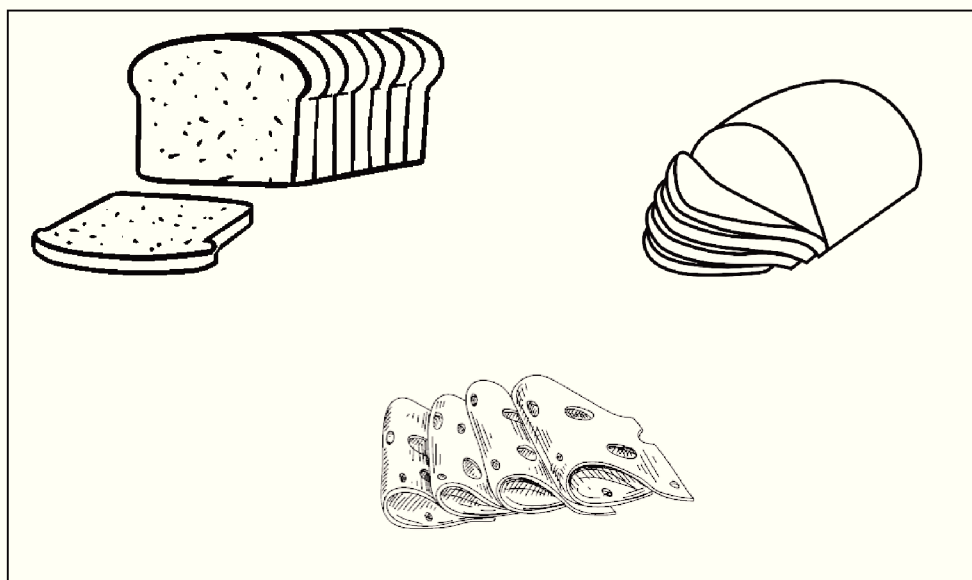
argumento fundamental estava correto, mas o seu aperfeiçoamento foi um processo gradual, finalizado em 1858, somente depois que o químico italiano Stanislao Cannizzaro apontou a utilidade da hipótese de Amedeo Avogadro na determinação das massas moleculares. Desde então, os químicos demonstraram que a teoria do atomismo daltoniano é um fator-chave subjacente a novos avanços em seu campo. A química orgânica, em particular, progrediu rapidamente quando a teoria de Dalton ganhou aceitação.

Após a idade de 50 anos, Dalton realizou pouco trabalho científico de distinção, embora ele continuasse a pesquisar em vários campos. Começou a provar seu valor e ganhou amplo reconhecimento, foi eleito para a irmandade da Royal Society of London e da Royal Society of Edinburgh, recebendo a concessão de um grau honorário na Universidade de Oxford, e eleito como um dos apenas oito associados estrangeiros da Academia Francesa de Ciências, tomando o lugar deixado pela morte de Humphry Davy. Ele também recebeu uma pensão na lista civil da coroa britânica. Em Manchester, foi eleito presidente da Sociedade Literária e Filosófica em 1817, continuando nesse cargo pelo resto de sua vida. A sociedade forneceu-lhe um laboratório depois que o New College se mudou para York. Dalton permaneceu em Manchester e ensinou alunos particulares, morreu de um derrame e a ele foi concedido o equivalente a um funeral de estado por seus colegas da cidade.

## Situações de Aprendizagem

### Vamos montar sanduíches?

**Dica:** Você está recebendo 8 fatias de pão, 8 fatias de queijo e 9 fatias de presunto. Monte sanduíches observando a proporção entre os ingredientes, e represente sua ação por meio de uma equação, como se fosse uma reação química.



1. Quantos sanduíches você preparou?
2. Ocorreu sobra de ingredientes?
3. Qual foi a proporção de ingredientes para montar um sanduíche?
4. Vamos representar o pão, o queijo e o presunto pelos símbolos P, Q e Pr. Escreva a equação de produção dos sanduíches e as quantidades dos ingredientes.

$$\underline{\quad} + \underline{\quad} + \underline{\quad} = \underline{\quad} \text{ sanduíches}$$

5. Como você representaria a fórmula do sanduíche?
6. Escreva a equação de produção dos sanduíches.

## Guia para a atividade

**Para a execução desta atividade o aluno deve ser exposto à seguinte situação:**

- ❖ Os alunos devem ser organizados em pequenos grupos. Cada grupo de alunos deve receber em uma bandeja 8 fatias de pães, 8 fatias de queijo muçarela e 9 fatias de presunto, montar sanduíches com esses ingredientes e em seguida propor uma equação genérica que represente o resultado.

**Regras de ação a serem seguidas:**

- ❖ O grupo precisa estar atento ao raciocínio proporcional e à razão.
- ❖ Montar sanduíches com os ingredientes apresentados.
- ❖ Representar, por meio de uma equação genérica, a montagem dos sanduíches. A equação deve representar fielmente o que o grupo se propôs a fazer.



## Situações de Aprendizagem

### Quais eram as ideias de Dalton acerca das transformações químicas? Como desenvolveu suas formas de representação?

**Obs.: As atividades dessa seção foram adaptadas do livro do GEPEQ (módulo 2, p. 109-130)**

1. Ao comparar o conceito de elemento proposto por Lavoisier com o conceito proposto por Dalton, pode-se afirmar que eles são contraditórios, ou um complementa o outro? Explique sua resposta.

2. As ideias de Dalton sobre os átomos foram representadas por meio de símbolos, carregados de significados. Dessa forma, o símbolo indicava não só o elemento, mas também, um átomo desse elemento, com massa característica, ou alguma massa padrão contendo um certo número de átomos.

Pensando nisso, qual seria a forma mais adequada para explicar que:

- a. a massa atômica é a massa relativa do átomo de um elemento químico?
- b. numa transformação química, a massa se conserva?
- c. transformações químicas envolvem massas proporcionais de reagentes e produtos?

3. Ao analisar as ideias de Dalton sobre a constituição da matéria, e considerando que ele as desenvolveu fundamentando-se na concepção de Newton sobre os gases, na qual eles seriam constituídos por minúsculas partículas dotadas de massa, em constante movimento, interagindo por repulsão, e com grandes espaços vazios entre elas, proponha uma explicação para o que se percebe quando se enche uma bexiga com gás.

4. Observe as questões a seguir e responda-as avaliando a utilização das ideias de Dalton e a limitação dessas ideias para explicar os fatos.

- a. Quando alguém abre um vidro de perfume, em um ambiente interno, é possível perceber a fragrância mesmo não estando tão perto do frasco, por quê?
- b. Como pode ser explicado o fato de um prego de ferro ou um pedaço de madeira serem materiais sólidos, com forma e volume constantes, em condições ambientes? Qual deve ser a estrutura de um sólido?
- c. Em condições ambientes, um líquido, como a água, por exemplo, pode escorrer e tomar a forma do recipiente que o contém, assim como também pode formar gotas. Como é possível explicar tais propriedades?

5. De acordo com Dalton, a matéria é constituída por diferentes partículas, que por sua vez formam as diferentes substâncias. Poderiam ser átomos de um único elemento, ou “átomos compostos” com mais de um elemento. Qual seria a explicação para o fato de que somente as substâncias compostas se decompõem?

6. Segundo Dalton, os átomos são partículas indivisíveis e indestrutíveis. Com base nessa afirmação:

a. Como é possível interpretar as transformações químicas? E a reversibilidade encontrada em algumas delas?

b. E o envolvimento de energia nas reações, em particular a sua liberação nas combustões, é possível explicar? Justifique.

7. Sabe-se que as concepções sobre a constituição da matéria são constantemente reelaboradas, e a forma de representar essas concepções acompanham essa reelaboração. Dalton representava os átomos e as substâncias por meio de símbolos circulares, como pode ser observado na figura abaixo,

Elementos		ma	Elementos		ma
	Hydrogênio	1		Estrôncio	46
	Azoto	5		Barita <sup>2</sup>	68
	Carbono	5,4		Ferro	50
	Oxygênio	7		Zinco	56
	Fósforo	9		Cobre	56
	Enxofre	13		Chumbo	90
	Magnésio	20		Prata	190
	Cal <sup>1</sup>	24		Ouro	190
	Soda	28		Platina	190
	Potassa	42		Mercúrio	167

<sup>1</sup>- Óxido de cálcio – hoje se sabe que é formado por dois elementos.

<sup>2</sup>- Uma das formas comuns que se encontra o Bário na natureza.

Tomando como base essas informações, represente três elementos utilizando os símbolos de Dalton e os símbolos utilizados atualmente. Qual o significado desses símbolos?

8. Considerando que as partículas que constituem o ácido clorídrico sejam formadas pela união de um átomo de hidrogênio com um átomo de cloro, sendo atualmente representadas pelo símbolo HCl, e sabendo que 1,0g de gás hidrogênio interage com

35,5g de gás cloro para formar 36,5g de ácido clorídrico, qual a massa atômica do cloro em relação ao hidrogênio? Explique seu raciocínio.

9. Observe as substâncias:  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (hidróxido de cálcio),  $\text{H}_2\text{O}$  (água),  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  (sulfato de ferro III), agora escreva a quantidade de átomos de cada elemento que compõem as partículas dessas substâncias.

10. Qual a diferença entre as representações: 2 O,  $\text{O}_2$  e  $2 \text{O}_2$ ?

11. Para Dalton as transformações químicas nada mais eram que rearranjos de átomos, sendo assim, na equação:  $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$ , quantas partículas de cada reagente se rearranjam para formar uma partícula do produto?

12. Na equação não balanceada:  $\text{Mg} + \text{HCl} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{H}_2$ , qual a quantidade de partículas de cada reagente se rearranja para formar seis partículas de cada produto?

## Guia para a atividade

**Para a execução desta atividade o aluno deve ser exposto à seguinte situação:**

- ❖ Apresente aos alunos as ideias de Dalton sobre as transformações químicas, promovendo uma comparação com as ideias de Lavoisier. Mostre exemplos das representações circulares de Dalton e destaque a evolução dos modelos.
- ❖ Entregue aos alunos uma ficha com atividades adaptadas sobre as transformações químicas, iniciando com a discussão sobre as representações circulares criadas por Dalton em comparação às de Lavoisier e à atual.

**Regras de ação a serem seguidas:**

- ❖ Os alunos precisam compreender a discussão sobre modelos de átomos diferenciando o conceito de elementos químicos propostos por Lavoisier e Dalton, para dessa forma compreender a representação atual. Perceber que as formas de representação são complementares e se alteram com o tempo.
- ❖ Estabelecer relações entre a constituição da matéria e as características dos estados físicos em que ela se apresenta.
- ❖ Compreender o poder explicativo dos modelos, mobilizando informações, como massa, para elaboração do modelo que leva ao número de partículas.

## Que tal conhecer mais sobre o trabalho de Dalton por meio de seus próprios escritos?

### LIVRO: A NEW SYSTEM OF CHEMICAL PHILOSOPHY

(Tradução nossa)

#### Capítulo 4 (Seção 1) – Oxigênio (Páginas 223 a 225)

O estado mais simples no qual o oxigênio pode ser procurado é aquele de um gás ou fluido elástico. O gás pode ser obtido,

1º- *Sem aplicação de calor* – coloque 2 onças (28,35g) de chumbo vermelho (mínio) em uma garrafa de gás de 5 onças; então coloque uma onça do ácido sulfúrico mais forte; agite-a instantaneamente para promover a mistura, e adapte uma rolha com um tubo curvado: repentinamente uma grande quantidade de calor é gerada, fumaça branca enche a garrafa e se segue um fluxo abundante de gás, o qual pode ser depositado em um frasco sobre água, de forma usual. Aproximadamente, 30 polegadas cúbicas (1 polegada=2,54 cm) podem ser previstas. O gás deve ser exposto a uma mistura de água e ácido cítrico a qual absorverá 2/5 dele (ácido carbônico) e permanece um resíduo quase puro.

2º- *Com aplicação de calor* – coloque 2 onças de manganês ( dióxido de manganês, encontrado na pirolusita<sup>10</sup>) dentro de uma garrafa de ferro ou um cilindro metálico adequadamente preparado no qual um tubo recurvado é adaptado. Isto (o sistema) é então colocado no fogo e aquecido até ficar vermelho; gás oxigênio será liberado sendo recolhido como anteriormente; ele usualmente contém uma pequena porção de ácido carbônico a qual pode ser extraída com a mistura de água e cal. Três ou quatro quartilhos<sup>11</sup>(16 onças = 0,568L) de ar podem então ser obtidos.

3º - Duas onças de manganês podem ser colocadas num frasco com o mesmo peso de ácido sulfúrico; a mistura é feita numa pasta exposta ao calor de uma lamparina ou vela, e o gás é liberado como anteriormente, quase puro, se colocado sobre a água.

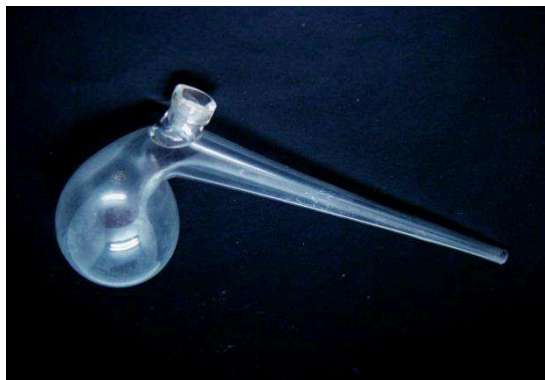
<sup>10</sup> Pirolusita – black oxide



<sup>11</sup> Unidade de medida pré-métrica de volume

4º- Se uma onça de nitre<sup>12</sup> é colocada numa garrafa de ferro, e exposto a uma chama vermelha forte, uma grande quantidade de gás (2 ou 3 galões<sup>13</sup>) pode ser obtida. Ela consiste de aproximadamente 3 partes de oxigênio e uma de azoto, misturados juntos.

5º- Coloque 100 grãos<sup>14</sup> de sal chamado clorato de potássio ( $\text{KClO}_3$ ) numa retorta de vidro ou barro; aqueça com uma lamparina até a retorta ficar parcialmente avermelhada, e a quantidade de gás oxigênio será expelida com grande rapidez. Em torno de 100 polegadas cúbicas serão obtidas livre de ácido carbônico e em relação a outros muito puro.



#### Capítulo 4 (Seção 1) - Propriedades do oxigênio (Páginas 225 a 228)

Para enumerar todas as propriedades do oxigênio e as combinações na qual ele entra, seria escrito meio compêndio de Química. Para o presente trabalho será suficiente destacar algumas das características mais relevantes.

1. Se a gravidade específica do ar atmosférico é denotada por 1, a do oxigênio será 1,127 segundo Davy, mas outros têm encontrado valores menores. Uma centena de polegadas cúbicas dele, a temperatura de 55°F, e pressão de 30 polegadas de mercúrio, pesa quase 35 grãos; a mesma quantidade de ar atmosférico pesa 31,1 grãos. O peso de um átomo de oxigênio é denotado por 7, sendo o do átomo de hidrogênio 1; isto é inferido dos pesos relativos daqueles elementos entrando em combinação para formar água. O diâmetro da partícula de oxigênio no seu estado elástico está para o do hidrogênio como 0,794 para 1<sup>15</sup>.

<sup>12</sup> Nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ )

<sup>13</sup> Unidade de volume do sistema britânico imperial usada para líquidos (4,546L)

<sup>14</sup> Menor unidade de massa do sistema britânico, igual a 0,002285 onças ou 64,8 m

<sup>15</sup> Para o diâmetro de uma partícula elástica é a raiz cúbica do peso de um átomo dividido pela gravidade específica do fluido. De onde, denotando o peso de um átomo de hidrogênio por 1, e a gravidade específica do gás hidrogênio também por 1, o peso de um átomo de oxigênio será 7, e a

gravidade específica do gás oxigênio 14; temos então  $\sqrt[3]{\frac{7}{14}} : 1$ , ou  $\sqrt[3]{\frac{1}{2}} : 1$ , ou 0,794: 1 assim como o

diâmetro de um átomo de oxigênio está para o diâmetro de hidrogênio.

2. Oxigênio une com hidrogênio, carvão vegetal, nitrogênio, fósforo, e outros corpos denominados combustíveis, de várias maneiras e proporções; quando misturado com hidrogênio e algum outro fluido elástico, ele explode por uma fagulha elétrica com barulho e um choque violento no recipiente, com liberação de muito calor. Isto é chamado de detonação. Em outros casos, a união do oxigênio com outros corpos é mais lenta, mas acompanhada por calor. Isso é usualmente chamado combustão, como na queima do carvão vegetal; e inflamação, quando acompanhado com chama como na queima do óleo. Em outros casos, a união é ainda mais lenta e, conseqüentemente, com pouco aumento de temperatura, como na deterioração de metais. Isto é chamado oxidação.

Corpos queimam na atmosfera, ou a camada de ar que envolve a Terra, em consequência do oxigênio nela contido, o qual é dado ser mais de 1/5 de toda a massa. Conseqüentemente, não é de surpreender que, no oxigênio puro, eles queimem com a rapidez e brilho muito superior àquele observado na combustão ordinária. Isto é facilmente exibido, mergulhando o corpo incandescente num frasco grande cheio de oxigênio; uma torneira, pequeno fio de ferro, carvão vegetal, e quase todos os fósforos, queimam com um brilho inconcebível neste gás. A natureza dos novos compostos formados será melhor considerada depois que as propriedades de outros princípios elementares tenham sido listadas.

3. A parte da atmosfera que é necessária para manter a vida animal é o gás oxigênio. Conseqüentemente, um animal pode subsistir por mais tempo numa dada quantidade de gás oxigênio puro que na mesma quantidade do ar comum ou atmosférico. No processo de respiração, uma porção de gás oxigênio desaparece e uma igual de ácido carbônico é produzida; uma mudança similar ocorre na combustão do carvão vegetal; é inferido, por consequência, que a respiração é a fonte do calor animal. Ar atmosférico inspirado contém em torno de 21% de gás oxigênio; o ar expirado, usualmente, contém em torno de 17% de oxigênio e 4 de ácido carbônico. No entanto, se uma expiração completa de ar for feita e a última porção do ar expirado for examinada, serão encontrados 8 a 9% de ácido carbônico, tendo-se perdido a mesma quantidade de gás oxigênio.
4. O gás oxigênio não é sensivelmente afetado pela passagem contínua de faíscas elétricas ou choques através dele; nenhuma outra operação pode ser feita para decompô-lo.

#### Capítulo 4 (Seção 2) – Hidrogênio (p. 228 a 231)

Gás hidrogênio pode ser adquirido pegando-se metade de uma onça de raspas, lascas ou outros pedaços pequenos de ferro ou zinco, colocando-os num frasco com duas ou três onças de água, despejando neste, quando muito,  $\frac{1}{4}$  de ácido sulfúrico, e uma efervescência será produzida com abundância de gás que se deposita sobre água na forma usual.

Algumas das propriedades relevantes são:

1. É o gás mais leve que se conhece. Sua gravidade específica é aproximadamente 0,0805, sendo a do ar atmosférico 1. Este é aproximadamente a média alcançada

dos resultados de diferentes filósofos. De onde eu encontro que 100 polegadas cúbicas deste gás pesam aproximadamente  $2 \frac{1}{2}$  grãos à temperatura e pressão médias. É declarado ser  $\frac{1}{14}$  do peso do oxigênio e  $\frac{1}{12}$  do peso do azoto e quase a mesma parte fracionária do peso do ar comum. O peso do átomo de hidrogênio é denotado como 1 e ele é feito de padrão de comparação para outros átomos elementares. O diâmetro de um átomo de hidrogênio, no seu estado elástico, é da mesma forma denotada pela unidade, e considerado como um padrão de comparação para o diâmetro dos átomos de outros fluidos elásticos.

2. Ele extingue corpos queimando, e é fatal para animais que o respiram.
3. Se um frasco é cheio com esse gás, e uma vela acesa, ou um ferro vermelho quente é aproximado do gargalo, o gás pega fogo e queima gradualmente até ser totalmente consumido. A chama é usualmente avermelhada ou branca amarelada.
4. Quando gás oxigênio e hidrogênio são misturados juntos, não é notada a mudança; mas se uma vela acesa é aproximada da mistura, ou uma faísca elétrica é passada através dela, ocorre uma violenta explosão. Os dois gases unem-se numa proporção constantemente a mesma, e produzem vapor, o qual num meio frio é instantaneamente condensado em água. Quando duas medidas de hidrogênio são misturadas com uma de oxigênio, e explode sobre água, o gás inteiro desaparece e o recipiente fica cheio com água, em consequência da formação e subsequente condensação do vapor.

Se duas medidas de ar atmosférico são misturadas com uma de hidrogênio, e uma faísca elétrica passa através da mistura, ocorre uma explosão e o gás residual encontrado é  $1 \frac{3}{4}$  de medidas, consistindo de azoto e uma pequena porção de hidrogênio. A porção da mistura que desaparece,  $1 \frac{1}{4}$ , sendo dividida por 3 dá aproximadamente  $\frac{1}{4}$ , denotando o oxigênio nas duas medidas de ar atmosférico, ou 21%. O instrumento para explodir tais misturas é chamado eudiômetro de Volta.

5. Outra propriedade notável do hidrogênio que merece destaque, apesar de não ser peculiar a ele, mas pertence em diferentes graus a todos os outros gases que diferem materialmente do ar atmosférico em gravidade específica; se um frasco cilíndrico de duas ou mais polegadas de diâmetro está cheio com hidrogênio, é suspenso e destampado por um momento ou dois quase todo conteúdo é esvaziado e substituído por gás atmosférico. Neste caso deve, evidentemente, sair do recipiente todo o material e o outro entrar da mesma maneira. Mas se o frasco de hidrogênio for mantido com o gargalo para baixo, ele perde o gás hidrogênio lentamente e gradualmente, e o ar atmosférico entra da mesma maneira; depois de alguns minutos serão encontrados ainda traços de hidrogênio remanescentes no frasco. Se um tubo de doze polegadas de comprimento e  $\frac{1}{4}$  de polegada de diâmetro interno for preenchido com hidrogênio nota-se pouca diferença se é mantido para cima ou para baixo; o gás escoar lentamente e gradualmente em cada caso, expirando após dez minutos, como seria após dois ou três segundos se o tubo tivesse uma polegada ou mais de diâmetro. Se um frasco de 3 ou 4 onças está cheio com hidrogênio, e uma rolha adaptada contendo um tubo de 2 ou 3 polegadas de comprimento e um décimo de polegada de diâmetro interno, não há qualquer diferença material na perda do gás se o frasco é mantido para cima ou para baixo; algumas horas se passarão antes de o hidrogênio ser dispersado.



6. Gás hidrogênio pode ser sujeito a eletrificação sem mudança.

#### Capítulo 4 (Seção 3) - Sobre o azoto ou nitrogênio (p.231 a 234)

Gás azótico ou nitrogênio pode ser obtido do ar atmosférico, do qual constitui a maior parte, por vários processos:

1. Para 100 medidas de ar atmosférico, colocam-se 30 de gás nitroso; a mistura mantida por algum tempo, deve ser passada duas ou três vezes através da água; ainda conterà uma pequena porção de oxigênio; para o resíduo colocam-se mais cinco medidas de gás nitroso e repita o procedimento anterior; pequenas porções do resíduo devem ser testadas separadamente pelo gás nitroso e pelo ar atmosférico, para ver se ocorre qualquer diminuição; se produzir uma diminuição após a mistura mostra que é esperado e outra redundante; conseqüentemente, uma pequena adição ao estoque deve ser feita em conformidade. Em poucas tentativas a proporção devida pode ser achada e o gás sendo bem lavado pode ser considerado azoto puro.
2. Se uma quantidade de polissulfeto de cálcio ( $\text{CaS}_x$ ) (um líquido amarelo obtido pela fervura de uma onça de uma mistura de partes iguais de enxofre e cal num quarto de água até reduzir a um quartilho) for agitado em duas ou três vezes sua massa de ar atmosférico por algum tempo, desprenderá todo oxigênio e resultará gás azótico puro.
3. Se para 100 medidas de ar atmosférico, 42 de hidrogênio são colocadas e uma faísca elétrica passada através da mistura, ocorrerá uma explosão expelindo 80 medidas de gás azótico, etc.

As propriedades deste gás são:

1. A gravidade específica do gás azótico à temperatura de  $55^{\circ}\text{F}$  e pressão de 30 polegadas é 0,967 segundo Davy considerando a do ar 1. O peso de 100 polegadas cúbicas é quase 30 grãos. O peso de um átomo de azoto é denotado por 5 sendo do hidrogênio 1; isto é inferido principalmente do composto denominado amônia e daquele de azoto e oxigênio que será visto depois. O diâmetro da partícula de azoto, no seu estado elástico está para aquele de um de hidrogênio assim como 0,747 está para 1.
2. Como hidrogênio, ele extingue as chamas em corpos incandescentes e é fatal se respirado por animais.
3. Gás azótico é menos propenso à combinação que a maioria dos gases, nunca combina com outro gás sozinho (só Nitrogênio); no entanto, se uma mistura dele com oxigênio está sujeita à passagem de uma faísca elétrica longa e contínua, ocorre uma combustão lenta do azoto e ácido nítrico é formado. Em outros casos, azoto pode ser obtido em combinação com oxigênio em várias proporções, e os compostos podem ser analisados, mas não facilmente sintetizados.
4. Gás azótico, conforme citado, constitui aproximadamente  $\frac{4}{5}$  do ar atmosférico, não obstante ser fatal para os animais que o respiram no seu estado não misturado; os outros  $\frac{1}{5}$  é gás oxigênio, o qual é meramente misturado e difundido através dos formadores. Essa mistura constitui a parte principal da atmosfera, sendo adequado, como notamos, para a vida animal e combustão.
5. Gás azótico não é afetado por eletrificações repetidas.

## Questões de aprofundamento

- 1- Represente as reações descritas através de uma equação para cada.
- 2- Você considera o que fez fácil ou difícil?
- 3- Descreva as quantidades de reagentes e produtos em uma unidade de medida usual nos nossos dias.
- 4- Compare a realização dos itens anteriores com as conversões que foram necessárias para a leitura do capítulo do livro de Lavoisier.
- 5- Com os procedimentos utilizados por Dalton para a obtenção do gás oxigênio, você acredita que suas reações realmente produziram o gás oxigênio? Justifique.
- 6- Por que foi importante para Dalton testar vários procedimentos para a obtenção do gás oxigênio?
- 7- Qual a diferença na produção de gás oxigênio por método utilizando calor e não utilizando calor?
- 8- Nos trabalhos de Dalton, você considera que há uma preocupação com as medidas ou quantidades de reagentes utilizados em seus estudos? Justifique.
- 9- Em comparação aos trabalhos de Lavoisier, Dalton tem as mesmas preocupações em relação às quantidades utilizadas em seus experimentos?

## Guia para a atividade

**Para a execução desta atividade o aluno deve ser exposto à seguinte situação:**

- ❖ Realize a leitura da tradução livre do Capítulo 4 (seções 1, 2 e 3) do livro “Um Novo Sistema de Filosofia Química”, juntamente com os alunos, destacando o ano da publicação, justificando dessa maneira as características da escrita, analisando e comparando as grandezas físicas e unidades de medida presentes no texto, bem como as ideias do autor.

**Regras de ação a serem seguidas:**

- ❖ Compreender o desenvolvimento do pensamento dos cientistas por meio dos próprios registros, e comparar criticamente os métodos utilizados nas pesquisas.
- ❖ Representar as reações descritas através de uma equação para cada.
- ❖ Descrever as quantidades de reagentes e produtos em uma unidade de medida usual nos nossos dias.



O Capítulo 4 trouxe a história do cientista responsável por uma Teoria Atômica inédita em sua época e que, durante o percurso, realizou trabalhos muito importantes para o desenvolvimento da Química e da ciência como um todo. A teoria de Dalton forneceu uma base para a compreensão dos resultados de experimentalistas anteriores, incluindo a lei de conservação das massas, de Lavoisier, e a lei das proporções constantes de Proust. Ele também foi responsável por desenvolver um sistema de representações para os elementos e os compostos, além da autoria da Lei de Proporções Múltiplas. As Situações de Aprendizagem, neste capítulo, objetivavam levar os alunos a compreender e diferenciar o conceito de elementos químicos propostos por Lavoisier e Dalton, e a mobilizar informações na resolução de questões que envolvem as formas de representação e as massas dos elementos e compostos.

**CAPÍTULO 5 –  
Avogadro, a  
conciliação da teoria  
atômica de Dalton e  
o trabalho de Gay-  
Lussac com os gases.**

# Feitos científicos

## Joseph Louis Gay Lussac



Joseph Louis Gay-Lussac (nascido em 6 de dezembro de 1778, em Saint-Léonard-de-Noblat, França - falecido em 9 de maio de 1850 em Paris), químico e físico francês, pioneiro em investigações sobre o comportamento dos gases, estabeleceu novas técnicas para análise e fez avanços notáveis na química aplicada.

Gay-Lussac era o filho mais velho de um advogado provincial e funcionário real que perdeu sua posição na Revolução Francesa de 1789. Seu pai o enviou para um colégio interno em Paris a fim de prepará-lo para estudar direito. No início de sua

escolaridade, Gay-Lussac adquiriu um interesse pela ciência, e sua capacidade matemática lhe permitiu passar no exame de admissão para a recém-fundada Escola Politécnica (École Polytechnique), onde as despesas dos estudantes eram pagas pelo estado. Embora a escola tenha sido projetada principalmente para treinar engenheiros, a química formava uma parte importante do currículo. Gay-Lussac provou ser um estudante exemplar durante seus estudos de 1797 a 1800. Após a formatura, ele entrou para a prestigiosa Escola de Pontes e Rodovias (École Nationale des Ponts et Chaussées). Ele se retirou desta escola em 1801 para se tornar assistente de pesquisa do químico Claude-Louis Berthollet, que havia instalado recentemente um laboratório em sua casa de campo em Arcueil, nos arredores de Paris, tornou-se o foco de uma sociedade científica privada pequena, mas muito influente. O primeiro volume de memórias da sociedade, publicado em 1807, incluiu contribuições de Gay-Lussac.

O químico francês Claude Louis Berthollet (1748-1822) fez muitas contribuições originais para a química teórica e aplicada, e foi um dos principais discípulos de Lavoisier. Ele fez um estudo especial sobre a química do tingimento a partir do qual publicou uma importante obra de dois volumes em 1791. E ainda, revolucionou a indústria do branqueamento, descrevendo a ação de branqueamento do gás cloro em uma solução alcalina. A carreira de Berthollet atingiu seu clímax durante a era napoleônica, quando ele foi escolhido para acompanhar Napoleão na expedição ao Egito e se tornou um membro proeminente do instituto científico e arqueológico que Napoleão estabeleceu no Cairo.

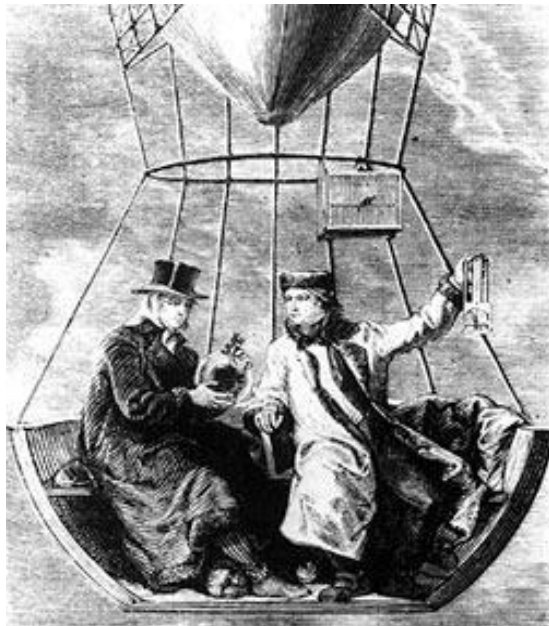
Na cidade de Arcueil, Berthollet foi acompanhado pelo eminente matemático Pierre-Simon Laplace, que contratou Gay-Lussac em experimentos sobre capilaridade para estudar forças de curto alcance. A primeira publicação de Gay-Lussac (1802), no entanto, foi sobre a expansão térmica de gases. Para garantir resultados experimentais mais precisos, ele usou gases secos e mercúrio puro. Ele concluiu, a partir de seus experimentos, que todos os gases se expandem igualmente na faixa de temperatura de 0 a 100 ° C (32 a 212 ° F). Esta lei, geralmente (e erroneamente) é atribuída ao físico francês Jacques Alexandre Cesar Charles como a "lei de Charles", foi a primeira de várias regularidades no comportamento da matéria que Gay-Lussac estabeleceu. Mais tarde, ele escreveu: "Se alguém não estivesse animado com o desejo de descobrir leis, muitas vezes escapariam da atenção mais esclarecida". Das leis que Gay-Lussac descobriu, ele continua sendo mais conhecido por sua lei dos volumes combinados de gases (1808). Ele já havia estabelecido, em 1805, que o hidrogênio e o oxigênio combinam em volume na proporção de 2: 1 para formar água. Experimentos posteriores com trifluoreto de boro e amônia produziram fumos espetacularmente densos e o levaram a investigar reações semelhantes, como a que ocorre entre o cloreto de hidrogênio e a amônia, que se combinam em volumes iguais para formar cloreto de amônio. Um estudo mais aprofundado permitiu-lhe generalizar sobre o comportamento de todos os gases. A abordagem de Gay-Lussac ao estudo da matéria era consistentemente volumétrica e não gravimétrica, em contraste com a de seu contemporâneo inglês John Dalton.

Outro exemplo do gosto de Gay-Lussac por razões volumétricas apareceu em uma investigação de 1810, sobre a composição de substâncias vegetais, realizada com seu amigo Louis Jacques Thénard. Juntos, eles identificaram uma classe de substâncias (mais tarde chamadas de carboidratos), incluindo açúcar e amido que continham hidrogênio e



oxigênio na proporção de 2: 1. Eles anunciaram seus resultados na forma de três leis, de acordo com a proporção de hidrogênio e oxigênio contidos nas substâncias.

Figura 9: Exploração no balão em 24 de agosto de 1804.



Fonte: <https://www.sciencehistory.org/historical-profile/joseph-louis-gay-lussac>

Quando jovem, Gay-Lussac participou de explorações perigosas para fins científicos. Em 1804, ele subiu em um balão de hidrogênio com Jean-Baptiste Biot, a fim de investigar o campo magnético da Terra em altas altitudes e estudar a composição da atmosfera. Eles alcançaram uma altitude de 4.000 metros (cerca de 13.000 pés). Em um voo solo seguinte, Gay-Lussac chegou a 7.016 metros (mais de 23.000 pés), estabelecendo, assim, um recorde que permaneceu intacto por meio século, para o voo de balão mais alto. Em meados de 1805/

1806, em meio às guerras napoleônicas, Gay-Lussac embarcou em uma turnê europeia com outro colega de Arcueil, o explorador prussiano Alexander von Humboldt.

A pesquisa de Gay-Lussac, juntamente com o patrocínio de Berthollet e do grupo Arcueil, ajudou-o a se tornar membro da prestigiosa Primeira Classe do Instituto Nacional (mais tarde a Academia de Ciências) em um estágio inicial de sua carreira (1806). Embora nenhuma vaga na seção de química existisse, suas credenciais em física eram suficientemente fortes para permitir que ele entrasse naquela seção. Em 1807, publicou um estudo importante sobre o aquecimento e resfriamento produzido pela compressão e expansão de gases. Isso depois de ter significância para a lei de conservação de energia. Três anos antes, Gay-Lussac havia sido nomeado para o posto de repetidor<sup>16</sup> na École Polytechnique (Escola Politécnica), onde, em 1810, ele recebeu uma cátedra (cadeira de professor) em química que incluía um salário substancial. Ele também foi admitido como professor de Física na Faculdade de Ciências em Paris, após a sua fundação em 1808. Nesse mesmo ano, ele se casou com Geneviève Rojot, com quem teve cinco filhos.

<sup>16</sup>O repetidor tinha como atribuição repetir as aulas a que assistia para os alunos que estavam sob a sua responsabilidade, acompanhá-los no recreio, apresentar o instituto aos visitantes, corrigir os exercícios dados pelo professor e substituí-lo quando fosse preciso

Em 1816, Gay-Lussac atuou como o editor conjunto dos *Annales de chimie et de physique* (Anais de Química e Física), uma posição que ele compartilhou com seu ex-colega de Arcueil, François Arago. Em 1818, tornou-se membro da comissão de pólvora do governo. Ainda mais lucrativa foi sua nomeação em 1829 como diretor do departamento de ensaios da Casa da Moeda de Paris, para a qual desenvolveu um método preciso para o ensaio da prata. Gay-Lussac também realizou experimentos para determinar o teor de álcool nos licores alcoólicos. Nos seus últimos anos, serviu como consultor para a fábrica de vidro da Saint-Gobain. Tal variedade de compromissos atesta o valor que seus contemporâneos deram à aplicação da química na solução de problemas sociais e econômicos. Ainda assim, Gay-Lussac não escapou das críticas dos colegas por se desviar do caminho da ciência “pura” e rumo ao caminho do ganho financeiro.

Gay-Lussac foi uma figura-chave no desenvolvimento da nova ciência da análise volumétrica. Em 1848 (o ano das revoluções), Gay-Lussac renunciou de suas várias nomeações em Paris, e se retirou para uma casa de campo de sua juventude, que foi abastecida com sua biblioteca e um laboratório particular. Na primavera de 1850, percebendo que estava morrendo, pediu a seu filho que queimasse um tratado que ele havia começado chamado “*Philosophie chimique*” (Filosofia Química). Em um elogio feito após sua morte na Academia de Ciências, seu amigo, o físico Arago, resumiu o trabalho científico de Gay-Lussac<sup>17</sup> como o de "um engenhoso físico e um excelente químico".

---

<sup>17</sup> Obs.: Não colocamos no material exercícios diretamente ligados à Lei de Gay-Lussac, pois o objetivo quanto à abordagem da sua biografia e seus estudos é introduzir a importância do trabalho de Avogadro na conciliação da teoria atômica de Dalton e o trabalho de Gay-Lussac com os gases.



# Feitos científicos

## Amedeo Avogadro

A contribuição de Gay-Lussac foi bastante significativa para o desenvolvimento dos cálculos estequiométricos, mas só foi aceita e compreendida a partir do trabalho de Amedeo Avogadro.

O conde Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro nasceu em Turim, Itália, em 09 de agosto de 1776. Avogadro se formou em jurisprudência em 1792, mas não praticou a profissão até receber seu doutorado em direito quatro anos depois,



quando passou a exercê-la em escritórios de advocacia e a ocupar outros cargos administrativos, e só mais tarde perceber sua vocação científica.

No final do século XVIII, ele recebeu cursos de física, incluindo eletricidade, e publicou, com calma, dois testes de eletricidade. Sua estreia na comunidade científica de Turim é notada e Avogadro torna-se membro da Academia de Ciências de Turim em 1804.

Em 1809, seu trabalho tomou uma nova direção depois de ler o livro *System of Chemistry (Sistema de Química)*, de Thomas Thomson, um dos primeiros químicos a aceitar a teoria atômica. Avogadro então se esforça por dois anos para provar, como veremos, que a abordagem atomística de Dalton e a abordagem volumétrica proposta por Gay-Lussac são compatíveis. Em 1811, Avogadro expôs sua famosa hipótese, que, embora tenha permitido um avanço significativo na pesquisa científica do século XIX, foi ignorada durante os cinquenta anos que se seguiram à sua publicação.

Em janeiro de 1815, ele se casou com Felicita Mazzia, com quem teve seis filhos. Avogadro então dedica o resto de sua vida à família, em vez de buscar seu sucesso profissional, morreu em 9 de julho de 1856 em Turim, com a idade de 80 anos. A hipótese

de Avogadro começou a ganhar amplo apelo entre os químicos somente depois que seu compatriota e colega cientista, Stanislao Cannizzaro, demonstrou seu valor em 1858, dois anos após sua morte. Para a maioria dos químicos do início do século XIX, a existência de átomos parecia ser uma ideia completamente louca. No entanto, uma descrição precisa da matéria tornava-se necessária para explicar muitos resultados experimentais.

Os proponentes da teoria atômica concordaram com uma descrição corpuscular da matéria. Ou seja, a matéria não é contínua nem infinitamente divisível e, portanto, consiste de partículas indivisíveis, hoje chamadas de átomos. John Dalton era um fiel defensor dessa teoria, e graças à sua “Lei das proporções múltiplas” conseguiu determinar os pesos atômicos relativos de corpos simples tomando como uma unidade a massa de hidrogênio e considerando que o peso atômico de cada elemento é a quantidade que reage com um grama de hidrogênio para formar a combinação mais estável.

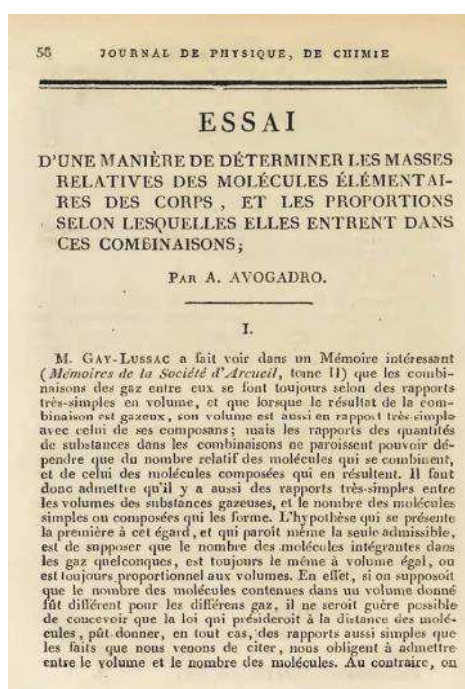
Ao mesmo tempo, Gay Lussac estava interessado na combinação de compostos químicos gasosos e afirma uma lei bastante semelhante à de Dalton: "Todos os gases, ao agirem uns sobre os outros, combinam sempre nas relações mais simples (... de 1 para 1, de 1 para 2, ou de 1 para 3...), e estas relações de volume não são observadas em substâncias sólidas e líquidas, ou quando consideramos pesos". Essa teoria foi fortemente rejeitada por Dalton, pois parecia incompatível com a síntese da água. De fato, Dalton fez a suposição simples de que os átomos se combinam na razão de 1:1. Descreveu, por exemplo, a reação de formação de água como sendo:  $H + O \rightarrow HO$ , enquanto as medidas em volume de Gay-Lussac iam na direção da reação  $2H + O \rightarrow H_2O$ , uma vez que requer a reação entre dois volumes de hidrogênio e um volume de oxigênio.

Para dar uma explicação teórica da lei de volumes de Gay-Lussac, Avogadro afirma em seu ensaio publicado em 1811 (Figura 3), “*Teste de uma maneira de determinar as massas relativas das partículas elementares de corpos e proporções em que eles insiram as combinações*”, que: "O número de moléculas integradoras (que hoje é chamado apenas de moléculas) em qualquer gás é sempre o mesmo em volume ou é sempre proporcional a volumes."

Para obter a sua hipótese, Avogadro diz, uma vez que os gases têm todos substancialmente o mesmo coeficiente de expansão e que são comprimidos da mesma forma (na mesma temperatura e pressão), há necessariamente o mesmo "vazio" entre as partículas, portanto o mesmo número de espécies no mesmo volume. Avogadro, no entanto, faz objeção à sua hipótese. De fato, se em uma combinação uma molécula de um gás combina com várias moléculas de outro gás, o número de moléculas do composto

resultante deve permanecer o número de moléculas do primeiro gás. Mas isso não está de acordo com os resultados de Gay-Lussac sobre a reação de formação da água. Para resolver esse problema, Avogadro formulou a hipótese de que o hidrogênio e o oxigênio são na verdade moléculas diatômicas. A equação de formação da água se torna:  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ . Avogadro conclui seu trabalho afirmando que sua hipótese "é basicamente o sistema de Dalton, provido de um novo meio de precisão pela conexão que encontramos lá com o estabelecido pelo Sr. Gay-Lussac". Graças à sua hipótese, Avogadro concilia o trabalho de Dalton e Gay-Lussac.

Figura 10: A hipótese de Avogadro publicada neste ensaio em 1811



Fonte: AVOGADRO (1811)

Ampère declarará em 1814, três anos depois, uma hipótese semelhante, e após a elaboração do seu trabalho, afirmou que não estava ciente da hipótese de Avogadro. A princípio, a hipótese de Avogadro foi ignorada, rejeitada ou mal-entendida. Essa ignorância pode, em parte, ser justificada pela personalidade incomum de Avogadro. Ao contrário de muitos de seus contemporâneos, ele não tinha um mentor, não fazia parte de nenhum grupo de pesquisa, e raramente se comunicava ou viajava. Sua falta de contato com o mundo intelectual e científico limitou as discussões em torno de seu ensaio.

Além disso, naquele momento, poucos créditos eram dados para trabalhos que não foram verificados experimentalmente. Mas Avogadro estava restrito a um estudo teórico da química, usando os resultados experimentais de outros cientistas.

A hipótese de Avogadro é, sem dúvida, inovadora demais em relação ao conhecimento da época. Supor que moléculas eram compostas de dois átomos semelhantes parecia estranho, especialmente no contexto da teoria eletroquímica de Berzelius, em que qualquer combinação é explicada por cargas elétricas opostas. Finalmente, sua hipótese supõe a existência de átomos no gás, uma teoria que ainda era fortemente rejeitada naquele momento.

Essa hipótese só foi reconhecida cinquenta anos depois, quando foi ressuscitada. Em sua memória *Sunto di un corso di Filosofia Chimica* (Resumo de um curso de Filosofia Química) foi publicado em 1858 por Stanislao Cannizzaro (1826-1910), que tinha então 33 anos de idade, apresentando as suas investigações sobre o trabalho de meio século de químicos e físicos em toda a Europa (Figura 4). Embora ele não adicione novas peças ao quebra-cabeça, Cannizzaro tem a capacidade intelectual de ligar todas as informações à sua disposição, iluminando concepções anteriormente obscuras e confusas. Em particular, ele revisa os cinquenta anos que se seguiram à publicação da hipótese molecular de Avogadro.

Figura 11: Memória de Cannizzaro publicado em 1858



A primeira estimativa da constante foi feita por Loschmidt, a partir da densidade de partículas em um gás ideal; tinha o valor  $N_L = 2,6868 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$  (constante de Loschmidt). Quando o físico americano Robert Millikan determina a carga de um elétron em 1910, a comunidade científica acessa medições mais precisas da constante. A carga de um mol de elétrons é conhecida desde 1834 graças ao trabalho de Michael Faraday

sobre eletrólise. O valor do número de Avogadro é então obtido pela divisão da carga de um mol de elétrons pela carga de um elétron.

Em 1909, o físico Jean Perrin, que determinou o número de Avogadro por diferentes métodos, propõe nomeá-lo em homenagem a Avogadro. Assim, desde 1971, quando o mol se torna a unidade básica de quantidades de matéria, ao número de Avogadro é dado uma unidade, o mol<sup>-1</sup> e se torna uma constante ( $6,02 \times 10^{23}$  mol<sup>-1</sup>, ou seja  $6,02 \times 10^{23}$  partículas por mol).

Estudar o comportamento de cada átomo, molécula ou íon em um meio é, na prática, impossível, sendo necessário generalizar o estudo de um sistema para um grande número de partículas. O parâmetro que torna possível fazer a ligação entre a escala microscópica (isto é, a escala que considera as propriedades individuais de cada partícula) e a escala macroscópica (ou seja, a escala que globalmente estuda um grande número de partículas) é precisamente a constante de Avogadro. Avogadro é, de alguma forma, a base da física estatística, também chamada de termodinâmica estatística, que, a partir das propriedades microscópicas, descreve as propriedades e evoluções de sistemas físico-químicos com um grande número de partículas.

Fig. 12: Selo com a aparência de Avogadro e sua famosa hipótese emitida no centenário de sua morte (1956)



A constante de Avogadro é hoje uma das mais importantes constantes da química. Aparece em muitas leis usadas hoje, entre as quais podemos mencionar a lei dos gases perfeitos:

$$PV = nRT$$

onde R, constante universal dos gases perfeitos é o produto do número de Avogadro e da constante de Boltzmann  $k_B$  :

$$R = N_A k_B$$

Embora com algumas exceções, seus principais trabalhos tenham caído no esquecimento, Avogadro permanece conhecido mais de um século após a publicação de sua hipótese. Isso, de fato, contribuiu para grandes avanços na compreensão da química, em particular, para distinguir átomos e moléculas, desenvolver um sistema de peso atômico e para definir um simbolismo químico dos elementos.



## Situação de Aprendizagem

**Qual a forma mais adequada de determinar a quantidade de átomos e moléculas? Será que a contribuição de Avogadro foi mesmo importante?**

**Dica:** Para a realização das atividades será necessário que você tenha em mãos uma Tabela Periódica para consulta, e considere os conceitos de mol e massa molar.

**Obs.:** As atividades desse capítulo foram adaptadas do livro do GEPEQ (módulo 3, p. 165-170)

1- Inicialmente, localize na tabela os metais Magnésio, Cobre, Estanho e Zinco. Agora escreva:

- As massas molares desses elementos.
- A quantidade de átomos que estão contidos respectivamente nessas massas.

2- Pesquise na tabela as massas atômicas dos elementos que constituem as seguintes substâncias e calcule as massas molares de cada uma delas.

- FeO (óxido de ferro (II))
- CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono)
- CaCO<sub>3</sub> (carbonato de cálcio)
- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (óxido férrico)
- O<sub>2</sub> (gás oxigênio)

3- Qual a massa, em gramas, de

- $6,02 \cdot 10^{23}$  átomos de magnésio (Mg)?
- $6,02 \cdot 10^{23}$  partículas de óxido de ferro (III), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>?
- 3,0 mol de monóxido de carbono (CO)?
- 2,0 mol de gás hidrogênio (H<sub>2</sub>)?
- 0,5 mol de água (H<sub>2</sub>O)?
- 2,0 mol de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>)?

4- Vamos tentar diferente? Calcule a quantidade de matéria (mols) que há em:

- 36,5 g de ácido clorídrico (HCl);
- 300 g de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>);

- c) 32 g de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ );
  - d) 112 g de ferro (Fe).
- 5- Na realização de um experimento foram usados 0,0016 g de cálcio.
- a) Que quantidade de matéria (mol) de cálcio corresponde a essa massa?
  - b) Quantos átomos de cálcio participam do experimento?
- 6- Considerando que um prego tem massa 3,0 g:
- a) Qual a quantidade de matéria (mol) de átomos de ferro que constitui esse prego?
  - b) Quantos átomos de ferro constituem esse prego?
  - c) Qual a massa, em gramas, de um único átomo de ferro?
- 7- Calcule o número de partículas que há em
- a) 20g de zinco, Zn
  - b) 0,5 g de cobre, Cu
  - c) 2,0 kg de óxido de ferro (III),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$
- 8- Em um experimento foram usadas  $7,2 \cdot 10^{24}$  partículas de gás hidrogênio. Que quantidade de matéria (mols) de  $\text{H}_2$  foi usada?
- 9- Um mol de uma substância **X** contém  $1,8 \cdot 10^{24}$  átomos de carbono e  $4,8 \cdot 10^{24}$  átomos de hidrogênio. Qual a fórmula que representa a substância?
- 10-  $1,5 \cdot 10^{23}$  partículas de uma substância **A** correspondem a 4g da substância. Qual é a massa molar de **A**?



## Guia para a atividade

**Para a execução desta atividade o aluno deve ser exposto à seguinte situação:**

- ❖ Abordagem da síntese de Avogadro - Quantidade de matéria (mol), por meio de questões para aplicação do conhecimento sobre massa, quantidade de matéria e número de partículas.

**Regras de ação a serem seguidas:**

- ❖ Compreender a importância do trabalho de Avogadro para o desenvolvimento de questões importantes nas Ciências.
- ❖ Realizar os cálculos e reinterpretar situações anteriores com a nova grandeza.



No Capítulo 5 foram abordadas as biografias de dois importantes cientistas. Gay-Lussac desenvolveu um importante trabalho com os gases, com sua atenção voltada à volumetria, e suas ideias entraram em conflito com as ideias de Dalton. Daí a importância do trabalho de Avogadro, que permitiu a conciliação do trabalho desses cientistas, afirmando em sua hipótese que “o número de moléculas em qualquer gás é sempre o mesmo em volume ou é sempre proporcional a volumes”. Seu trabalho, no entanto, só foi reconhecido e retomado cinquenta anos depois, quando Canizarro liga as informações publicadas nesse período e valoriza a hipótese molecular de Avogadro. A partir de então, são obtidos valores pela divisão da carga de um mol de elétrons pela carga de um elétron, que dão origem ao número de Avogadro, o que contribuiu para grandes avanços na compreensão da química, em particular, para distinguir átomos e moléculas, desenvolver um sistema de peso atômico, e para definir um simbolismo químico dos elementos. Neste capítulo, as Situações de Aprendizagem objetivaram a aplicação do conhecimento sobre massa, quantidade de matéria e número de partículas, em meio ao raciocínio matemático.

## REFERÊNCIAS

AVOGADRO, A. Essai D'une manière de terminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps, et les proportions selon lesquelles eles entrent dans ces combinaisons. **Journal de Physique, de Chimie**, julho 1811. Disponível em: <<https://www3.nd.edu/~powers/ame.20231/avogadro1811.pdf>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2019.

CISCATO, Carlos A; BELTRAN, Nelson O. **Química**. São Paulo: Cortez, 1991. Coleção Magistério 2º grau. Série Formação Geral. 243 p.

CROSLAND, Maurice P. Joseph Gay-Lussac: french chemist. **Enciclopédia Britânica**. Disponível em: <<https://www.britannica.com/biography/Joseph-Louis-Gay-Lussac>>. Acesso em: 04 de agosto de 2018.

DALTON, John. **A new system of chemical philosophy**. Part I, Manchester, 1808.

GEPEQ. **Interações e Transformações: Química – Ensino Médio: Livro do aluno: Guia do professor**. 4ª ed. São Paulo: Edusp, 1998.

GUILLERME, Jacques; GORDON, Elisabeth; MAUREL, Raymond. Chimie Histoire. **Encyclopædia Universalis** [online]. Disponível em: <<http://www.universalis.fr/encyclopedie/chimie-histoire/>>. Acesso em: 18 de julho de 2018.

JOHNSON, Horton A. Instrumentos Revolucionários: Ferramentas de Lavoisier como Objetos d'Art. **Science History Institute**. Disponível em: <<https://www.sciencehistory.org/distillations/magazine/revolutionary-instruments-lavoisiers-tools-as-objets-d-art>>. Acesso em: 10 de julho de 2018.

LAVOISIER, Antoine L. **Tratado elementar de química**. Tradução L. S. P. Trindade. São Paulo: Madras, 2007.

LYNN, Van G. **Antoine Lavoisier: and his impact on Modern Chemistry**. 1ª ed. Mankato: Capstone, 2009. 40 p.

MAUSKOPF, Seymour H. **Joseph-Louis Proust: french chemist**. Enciclopédia Britânica. Disponível em: <<https://www.britannica.com/biography/Joseph-Louis-Proust>>. Acesso em 01 de agosto de 2018.

MELONI, Reginaldo A.; VIANA, Hélio E. B. O ensino de Química no Brasil e os debates sobre o atomismo: um estudo dos programas da educação secundária (1850-1931). **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 39, n.1, p. 46-51, fev. 2017. Disponível em: <[http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc39\\_1/08-HQ-21-16.pdf](http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc39_1/08-HQ-21-16.pdf)>. Acesso em: 13 de abril de 2019.

MELZER, Ehrick E. M.; AIRES, Joanez Aparecida. A História do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr. **Amazônia Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v.11 (22), p.62-77, Jan-Jun. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufpa.br/index.php/revistaamazonia/article/download/2137/2635>>. Acesso em: 12 de abril de 2019.

OSÓRIO, V. K. L. Determinação permanganométrica de sulfóxidos: mais uma armadilha no uso de normalidade. **Química Nova**, São Paulo, v. 15, p. 99-103, jan. 1992. Disponível em:

<[http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol15No1\\_99\\_v15\\_n1\\_%2816%29.pdf](http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol15No1_99_v15_n1_%2816%29.pdf)>. Acesso em: 14 de abril de 2017.

ROMANELLI, Lilavate I.; JUSTI, Rosária da S. **Aprendendo Química**. 2 ed. Ijuí: Ed. Unijuí, 2006. 232p.

ROSS, Sydney. **John Dalton**: Ritish Scientist. Enciclopédia Britânica. 2018. Disponível em: <<https://www.britannica.com/biography/John-Dalton/Atomic-theory>>. Acesso em: 25 de novembro de 2018

SACK, Harald. **Jeremias Richter and the Law of Definite Proportions**. Scihi Blog: daily blog on science, tech and art in history. Disponível em: <<http://scihi.org/jeremias-richter-definite-proportions-stoichiometry/>>. Acesso em 27 de julho de 2018.

SCIENCE HISTORY INSTITUTE. **Joseph Louis Gay-Lussac**: Gay-Lussac discovered one of the fundamental laws of gases, the law of combining volumes. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencehistory.org/historical-profile/joseph-louis-gay-lussac>>. Acesso em 03 de agosto de 2018.

SNELDERS, H.A.M. **Richter, Jeremias Benjamin**. Complete Dictionary of Scientific Biography. Disponível em: <<https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/richter-jeremias-benjamin>> Acesso em: 20 de julho de 2018.

VIANA, Hélio E. B. A Construção Atômica da Teoria de Dalton como Estudo de Caso – e algumas reflexões para o ensino de química. **Dissertação de Mestrado**. FE-USP. São Paulo, 2007. Disponível em: <[http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos\\_teses/2011/quimica/dissertacoes/const\\_teoriat\\_at\\_dalton\\_dissert.pdf](http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/2011/quimica/dissertacoes/const_teoriat_at_dalton_dissert.pdf)>. Acesso em: 18 de abril de 2017.