



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

LEIZI DE MARCHI OLIVEIRA

“DA SUBSTÂNCIA À NANOTECNOLOGIA”:

UMA COMPOSIÇÃO TEXTUAL NA PERSPECTIVA DA HFCTS PARA
O ENSINO CONCEITUAL DE SUBSTÂNCIA QUÍMICA NA FORMAÇÃO
DOCENTE

LEIZI DE MARCHI OLIVEIRA

“DA SUBSTÂNCIA À NANOTECNOLOGIA”:

UMA COMPOSIÇÃO TEXTUAL NA PERSPECTIVA DA HFCTS PARA
O ENSINO CONCEITUAL DE SUBSTÂNCIA QUÍMICA NA FORMAÇÃO
DOCENTE

Tese apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Doutorado no Programa de
Pós-Graduação em Ensino de Ciências e
Educação Matemática do Centro de Ciências
Exatas da Universidade Estadual de Londrina.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Irinéa de Lourdes
Batista

Londrina
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Oliveira, Leizi de Marchi .

Da Substância à Nanotecnologia : uma composição textual na perspectiva da HFCTS para o ensino conceitual de substância química na formação docente / Leizi de Marchi Oliveira. - Londrina, 2023.
453 f. : il.

Orientador: Irinéa de Lourdes Batista.

Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, 2023.
Inclui bibliografia.

1. Ensino de Química, HFCTS, Nanotecnologia, Formação Docente. - Tese. I. de Lourdes Batista, Irinéa . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática. III. Título.

CDU 54

LEIZI DE MARCHI OLIVEIRA

“DA SUBSTÂNCIA À NANOTECNOLOGIA”:

UMA COMPOSIÇÃO TEXTUAL NA PERSPECTIVA DA HFCTS PARA O ENSINO
CONCEITUAL DE SUBSTÂNCIA QUÍMICA NA FORMAÇÃO DOCENTE

Tese apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Doutorado no Programa
de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e
Educação Matemática do Centro de Ciências
Exatas da Universidade Estadual de
Londrina.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Irinéa de Lourdes
Batista
Universidade Estadual de Londrina — UEL

Prof. Dr. João Paulo de Camargo de Lima
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná — UTFPR/Campus Londrina

Prof.^a. Dr.^a Lígia Ayumi Kokuchi
Secretaria de Estado de Educação do Mato
Grosso do Sul — SED/MS

Prof. Dr. Walter Anibal Rammazzina Filho
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
— UTFPR/Campus Cornélio Procopio

Prof.^a. Dr.^a Juliane Priscila Dinis Sachs
Universidade Estadual do Norte do Paraná
— UENP/ Campus Luiz Meneguel

Londrina, ____ de _____ de 2023.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me conceder a coragem, a força e a serenidade necessária diante aos grandes desafios diários que precisei enfrentar durante os anos destinados à pesquisa.

Agradeço aos meus queridos e amados pais que me apoiaram paciente e incondicionalmente em toda minha trajetória acadêmica, sem os quais a conclusão desse trabalho seria inviável.

À minha orientadora, Doutora Irinéa de Lourdes Batista, por ser um referencial para minha formação como educadora e pesquisadora e por me oferecer sua amizade, compreensão e apoio diante de minhas dificuldades.

Ao meu amigo, Doutor João Paulo Camargo de Lima, por me acompanhar durante a minha trajetória acadêmica, desde o mestrado até o doutorado, oferecendo seus conhecimentos e palavras de sabedoria que me fortaleceram e me impulsionaram na pesquisa.

A um grande amigo e psicólogo por me disponibilizar seu importante auxílio nos momentos mais críticos da escrita da tese e por sua amizade.

Aos meus companheiros do grupo de pesquisa IFHIECEM cujas discussões das reuniões renderam relevantes contribuições para o amadurecimento dessa pesquisa. Destes, um agradecimento especial à Andréa, à Lígia, à Gisele, à Amanda, à Suelen, à Mariana, à Márcia e ao Felipe, pelas conversas, pelas trocas de experiências e pelos esclarecimentos de dúvidas durante a pesquisa.

Aos professores e às professoras que aceitaram o convite para participar desta pesquisa e cederam tempo e dedicação para o cumprimento da proposta. Obrigada pelas relevantes contribuições para esta pesquisa e por apoiarem o desenvolvimento da pesquisa científica em ensino no Brasil.

Aos docentes do PECCEM por oferecerem seus relevantes conhecimentos e estímulos para que meu gosto pela pesquisa fosse crescente.

Aos familiares, aos amigos e às amigas, aos companheiros e às companheiras de trabalho, pelas palavras de incentivo nos momentos de desmotivação que precisei enfrentar.

A todos e a todas, muito obrigada! Saibam que cada um e cada uma de vocês fizeram parte da construção de uma ponte que permitiu minha travessia rumo a realização de um grande sonho!

***“Face à realidade, o que julgamos saber
claramente ofusca o que deveríamos saber”***

Gaston Bachelard

RESUMO

OLIVEIRA, Leizi de Marchi. “**DA SUBSTÂNCIA À NANOTECNOLOGIA**”: uma composição textual na perspectiva da HFCTS for para o ensino conceitual de substância química na formação docente. 2023. 453 f.. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) — Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

O conceito de substância química representa a “espinha dorsal” da Química e do seu Ensino, e temos algumas publicações científicas que revelam uma polissemia na compreensão desse conceito tanto na evolução histórica da Química quanto em salas de aula. Sendo assim, a formação adequada de professores de Química necessita oportunizar a apropriação dos diferentes modos de pensar esse conceito químico para que licenciandos e docentes possam refletir a sua prática docente, dentre outros aspectos. Entre as estratégias de ensino e de aprendizagem que podem ser desenvolvidas para as especificidades químicas na formação docente estão os enfoques da História e Filosofia da Ciência (HFC) e da Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) que podem contribuir com a desmistificação da Ciência e com uma compreensão para além de conceitos meramente técnico-científicos, de acordo com diversos autores. Nesse contexto da CTS, percebemos que a Nanotecnologia pode representar uma ciência da Química Moderna capaz de oferecer uma melhor compreensão do conceito de substância química e de sua evolução no desenvolvimento científico, permitindo uma visão de substância mais interacionista e relacional que contrasta com a visão substancialista bastante presente no ensino. Diante disso, esse trabalho teve como objetivo geral a elaboração de uma Composição Textual (CT) com base na História, Filosofia, Ciência, Tecnologia e Sociedade (HFCTS), articulada à Nanotecnologia como uma mediadora do enfoque CTS, voltada para uma evolução histórico-epistemológica e de perfil conceitual de substância química destinada à formação docente. Além da elaboração da CT, a investigação teve em vista saber que contribuições essa CT pode trazer para a formação docente na opinião de avaliadores, especialistas da área de Ensino de Ciências. Nesse contexto, disponibilizamos a CT, acompanhada de um questionário aberto, aos especialistas da área. Por meio de uma análise temática contextual dos conteúdos de registros, resultantes das avaliações dos participantes da pesquisa, identificou-se que a CT elaborada, além de fornecer potencial relevante ao ensino do conceito de substância química, apresenta uma variedade de outras contribuições ao Ensino de Química e à Formação Docente, tais como a promoção da interdisciplinaridade, do ensino crítico, da contextualização da Ciência, da reflexão da prática docente, etc.

Palavras-chave: Substância Química; Nanotecnologia; HFCTS, Formação Docente.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Leizi de Marchi. **“FROM SUBSTANCE TO NANOTECHNOLOGY”**: a textual composition from the perspective of HFCTS for the conceptual teaching of Chemical substances in teacher training. 2023. 453 s. Thesis (PhD in Teaching of Science and Math Education) — State University of Londrina, Londrina, 2023.

The concept of chemical substance represents the “backbone” of chemistry and its teaching, and there are some scientific publications that reveal a polysemy in the understanding of this concept both in the historical evolution of chemistry and in classrooms. Therefore, the proper training of chemistry teachers needs to provide opportunities for appropriating the different ways of thinking about this chemical concept so that students and teachers can reflect on their teaching practice, among other aspects. Among the teaching and learning strategies that can be developed for chemical specificities in teacher training are the History and Philosophy of Science (HFC) and Science, Technology and Society (STS) approaches, which can contribute to the demystification of science and to an understanding that goes beyond merely technical-scientific concepts, according to various authors. In this context of CTS, we realize that Nanotechnology can represent a science of Modern Chemistry capable of offering a better understanding of the concept of chemical substance and its evolution in scientific development, allowing a more interactionist and relational view of substance that contrasts with the substantialist view that is very present in teaching. In view of this, the general aim of this work was to create a Textual Composition (TC) based on History, Philosophy, Science, Technology and Society (HFCTS), linked to Nanotechnology as a mediator of the CTS approach, aimed at a historical-epistemological evolution and conceptual profile of chemical substances for teacher training. In addition to preparing the TC, the research aimed to find out what contributions this TC could make to teacher training in the opinion of evaluators, specialists in the field of Science Teaching. In this context, we made the TC available to specialists in the field, together with an open questionnaire. By means of a contextual thematic analysis of the contents of the records, resulting from the evaluations of the research participants, it was identified that, as well as providing relevant potential for teaching the concept of chemical substance, the developed TC presents a variety of other contributions to Chemistry Teaching and Teacher Training, such as the promotion of interdisciplinarity, critical teaching, contextualization of Science, reflection on teaching practice, etc.

Key-words: Chemical substance; Nanotechnology; HFCTS, Teacher Training.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Organização dos fundamentos teóricos	26
Figura 2 – Esquema geral da organização da Composição Textual da HFCTS	141
Figura 3 – Dois caminhos distintos para o conceito de substância: a Filosofia e a Química	144
Figura 4 – Elementos da matéria, por Tales	149
Figura 5 – Os Quatro Elementos e suas Qualidades	151
Figura 6 – “Chaves” entre os Quatro Elementos	152
Figura 7 – “Atomismo Geométrico”	153
Figura 8 – Um dos símbolos do Antimônio	161
Figura 9 – Alguns Símbolos da Alquimia	161
Figura 10 – Ciclo de reações estudadas por Black	186
Figura 11 – Reações envolvendo a amônia conhecidas no tempo de Priestley	190
Figura 12 – Marie-Anny e Lavoisier (Óleo sobre tela). <i>The Metropolitan Museum of Art in New York</i>	192
Figura 13 – Tabela de Substâncias Simples de Lavoisier	197
Figura 14 – Explicação de Berthollet para o lago salino de soda seca, Natron	200
Figura 15 – Conexão Química Teórica-Tecnológica	201
Figura 16 – As primeiras Interrelações da Indústria Química	201
Figura 17 – Densidade de Gases e Dados da Água para Dalton, Gay-Lussac e Avogadro	212
Figura 18 – Os Diagramas de Volume de Gaudin (1833)	213
Figura 19 – Tabela de Pesos Atômicos comparativos (Rocke, 1978)	219
Figura 20 – Densidade das substâncias, por Cannizzaro	221
Figura 21 – Tabela de Pesos Moleculares e Fórmulas de Compostos de Carbono, por Cannizzaro	222
Figura 22 – Sínteses orgânicas que contribuíram para a descrença na “força vital”	229
Figura 23 – Pierre e Marie Curie, 1895	235
Figura 24 – Arranjo geral do experimento de Rutherford, para estudo da radiação	245
Figura 25 – Modelo representacional do Campo de Higgs	247

Figura 26 – Evolução da Atomística e da Afinidade	248
Figura 27 – Mecanismo de reações para síntese do gás clorídrico	249
Figura 28 – (a) A conformação alternada do etano; (b) A fórmula de projeção de Newman para a conformação alternada. (c) O ângulo diedro entre esses átomos de hidrogênio é de 60°	252
Figura 29 – Variações de energia que surgem da rotação em torno da ligação C2-C3 do butano	253
Figura 30 – Um esboço das visões epistemológicas de substância predominantes em cada período histórico	261
Figura 31 – Perfil epistemológico pessoal da noção de Massa por Bachelard ...	266
Figura 32 – Perfil epistemológico pessoal da noção de Energia por Bachelard	267
Figura 33 – Representação de um átomo de cloreto de mercúrio por Hartsoeker	271
Figura 34 – Vitral de “Notre-Dame” e o cálice de Licurgo	278
Figura 35 – Dimensões de domínio da nanotecnologia (ver destaque)	281
Figura 36 – Tamanhos e comparações de escalas nos sistemas biológicos	282
Figura 37 – Produtos de empresas brasileiras que contêm em sua composição nanopartículas antimicrobianas	286
Figura 38 – Relação entre aplicação, estrutura, propriedades e preparação de materiais	291
Figura 39 – Relação entre tamanho, área de superfície e percentual de átomos disponíveis na superfície de um nanomaterial	292
Figura 40 – Estruturas geométricas e eletrônicas de único átomo, cluster e nanopartícula	293
Figura 41 – Abordagens de fabricação <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i> de nanomateriais	294
Figura 42 – Esquema mostrando a incorporação de um nanoativo numa resina polimérica gerando (A) microcompósitos, (B) nanocompósitos intercalados e (C) nanocompósitos esfoliados	296
Figura 43 – Esquema mostrando o núcleo e a camada molecular protetora de nanopartículas e as características que podem ser modificadas para gerar novos nanomateriais	297

Figura 44 – Classificação das formas alotrópicas do carbono conforme a dimensionalidade	300
Figura 45 – Nano-cebolas de carbono. Imagem HRTEM (esquerda) e estrutura (direita)	302
Figura 46 – Grafeno como um bloco de construção de um fulereno (a), carbono nanotubos (b) e grafite (c)	304
Figura 47 – Esquema em ilustração 3D, proposto para os Pontos Quânticos de Carbono	305
Figura 48 – Classificação dos PC e representação genérica de cada um deles	306
Figura 49 – Diversidade de tamanhos e morfologia de NPAu	308
Figura 50 – Influência do tamanho e formato das nanopartículas metálicas na coloração da solução	308
Figura 51 – Nanopartículas Magnéticas	310
Figura 52 – Mecanismos de Dopagem de Semicondutores. Exemplo: dopagem de Silício com Fósforo e Boro	313
Figura 53 – Mecanismos para o processo de catálise que modificadores superficiais metálicos provocam na interação entre um óxido e um gás: a) Sensibilização eletrônica. b) Sensibilização química	314
Figura 54 – Pontos Quânticos	315
Figura 55 – Representação esquemática para preparação dos látex fotocromicos funcionais contendo os grupos SPEA	318
Figura 56 – Classificação tipológicas e particularidades das pesquisas de Gauthier, Tardif e Shulman	342
Figura 57 – Fluxograma da Análise de Conteúdo	347
Figura 58 –Potencialidades da Composição Textual da HFCTS para a Formação Docente em Química	391

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de doutrinas epistemológicas para o conhecimento científico	92
Quadro 2 – Do Perfil Epistemológico ao Perfil Conceitual de Substância Química	136
Quadro 3 – Categorias propostas a partir dos modos de pensar e zonas do perfil conceitual para substância.....	137
Quadro 4 – Graus de Sofisticação Conceitual para a Identidade Química.	138
Quadro 5 – Elementos da Composição Textual e algumas possibilidades para a Evolução Conceitual de Substância Química na Formação Docente	143
Quadro 6 – Síntese de algumas definições dadas para substância por Aristóteles	148
Quadro 7 – Atomismo de Leucipo e Demócrito.....	154
Quadro 8 – Primeiros Metais conhecidos na Protoquímica.....	157
Quadro 9 – Classificação das Substâncias pelos Alquimistas Alexandrinos.....	160
Quadro 10 – No que diferem Química e Alquimia	169
Quadro 11 – Síntese do Conceito de Afinidade na História da Ciência	179
Quadro 12 – A evolução do fenômeno da “Combustão”.....	182
Quadro 13 – Elementos “descobertos” entre 1780 e 1805	202
Quadro 14 – Características para o novo conceito de composto químico, por Klein (1994)	203
Quadro 15 – Constatações experimentais anteriores, durante a Evolução Química	204
Quadro 16 – Sequência cronológica das Leis Ponderais	204
Quadro 17 – Considerações de Dalton para a Teoria Atômica e a “Síntese Química”	207
Quadro 18 – A teoria de Dalton e suas consequências segundo Thomson (1813)	208
Quadro 19 – Alguns aspectos da recusa do atomismo	215
Quadro 20 – Períodos da História da Química Orgânica	227
Quadro 21 – Ideias a serem exploradas pela Química Orgânica	229
Quadro 22 – Classificações para conceituação de Substância Química	256

Quadro 23 – Algumas características e funcionalidades dos nanomateriais.....	298
Quadro 24 – Origens dos nanomateriais	299
Quadro 25 – Exemplos de silicatos biocerâmicos nanoestruturados e propriedades	321
Quadro 26 – Visão mais complexa/sofisticada da substância.....	322
Quadro 27 – Algumas propriedades relacionais de substâncias em nanoescala	327
Quadro 28 – Potenciais papéis/articulações que a CT poderá desempenhar com base nas atividades de investigações de ensino apresentadas na literatura pesquisa	334
Quadro 29 – . Sugestão de utilização da Composição Textual HFCTS no Planejamento de Ensino de Química e na Análise do processo de Aprendizagem	335
Quadro 30 – Organização dos componentes da Composição Textual para a análise de profissionais do Ensino de Química	340
Quadro 31 – Saberes Docentes de acordo com Tardif	343
Quadro 32 – Questionário para análise da Composição Textual HFCTS	345
Quadro 33 – Fases da Análise de Conteúdo	346
Quadro 34 – Unidade de Registro para UC1	349
Quadro 35 – Unidades de Registro para UC2a	350
Quadro 36 – Unidades de Registro para UC2b	351
Quadro 37 – Unidades de Registro para UC3	352
Quadro 38 – Unidades de Registro para UC4	353
Quadro 39 – Unidades de Registro para UC5a	354
Quadro 40 – Unidades de Registro para UC5b.....	355
Quadro 41 – Unitarização dos dados referentes à UC1 (Questão 1)	357
Quadro 42 – Unitarização dos dados referentes à UC2a (Questão 2)	360
Quadro 43 – Unitarização dos dados referentes à UC2b (Questão 2)	363
Quadro 44 – Unitarização dos dados referentes à UC3 (Questão 3)	364
Quadro 45 – Unitarização dos dados referentes à UC4 (Questão 4)	366
Quadro 46 – Unitarização dos dados referentes à UC5a (Questão 5)	369
Quadro 47 – Unitarização dos dados referentes à UC5b (Questão 5)	372

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAAS	American Association for the Advancement of Science
AC	Alfabetização Científica
ACT	Alfabetização Científica e Tecnológica
a.C.	Antes de Cristo
AEP	Atividade Experimental Problematicada
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento
API.nano	Arranjo Promotor de Inovação em Nanotecnologia
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAT	Chemistry Achievement Test
CBCIN	Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia
CCNANOMAT	Comitê Consultivo de Nanotecnologia e Materiais Avançados
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CVID-19	Corona Virus Disease 2019
C&T	Ciência e Tecnologia
CT	Ciência e Tecnologia / Composição Textual
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
CTSA	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
CTS/A	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
CuNPs	Nanopartículas de Cobre
d.C.	Depois de Cristo
DNA	Deoxyribonucleic acid
Embraer	Empresa Brasileira de Aeronáutica
Embrapii	Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação
ENEQ	Encontro Nacional de Ensino de Química
EPIs	Equipamento de Proteção Individual
FAPs	Fundações de Amparo à Pesquisa
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
HC	História da Ciência
HCTS	História, Ciência, Tecnologia e Sociedade
HFC	História e Filosofia da Ciência

HFCTS	História, Filosofia, Ciência, Tecnologia e Sociedade
HFSCF	Hartree-Fock-Self-Consistent-Field
HIV	Human immunodeficiency virus
HRTEM	High-resolution transmission electron microscopy
IFHIECEM	Investigações em Filosofia, História da Ciência e Educação em Ciências e Matemática
GMA	Metacrilato de Glicidila
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ISO	International Organization for Standardization
LCAO	Linear Combination of Atomic Orbitals
LED	Light emitter diode
LNLS	Laboratório Nacional de Luz Síncrotron
MEC	Ministério da Educação
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MMA	Metacrilato de Metilmetila
NanoSemiMat	Rede de Nanodispositivos, Semicondutores e Materiais Nanoestruturados
NANoREG	A common European approach to the regulatory testing of Manufactured Nanomaterials
NCC	National Curriculum Council
NCs	Semicondutores Nanocristalinos
NdC&T	Natureza da Ciência e Tecnologia
N&N	Nanociência e Nanotecnologia
NNI	National Nanotechnology Initiative
NPAu	Nanopartículas de Ouro
NPCM	Nanotubos de Carbono de Parede Múltipla
NPCS	Nanotubos de Carbono de Parede Simples
NPFs	Nanopartículas Fluorescentes
NPMs	Nanopartículas Poliméricas Magnéticas
NPPs	Nanopartículas Poliméricas
NRC	National Research Council
PACA	Nanopartículas de poli(alquil-cianoacrilato)

PACTI	Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação
PC	Pontos Quânticos de Carbono
PCPNPPs	Nanopartículas Poliméricas Fotocrômicas
PQCs	Pontos Quânticos de Carbono
PQG	Pontos Quânticos de Grafeno
PQs	Pontos Quânticos
Renami	Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interface
RENANOSOMA	Rede Independente de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente
SC NWs	Nanofios Semicondutores
SCF-Xa-SW	Self-Consistent-Field-Xalpha-Scattered-Wave
SEA	Sequência de Ensino-Aprendizagem
SEPED	Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento
SPEA	1'-(2-acriloxietil)-3', 3'-dimetil-6-nitrospiro-(2-H-1-benzopirano-2,2'-indolina)
SPION	Iron oxide superparamagnetic nanoparticles
SQ	Substância Química
SisNano	Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias
TEM	Transmission Electron Microscope
UC	Unidades de Contextos
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Unicamp	Universidade Estadual de Campinas
UnB	Universidade de Brasília
UR	Unidades de Registro
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	21
1	FORMAÇÃO DE CONCEITOS CIENTÍFICOS	28
1.1	FORMAÇÃO DE CONCEITOS NO ESTUDO DA LINGUAGEM	29
1.2	DO CONSTRUTIVISMO À EVOLUÇÃO DE PERFIL CONCEITUAL	37
1.2.1	Construtivismo e Algumas Controvérsias	37
1.2.2	Da Mudança Conceitual à Evolução de Perfil Conceitual	45
1.3	FORMAÇÃO DE CONCEITOS NO ENSINO DE QUÍMICA	48
1.3.1	Conceito de Substância: um estudo das publicações científicas	52
2	HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE QUÍMICA .	58
2.1	HFC NO ENSINO DE SUBSTÂNCIAS: UM ESTUDO DAS PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS	58
3	CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE NO ENSINO DE QUÍMICA: enfoque na Nanotecnologia	68
3.1	NANOCIÊNCIA-NANOTECNOLOGIA E CTS: UM ESTUDO DAS PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS	68
3.1.1	N&N na perspectiva CTS	69
3.1.2	O ensino de N&N no Brasil	70
3.1.3	O aspecto Interdisciplinar da N&N	75
3.1.4	N&N e o Ensino de Conceitos Químicos	77
4	PRESUPOSTOS TEÓRICOS GERAIS: elaboração da Composição Textual HFCTS destinada à Formação Docente	81
4.1	HFC COMO NORTEADORAS DA ABORDAGEM HFCTS	81
4.1.1	Pressupostos da HFC para o Ensino	81
4.1.1.1	História da Química	84
4.1.1.2	Filosofia da Química	86
4.1.1.3	Aspectos da HFC na Formação Docente	88
4.1.1.4	Alguns Fundamentos Epistemológicos	91

4.1.1.4.1	<i>Noções da Epistemologia de Bachelard</i>	96
4.1.1.4.2	<i>O Realismo Ingênuo no Ensino de Química</i>	101
4.1.1.4.3	<i>Bachelard e a Formação Docente</i>	104
4.1.1.5	Noções de Ontologia	107
4.1.2	Pressupostos da CTS para o Ensino	109
4.1.2.1	Breve histórico da origem do movimento CTS	109
4.1.2.2	Algumas contribuições da abordagem CTS ao Ensino	111
4.1.2.3	Aspectos da CTS na Formação Docente	112
4.1.3	Correlações entre HFC e CTS no Ensino	114
4.2	N&N COMO MEDIADORAS DA ABORDAGEM CTS	117
4.2.1	Aspecto Científico	117
4.2.2	Aspecto Tecnológico	118
4.2.3	Aspecto Social	119
4.2.4	Aspecto Ambiental	121
4.2.5	Alguns aspectos da N&N na perspectiva CTS no Ensino	122
4.2.6	N&N na Formação Docente	124
5	PRESUPOSTOS TEÓRICOS ESPECÍFICOS: elaboração e organização da Composição Textual HFCTS para a Evolução do Perfil Conceitual de Substância Química	129
5.1	PRESUPOSTOS DA HFC NA FORMAÇÃO DO CONCEITO DE SUBSTÂNCIA	129
5.1.1	Substância na História da Química	130
5.1.2	Substância na Filosofia da Química	131
5.1.2.1	Do Perfil Epistemológico ao Perfil Conceitual de Substância	132
5.2	PRESUPOSTOS DA N&N-CTS NA FORMAÇÃO DO CONCEITO	140
5.3	ESQUEMA GERAL DA COMPOSIÇÃO TEXTUAL DA HFCTS	141
6	“DA SUBSTÂNCIA À NANOTECNOLOGIA”: uma proposta de composição textual na perspectiva da HFCTS para evolução do perfil conceitual de substância química na formação docente .	144
6.1	DA SUBSTÂNCIA À SUBSTÂNCIA QUÍMICA: CONTEXTO HISTÓRICO-FILOSÓFICO	144
6.1.1	Substância na Idade Antiga (4000 a.C. – 476 d.C.)	145

6.1.1.1	Substância Filosófica: primórdios	146
6.1.1.2	Os Quatro Elementos de Empédocles e Aristóteles	150
6.1.1.3	“Atomismo Geométrico” de Platão	152
6.1.1.4	O Atomismo de Leucipo e Demócrito	153
6.1.1.5	Protoquímica: artes práticas primitivas	156
6.1.1.6	Alquimia Greco-Egípcia ou Alexandrina: início (século III a.C.)	158
6.1.1.7	Alquimia Chinesa (século. I a.C.)	162
6.1.2	Substância na Idade Média (século V – século XV)	163
6.1.2.1	Alquimia Islâmica (século VIII – século XIV)	164
6.1.2.2	Alquimia na Europa Medieval (século XII – século XVI).....	167
6.1.3	Substância na Idade Moderna (1453 – 1789)	169
6.1.3.1	Século XVI: Paracelso e uma nova revolução	170
6.1.3.2	Século XVII: A Química como Ciência Independente	172
6.1.3.2.1	<i>Robert Boyle e o Elemento Químico</i>	174
6.1.4	Substância na Idade Contemporânea (1789 – atualmente)	176
6.1.4.1	Século XVIII: A Química como Ciência Racional	176
6.1.4.1.1	<i>A Afinidade</i>	177
6.1.4.1.2	<i>Da Combustão à Teoria do Flogístico</i>	181
6.1.4.1.3	<i>Química Pneumática: o “surgimento” da Substância Química</i>	184
6.1.4.1.4	<i>Química Moderna e Lavoisier</i>	191
6.1.4.1.5	<i>Da Química Quantitativa ao Átomo de Dalton</i>	203
6.1.4.1.6	<i>Dalton visto por Thomson</i>	207
6.1.4.1.7	<i>Gay-Lussac e Avogadro: extensões da Teoria de Dalton</i>	209
6.1.4.1.8	<i>Atomistas e Antiatomistas</i>	214
6.1.4.1.9	<i>Berzelius e o período das incertezas</i>	217
6.1.4.2	Século XIX: reconstrução de contextos	220
6.1.4.2.1	<i>Cannizzaro e o Congresso de Karlsruhe (1860)</i>	220
6.1.4.2.2	<i>Química Orgânica: composição, estrutura e propriedades</i>	226
6.1.4.2.3	<i>Química Inorgânica: novos elementos radioativos e alotropia</i>	233
6.1.4.3	Substância no século XX: matéria, energia e propriedades	240
6.1.4.3.1	<i>Teoria da Estrutura Atômica: elétrons e radioatividade</i>	241
6.1.4.3.2	<i>Físico-Química: Cinética e Quântica</i>	248
6.1.4.3.3	<i>Química Orgânica: modelos e estereoquímica avançada</i>	250

6.2	A POLISSEMIA DO CONCEITO DE SUBSTÂNCIA NA HISTÓRIA DA QUÍMICA: CONSIDERAÇÕES	254
6.3	SUBSTÂNCIA QUÍMICA COMO DEVIR: CONTEXTO EPISTEMOLÓGICO	263
6.3.1	Conceitos Científicos e Perfil Epistemológico de Bachelard	263
6.3.2	O Devir da Substância em Bachelard	268
6.4	SUBSTÂNCIA QUÍMICA NA NANOTECNOLOGIA: UMA VISÃO RELACIONAL NO CONTEXTO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO-SOCIAL	276
6.4.1	Nanociência e Nanotecnologia: uma fronteira do século XXI	277
6.4.1.1	Nanotecnologia no Brasil	282
6.4.1.2	Algumas Implicações Científico-Tecnológico-Social	287
6.4.2	A Química de Nanomateriais	291
6.4.2.1	Estratégias científico-tecnológicas e a Química Supramolecular	293
6.4.2.2	Propriedades e Aplicações de Alguns Nanomateriais	297
6.4.2.2.1	<i>Exemplos de Nanomateriais à base de Carbono</i>	299
6.4.2.2.2	<i>Alguns Nanomateriais Inorgânicos</i>	306
6.4.3	A visão relacional do conceito de substância na Nanotecnologia: considerações	321
6.4.3.1	A substância nano e a epistemologia de Bachelard: algumas relações	328
6.5	ALGUMAS CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES PARA O ENSINO DE QUÍMICA.....	330
7	PERCURSO TEÓRICO-METODOLÓGICO DA PESQUISA	337
7.1	NATUREZA E FUNDAMENTOS DA PESQUISA	337
7.2	A COMPOSIÇÃO TEXTUAL (CT)	338
7.3	OS SABERES DOCENTES E A AVALIAÇÃO DA CT	341
7.4	PROCEDIMENTOS E INSTRUMENTOS DE ANÁLISE	344
7.4.1	Unidades Temáticas Tipológicas de Contexto e de Registro	347
8	RESULTADOS, INFERÊNCIAS E INTERPRETAÇÃO	356
8.1	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS A PARTIR DO QUESTIONÁRIO.	356
8.2	INFERÊNCIAS E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	373
8.2.1	Relevância da abordagem HFC	373
8.2.2	Relevância da abordagem CTS	373
8.2.3	A Composição Textual HFCTS	375

8.2.3.1	A Nanotecnologia	379
8.2.3.2	Substância Química e a Evolução Conceitual	380
8.2.3.3	Saberes Docentes e Formação de Professores	382
8.2.4	Algumas Considerações Gerais	387
CONSIDERAÇÕES FINAIS		392
REFERÊNCIAS		396
APÊNDICES		448
APÊNDICE A — Algumas imagens da CT enviadas aos avaliadores.		449
APÊNDICE B — Imagens do questionário enviado aos avaliadores .		451
APÊNDICE C — Perfil e respostas fornecidas pelos avaliadores		452

INTRODUÇÃO

Com o intuito de melhor elucidar os objetivos desta pesquisa, cabe iniciarmos o texto introdutório com algumas indagações ou inquietações que surgiram durante a minha trajetória acadêmica no Ensino de Química. Primeiramente, o conceito químico escolhido para a presente pesquisa: como surgiu o interesse pelo conceito de substância química? Em síntese, a ideia surgiu e amadureceu a partir do estudo das teorias atômicas e, posteriormente, durante as reflexões feitas juntamente ao grupo de pesquisa IFHIECEM (Investigações em Filosofia e História da Ciência, e Educação em Ciências e Matemática — UEL).

Como sabemos, o átomo é tema bastante estudado tanto na Física quanto na Química, cada qual com suas particularidades e interesses. Por exemplo, conhecemos, por meio da História da Ciência, os antigos problemas epistemológicos (átomo físico) e ontológico (átomo químico). Segundo Maar (2011), o átomo físico representa entidades físicas reais e o átomo químico representa um modelo, na qual não importa se é ou não real. Mas, independentemente do ponto de vista científico, sabemos que modelos de átomos explicam uma diversidade de situações na Química.

Nesta pesquisa consideramos que a Filosofia da Química possui valor inquestionável para trazer reflexões a educadores quanto às especificidades químicas, ao realismo, ao reducionismo à Física, às controvérsias químicas, as implicações ao Ensino de Química, dentre outros aspectos, principalmente no ensino superior, por haver distinção entre o “fazer” química e o “ensinar” química, como destaca Lemes e Porto (2013b), e essa distinção precisa ser desenvolvida na Educação Química.

Além dos estudos referentes a história do átomo, as leituras de algumas obras de Bachelard, em especial a “Filosofia do Novo Espírito Científico” e “O Pluralismo Coerente da Química Moderna”, as quais revelam a grande relevância do conceito de substância para o Ensino de Química, despertaram o interesse da pesquisadora pela temática. A Química Moderna, como uma Ciência que estuda os materiais e suas transformações, é especialista em composições e criações. Ainda se tratando de átomos e especificidades químicas, Mainzer (1997) diz que enquanto a mecânica quântica opera sobre átomos como entidades isoladas, a Química opera nos arranjos de átomos organizados e relacionados entre si, pois esse arranjo de átomos nas moléculas influencia suas propriedades, sendo um exemplo disso as

diferentes propriedades dos isômeros químicos.

Como bem exposto por Bachelard (2009), o conceito de átomo é de grande valor para o conhecimento químico, à medida que as teorias atômicas explicam, dentre outros aspectos, a suscetibilidade de composição dos átomos, obtidos por decomposição, algo que na antiguidade não se podia provar. Entretanto, Bachelard reconhece que a Química Moderna traz luz ao valor das discussões filosóficas da composição e da diversidade material e um esclarecimento da diversidade substancial, o que o autor denomina de “harmonia progressiva das formas substanciais” (Bachelard, 2009, p.24). Diante disto, podemos perceber o conceito de substância como a “espinha dorsal” da Química Moderna.

Reiterando o que já foi citado anteriormente, a literatura nos mostra uma grande variedade de pesquisas na área de Ensino de Química e de Física que discorrem acerca do átomo e que fornecem uma riqueza de conhecimentos ao Ensino de Ciências. Por outro lado, o conceito de substância química é bem menos explorado pelas publicações científicas da área do Ensino de Química. Qual seria o motivo disto? Talvez os educadores químicos ainda não tenham percebido a Química Moderna na visão de Bachelard e a “força de composição” (Bachelard, 2009, p. 24) dessa Ciência, ou mesmo, a relevância da compreensão do conceito de substância, reduzindo-a a qualidades. Bachelard (2009) cita palavras de G. Urbain para explicar que se examinarmos mais a fundo o problema da simplificação qualitativa da substância, veremos que substâncias são estados que representam um primeiro olhar que, por sua vez, é insuficiente para determinar uma classificação ou mesmo um parentesco entre as substâncias.

No entanto, a partir do estudo das publicações científicas do Ensino de Química que discutem o assunto em questão, observamos que, tanto nos livros didáticos quanto nos enfoques didático-pedagógicos que propõem trabalhar esse tema em sala de aula, os aspectos mais enfatizados a respeito das substâncias químicas são suas propriedades e classificações, ficando em segundo plano a preocupação com o significado de substância e o valor fundamental que esse conceito e sua construção histórica representa para a Ciência Química. Entretanto, esses últimos pontos são de elevada relevância para o ensino e a aprendizagem conceitual de química e são possíveis de serem compreendidos por meio de abordagens histórico-epistemológicas, como argumentado ao longo desta tese.

Além do aspecto histórico-epistemológico, a literatura na área de

ensino também nos mostrou uma carência de abordagens que exploram as novas tecnologias para “atualizar” o conceito de substância conforme a Química Moderna. A História da Química, desde os primórdios da Alquimia até os dias atuais, nos revela que esse conceito foi construído ao longo da evolução científica por meio de conhecimentos humanos, filosóficos e tecnológicos que resultaram no surgimento da Ciência Química Moderna, incorporando vários modos de pensar influenciados por diferentes epistemologias, o que levam ao reconhecimento de uma polissemia complexa de significados.

Diante desse contexto, uma das minhas inquietações relativas à pesquisa pode ser expressa pelos questionamentos: Como promover essas reflexões a professores? Em outras palavras, como proporcionar a inserção de reflexões histórico-epistemológicas acerca da evolução do perfil conceitual de substância química na formação docente?

Observamos haver publicações científicas que apresentam dificuldades no ensino e na aprendizagem do conceito de substância química, inclusive na formação de professores, bem como estudos voltados para a investigação de diferentes modos de pensar esse conceito em seus vários níveis de sofisticação. Portanto, concluímos haver grande relevância desse conceito para a Ciência Química e para o seu ensino. Mais adiante, no levantamento de publicações, apresentamos estudos que revelam um perfil epistemológico de substância química resultante das elaborações realizadas para esse conceito, em sala de aula, por estudantes e professores.

De acordo com Silva (2011), a teoria do perfil conceitual permite que o sujeito compreenda diferentes concepções acerca de um único conceito que pode fazer sentido em determinadas situações. Nesse contexto, os modos de pensar o conceito de substância química foram agrupados, pelo autor, em zonas que manifestam alguns aspectos epistemológicos, ontológicos e/ou axiológicos, a origem, a qualidade e a natureza desse conceito. A esse respeito, defendemos o argumento de que esse perfil epistemológico precisa ser reconhecido e explorado no ensino.

Percebemos que a escassez dessas reflexões quanto ao conceito de substância pode levar a diversos problemas de ensino e de aprendizagem de Química, dentre os quais destacamos os exemplos de inconsistências recorrentes a seguir: os erros de associações e classificações; a dificuldade de realizar diferenciação entre átomo e elemento, molécula e composto, substância e mistura de

substâncias; dificuldades de diferenciar e compreender o conceito de substância em seus aspectos macroscópicos e submicroscópicos; a tendência em considerar as substâncias como detentoras de propriedades bem definidas, entre outras.

Diante disso, é relevante ressaltar que cabe ao professor entender que há um substancialismo presente no Ensino de Química e que, como é descrito por Silveira (2003), este é alimentado pela relação existente com um realismo ingênuo substancialista devido à forte influência da percepção do olhar e das substâncias e suas propriedades fenomenológicas. Para Bachelard, o substancialismo é um dos obstáculos para podermos enxergar o que de fato precisamos conhecer e, que nesse caso, seriam modelos elaborados como construções que possibilitam a apreensão da realidade.

Exposto isso, outras questões que emergiram no percurso reflexivo desta investigação se referem à construção do conceito de substância. Como esse conceito foi elaborado durante a História da Química? Qual a natureza ou a origem desse conceito químico? Os caminhos que trilhamos atualmente para chegarmos a uma compreensão do conceito são similares aos dos filósofos e cientistas do passado? Apresentamos tendências realistas, substancialistas, etc.? Nossos obstáculos epistemológicos são os mesmos? Entender as semelhanças e discrepâncias envolvidas no processo de construção conceitual histórico-filosófica pode nos ajudar a compreender melhor o significado de substância química? Esse significado foi “atualizado” durante a história da evolução científica? Quais inovações científico-tecnológicas podem ser exploradas pelo ensino para ser possível promover uma construção conceitual contemporânea de substância química?

Diante dessas reflexões e indagações nos estudos desse conceito, elaboramos a seguinte questão de pesquisa: Que contribuições (potencialidades, relevância, etc.) uma composição textual na perspectiva da HFCTS voltada para promover a evolução de perfil conceitual de substância química pode trazer para a formação docente?

Sendo assim, o objetivo geral desta pesquisa foi inovar a partir da elaboração de uma Composição Textual (CT), com base na História e Filosofia da Ciência (HFC) articulada ao enfoque de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) para o Ensino de Química, com o intuito de que a mesma promova uma evolução histórico-epistemológica de substância química destinada à formação de professores licenciandos de Química ou a uma capacitação em serviço de professores dessa área.

Desse modo, com esse objetivo geral, tivemos os seguintes objetivos específicos:

- Elaborar estudos históricos a respeito do conceito de substância desde a Idade Antiga (4000 a.C. – 476 d.C.) até a Idade Contemporânea (1789 – atualmente) atingindo o entendimento de substância conforme as nanopartículas;
- Elaborar estudos epistemológicos a respeito do conceito de substância a partir do Perfil Epistemológico (Bachelard, 1976), da Evolução de Perfil Conceitual (Mortimer, 1995a, 1996, etc.) e do Perfil Conceitual para o Conceito de Substância Química (Silva, 2011, 2017).
- Elaborar estudos e identificação de elementos epistêmicos-metodológicos constituintes de uma composição textual, segundo Batista (2016), que objetiva uma formação docente no tema de pesquisa;
- Desenvolver um processo epistêmico-metodológico que componha os elementos constituintes estudados nos objetivos específicos anteriores para obter uma composição textual no tema de substância química para a formação de professores;
- Obter uma avaliação da composição textual elaborada por um grupo de especialistas e profissionais de ensino da área composto por mestres e doutores em Ensino de Ciências (Química/Física), mestres e doutores em Química, e docentes do Ensino Médio de Química e da Licenciatura em Química);
- Com base na metodologia de análise de conteúdo de Bardin, analisar a avaliação obtida por meio de especialistas;
- Apresentar uma identificação e discussão das potencialidades e contribuições da composição textual produzida.

Para o contexto da CTS e novas tecnologias, optamos pelos estudos da Nanotecnologia para permitir melhor compreensão da noção moderna de substância química, dentre outros aspectos. Vale comentar que as publicações da área de Ensino de Química não apresentaram, em nossa pesquisa, trabalhos dessa natureza, que enfatizam a Nanotecnologia no ensino do conceito de substância química. Portanto, esse é um aspecto distinto deste trabalho que contribui para ser explorado na comunidade científica da área de Ensino de Química.

Percebemos que o Ensino de Química, tanto no nível médio quanto no nível superior, está carente de propostas fundamentadas na junção HFCTS de modo a enriquecer os significados dos conceitos científicos estudados. Além disso,

como compreendemos a partir de Bachelard, esses aspectos permitem ao professor construir um conhecimento que possui uma base sólida, que possibilita aos docentes compreenderem e lidarem com as ideias prévias dos estudantes, as quais, muitas vezes, são revestidas de realismo ingênuo e substancialismo.

Quanto ao conceito de substância química, consideramos que abordar os aspectos da HFCTS oferece um ensino além da dimensão técnico-conceitual do conteúdo, permitindo atingir a natureza do conhecimento científico a partir dos aspectos histórico-filosóficos-científico-sociais e a superação de visões distorcidas de ciência e do próprio conceito químico, em concordância com alguns pesquisadores como Matthews (1992, 1994, 2000), Driver *et al.* (1994), Monk e Osborne (1997), Hodson (1986), McComas, Almazroa e Clough, (1998), Silveira (2003), Tavares (2009), Dotto Bellas (2018), Silva e Amaral (2013), Batista (2007, 2016), García (2014), Chassot (2014), Volpe (2018), etc.

Para que os objetivos da pesquisa fossem alcançados, estabelecemos a seguinte organização da pesquisa: os Capítulos 1, 2 e 3 se referem ao primeiro embasamento a partir das publicações científicas que serviram de guia para os direcionamentos da proposta geral, composta pelos Capítulos 4, 5 e 6. Os Capítulos 4 e 5 fundamentam a composição textual apresentada no Capítulo 6, conforme a Figura 1.

Figura 1: Organização dos fundamentos teóricos



Fonte: A própria autora.

Os fundamentos teóricos referentes à formação docente foram abordados durante os demais capítulos, por esse motivo não houve a necessidade de elaboração de um capítulo específico. A composição textual (Cap. 6), bem como seus capítulos de pressupostos teóricos (Cap. 4 e 5), foram enviados para a avaliação de especialistas profissionais da área, conforme descrito no capítulo de encaminhamento metodológico (Cap. 7). Por final, o Cap. 8 apresenta os resultados desta pesquisa.

Ressaltamos que a ideia em elaborar um texto que inclua a história antiga da noção de substância e a construção do conceito científico até os dias atuais, possui duas finalidades. Primeiramente, é visar uma conscientização de que esse conceito passou por rupturas, dentre elas a ruptura epistemológica entre a substância filosófica e a substância química por volta do século XVIII. Também, é interessante entender que, apesar dessa ruptura, assim destacado por Silva (2011, 2017), ambas as substâncias (filosófica e química) surgiram de uma raiz epistemológica única (da Filosofia Grega). Além disso, esperamos mostrar um contraste entre a epistemologia de um conceito científico substancialista que permeou a comunidade científica por muito tempo e a epistemologia da substância relacional/interacionista da Química Moderna.

Desse modo, almejamos que este trabalho de pesquisa possa nortear propostas para a Formação Docente em Química, bem como enriquecer os conhecimentos de professores quanto à evolução conceitual de substância química fundamentada na HFCTS, possibilitando reflexões acerca da prática docente, da Natureza da Ciência e da modernização desse conceito, que pode ser enfatizada nas tecnologias atuais.

Vale ressaltar que essa CT corresponde há um modelo sugestivo para uma abordagem HFCTS que, portanto, poderá ser adaptado, enriquecido por atividades, modificado e utilizado por professores segundo as necessidades pedagógicas, ponderando a preservação de sua essência.

1 FORMAÇÃO DE CONCEITOS CIENTÍFICOS

É relevante lembrarmos que a Química é uma área fortemente conectada com as representações, significações e com as formas de comunicação escrita e oral da natureza da matéria. Em uma comunidade de praticantes do conhecimento químico, o simples fato de citar o nome de uma substância química pode ter implicações estruturais. Portanto, há uma necessidade de se compreender os fundamentos da nossa linguagem em relação aos processos de significação de conceitos na Química, pois o conhecimento químico é, de fato, dependente do uso da linguagem (Gois, 2017).

O estudo da formação de conceitos pressupõe, de certa forma, umas das investigações mais antigas e credenciadas de uma crença persistente de que objetos ou eventos no mundo podem ser classificados em grupos, de acordo com demarcações ou critérios capazes de definir esses grupos de forma “natural” (Acevedo, 2018). A Ciência Química, historicamente, se utilizou de classificações para organizar e compreender os elementos e demais entidades químicas. Nesse aspecto, a “Teoria do Conceito” por Dahlberg (1978), poderá nos trazer algumas considerações pertinentes.

A partir disso, neste capítulo, apresentamos a formação de conceitos no estudo da linguagem e alguns autores que fundamentam áreas da semiótica, da ciência da informação e outros filósofos da linguagem, influentes nas pesquisas em Ensino de Ciências, como Bakhtin e Vigotski. Na sequência, o texto segue com a formação de conceitos no construtivismo, que serviu de princípio para elaboração da teoria de Mudança Conceitual (Posner *et al.*, 1982), conhecimento prévio relevante ao processo de ensino com interesse na Evolução de Perfil Conceitual (Mortimer, 1995a, 1996), que serão elucidados em um dos capítulos da composição textual.

Posteriormente, o texto traz um breve enfoque na formação de conceitos no Ensino de Química, com ênfase no estudo das publicações científicas do ensino de substância química, para organizarmos o caminho a ser trilhado pela pesquisa. Ao final do capítulo, devido à natureza desta pesquisa, consideramos apropriado mencionar, abreviadamente, o que a literatura relata referente ao aspecto da formação de conceitos científicos na Formação Docente.

1.1 FORMAÇÃO DE CONCEITOS NO ESTUDO DA LINGUAGEM

A formação de conceitos tem um amplo campo de investigações já desenvolvidas na área da linguagem humana, na qual pode-se observar autores influentes, cujos estudos foram relevantes para pesquisas em ensino e/ou educação. Para fins de complementação desse estudo, destacamos; a filósofa alemã Ingetraut Dahlberg (1978), com estudos mais direcionados na área da Ciência da Informação e a “Teoria do Conceito”; o sociólogo alemão Norbert Elias (1994) e a ideia semiótica da linguagem; e os filósofos russos Mikhail Bakhtin (2006a, 2006b), Lev S. Vigotski (2008), mais influentes nas pesquisas em Ensino e Educação.

No que se refere aos estudos da linguagem na área da Ciência da Informação, cabe observar alguns aspectos da teoria de Dahlberg, cientista alemã que desenvolveu, dentre outras, investigações relacionadas a classificação, terminologia e organização do conhecimento. Em “Teoria do conceito” (1978), a autora elucida acerca das linguagens especiais e formalizadas e dos conceitos individuais e gerais. Por meio do pensamento e da fala, o ser humano empregou palavras (conjunto de símbolos) para designar os objetos de sua circunstância, assim como para traduzir os pensamentos formulados acerca deles (Dahlberg, 1978).

Observamos que Dahlberg expõe a necessidade de entender o significado de conceitos e os enunciados que os caracterizam para compreender um determinado ambiente, assim como mostra a citação a seguir:

Por conseguinte, parece hoje mais do que em qualquer outra época necessário fazer todos os esforços a fim de obter definições corretas dos conceitos, tanto mais que o contínuo desenvolvimento do conhecimento e da linguagem conduz-nos à utilização de sempre novos termos e conceitos cujo domínio nem sempre é fácil de manter. A importância das definições evidencia-se também quando se tem em vista a comunicação internacional do conhecimento. E pelo domínio perfeito das estruturas dos conceitos que será possível obter também perfeita equivalência verbal (Dahlberg, 1978, p. 106).

Com relação aos conceitos gerais e individuais, a autora destaca que sempre que um objeto é pensado como único, distinto dos demais, constituindo uma unidade inconfundível (coisas, fenômenos, processos, acontecimentos, atributos, etc.) é denominado de *objeto individual*, expresso pelo conceito individual. Ao passo que objetos situados fora do tempo e do espaço são denominados *objetos gerais*,

correspondem aos conceitos gerais (Dahlberg, 1978). Como exemplos de conceitos individuais e gerais, a autora apresenta:

Conceitos individuais: a UnB, a partida de futebol entre o Flamengo e o Fluminense no dia 15 de janeiro de 1976, o descobrimento do Brasil no ano de 1500, etc. Conceitos gerais: as universidades, as partidas de futebol, as descobertas marítimas, etc. (Dahlberg, 1978, p. 102).

Com o auxílio das linguagens naturais é possível formular enunciados a respeito de conceitos individuais e conceitos gerais. Denominam-se *linguagens naturais*, as linguagens utilizadas nas necessidades da vida diária. Além dessas, foram criadas as chamadas *linguagens especiais* ou *linguagens artificiais*, ou *linguagens formalizadas*, como a linguagem da Química, linguagem da Matemática, linguagem da Lógica, linguagem dos sistemas de classificação, dentre outras (Dahlberg, 1978).

Segundo a teoria de Dahlberg (1978), é possível formular enunciados a respeito dos conceitos individuais e dos conceitos gerais. Os enunciados fundamentam a elaboração dos conceitos relativos aos diversos objetos, de modo que cada enunciado verdadeiro representa um elemento do conceito. Assim sendo, a soma dos enunciados verdadeiros fornece o conceito do objeto. Portanto, a autora define a formação dos conceitos como a reunião e compilação de enunciados verdadeiros a respeito de determinado objeto.

Cada enunciado a respeito dos objetos contém um elemento do respectivo conceito, que se identifica como característica do conceito, por conseguinte, características idênticas evidenciam relações entre conceitos. Nessa perspectiva, a formação de sistemas e a combinação dos conceitos se estabelecem por meio da categorização formal destes, sendo eles objetos, fenômenos, processos, propriedades, relações. O desenvolvimento do conhecimento e da linguagem requer utilizar novos termos e conceitos cujo domínio nem sempre é fácil de manter (Dahlberg, 1978).

Dahlberg destaca que, às vezes, é possível formular a respeito dos conceitos gerais apenas alguns enunciados, significa que obtemos apenas noções vagas acerca do objeto. No caso de linguagens especializadas (química, por exemplo) tal imprecisão pode ocasionar consequências desagradáveis. Portanto, é preciso que os conceitos sejam definidos com toda precisão e caso o conceito ainda não tenha

nome, é plausível formulá-lo pela síntese das características encontradas. Os novos elementos químicos evidenciados pela química são um exemplo, por serem definidos pelas características ou propriedades que apresentam (Dahlberg, 1978).

Numa perspectiva social e semiótica do estudo da linguagem, convém ressaltar algumas concepções do sociólogo Norbert Elias (1994) destacadas em sua obra intitulada “Teoria Simbólica”, na qual trata de debates contemporâneos acerca dos símbolos. Elias (1994) argumenta que a comunicação por meio de símbolos é uma das singularidades da humanidade. Fundamenta-se na organização biológica dos seres humanos e pode variar de uma sociedade a outra.

Algumas pesquisas destacam certas convergências entre as teorias de Elias e de Vigotski. Góes (2005) observa que Elias, assim como Vigotski, contribuiu bastante para a discussão dos processos de formação do conhecimento, por rejeitar o sujeito abstrato do conhecimento e persistir na necessidade de considerá-lo imerso na vida social e na linguagem. Um dos aspectos convergentes entre os teóricos, de acordo com Honorato e Gebara (2012), é a produção de signos sociais na construção da dupla condição humana.

De acordo com Góes (2005), em “Teoria Simbólica”, Elias utiliza com frequência os termos língua, símbolo linguístico, palavra e fala. Nesse aspecto, o sociólogo afirma que a linguagem verbal é marca específica do humano e a privilegia entre as diversas formas de atividade simbólica. Segundo Elias (1994), há vários tipos de representações simbólicas. Podemos citar os mapas de uma cidade como exemplo. Ao visitar uma cidade desconhecida com um plano das ruas em mãos, devemos considerar dois modos de existência, nos quais as ruas, as casas e as praças podem ser classificadas como realmente existentes e o plano da cidade como uma representação simbólica desta realidade.

As línguas são outro modo de representação simbólica, cuja gama de padrões sonoros possibilitam aos seres humanos se comunicarem e produzirem conhecimento de uma geração a outra (Elias, 1994). As palavras podem ser representadas por símbolos para favorecer ou possibilitar a comunicação:

Consideremos um outro exemplo, a palavra “vírus”. Foi inventada e estandardizada quando foram descobertos agentes menores que os bacilos, que provocavam tipos específicos de doenças, e foi necessário um símbolo comum através do qual as pessoas pudessem comunicar acerca dos vírus. Sem este símbolo comum, a comunicação a seu respeito seria difícil senão mesmo impossível. Mas a necessidade de nomes não está confinada a

objetos raros e especializados. Os objetos mais vulgares da nossa vida quotidiana como os botões, as camisas, as escadas e as bicicletas necessitam de uma representação simbólica padronizada como condição para podermos comunicar sobre eles (Elias, 1994, p. 4).

O sociólogo argumenta que, no interior de uma mesma cidade, uma forma definida de standardização social permite que os mesmos padrões sonoros sejam reconhecidos por todos os membros como símbolos que representam o mesmo tipo de conhecimento, ou seja, mais ou menos o mesmo sentido (Elias, 1994). Por conseguinte, ao interpretar a formação de conceitos, o autor observa que esse processo tem caráter social e está vinculado aos símbolos linguísticos. Apesar de considerarmos um mundo que existe independente de nós, nossa experiência conceitual está enredada numa teia simbólica (Góes, 2005).

Elias (1994) faz crítica a teoria do senso comum apoiada pela opinião pública acerca da formação de conceitos, na qual se daria por um processo mental de abstração e generalização de um indivíduo humano isolado. Assim, a formação de conceitos é considerada como um processo mental individual com um início definido no tempo e, eventualmente, com um fim:

Uma das dificuldades desta teoria do senso comum deriva de não poder adequar-se, facilmente, às observações. Se o tentarmos fazer, reconhecemos, rapidamente, que a explicação dos conceitos em termos de um processo mental individual de abstração e generalização é um exemplo típico de uma redução individualista de dados que exigem uma explicação em termos da inter-relação das ações e dos processos mentais de muitas pessoas (Elias, 1994, p. 58).

Desse modo, Elias ressalta a interdependência entre conceito e palavra, observa que as línguas carregam sedimentos de experiências de gerações e são como um depósito dessas experiências sob a forma simbólica. Salaria que o conhecimento é um processo que emerge e se transforma com base nos símbolos linguísticos ou nas línguas (Góes, 2005).

Ponderamos, agora, uma relevante explanação de Elias (1994) acerca do que o autor caracteriza como uma das diferenças básicas entre uma concepção filosófica tradicional e uma concepção sociológica do conhecimento. A primeira, corrente dominante da filosofia europeia do conhecimento, estabelece um modelo básico do ser humano no qual uma pessoa adquire o conhecimento sozinha e exclusivamente por si própria. No entanto, para operar como um meio de

comunicação, os padrões sonoros específicos devem ser compreendidos no mesmo sentido por todo um grupo de pessoas.

Segundo Elias (1994), as teorias da formação de conceitos em termos da abstração e da generalização satisfazem uma necessidade emocional profunda dos seres humanos, o problema da explicação dos acontecimentos em termos de causas e de inícios. Porquanto, fornecem uma resposta sobre o modo como os conceitos se iniciam e, até mesmo, a esperança de uma eventual resposta à questão de como eles podem ser explicados.

Por exemplo, o conceito de “bacilo” foi criado durante a primeira parte do século XIX por Müller, um cientista alemão. Ao visualizar ao microscópio os agentes causadores de doenças, observou que se assemelhavam a pauzinhos (“bacilos” no latim). Assim, generalizou a sua própria experiência, e avançou a hipótese de que muitas doenças são provocadas por seres que se assemelham a pauzinhos, denominando os agentes de “bacilos”. Mesmo que pouco tempo depois se constatou que nem todos os bacilos se assemelham a pauzinhos, o termo implantou-se em muitas línguas contemporâneas, sendo útil como forma de orientação. Observa-se então que Müller constitui uma nova resposta às questões de como alguns tipos de doenças se iniciam e o que ou quem as provoca (Elias, 1994).

Elias (1994) entende haver diversas formas para os conceitos se imporem num grupo humano. Vários substantivos são utilizados, usualmente, com uma conotação global e sem uma ligação imediatamente compreensível a um facto tangível. Significa que os padrões sonoros, muitas vezes, derivam de símbolos de padrões sonoros (“abstrações”) com uma amplitude mais limitada que se referem a objetos (“concretos”) ou a acontecimentos mais imediatamente tangíveis. No entanto, conceitos concretos não existem, de modo que a polaridade conceitual concreto/abstrato é inútil. O autor observa que os conceitos apresentam níveis de síntese manifestados por meio de “abstrações” na linguagem:

O que pode ser observado são conceitos que representam um nível inferior de síntese e outros que representam um nível superior de síntese. O desenvolvimento das “abstrações” na língua das sociedades que atingiram, nos nossos dias, o seu estágio de desenvolvimento mais elevado manifesta, muitas vezes, este carácter, isto é, o desenvolvimento de um nível inferior para um nível superior de síntese (Elias, 1994, p. 61).

Ou seja, o autor considera diferentes níveis de representações de conceitos resultados de desenvolvimento das abstrações da língua em uma sociedade. Como exemplo, Elias cita a palavra da língua inglesa “*development*”. No século XVII, a mensagem estandardizada do padrão sonoro do verbo “*to develop*”, podia ser utilizada como a descrição do ato de tirar as fraldas de um bebê. Já no final do século XIX, “*to develop*” podia significar, por exemplo, o gradual desdobramento das tropas para um ataque. Essa última representação o autor considera uma síntese de médio alcance. O exemplo mostra que o processo social do pensamento atingiu um estágio em que era necessário um símbolo comum para descrever um desdobramento gradual, de modo que o termo “*development*” assumiu essa função (Elias, 1994).

Elias (1994) considera a linguagem numa condição de fluxo, no qual o equilíbrio entre o conteúdo em termos de sentimentos e fantasia e a congruência com a realidade de um símbolo pode alterar-se em qualquer direção. Entretanto, segundo Góes (2005), Elias reconhece a impossibilidade de uma efetiva correspondência, pois, segundo ele, os símbolos não são espelhos do mundo. Assim, o autor decorre em uma ambiguidade do papel da linguagem no conhecimento.

Conforme Bakhtin (2006b), o indivíduo pré-histórico usava uma mesma e única palavra para designar manifestações muito diversas que comumente não apresentavam nenhum elo entre si e, inclusive, poderia designar conceitos diretamente opostos, como, por exemplo, os termos: o alto e o baixo, a terra e o céu, etc. Na interpretação de Sinder (1997), Bakhtin considera que palavras, mímicas ou outro canal de comunicação serviria de expressão exterior e internamente, para o próprio indivíduo como um “discurso interior”.

Com o estudo das línguas dos povos primitivos e a paleontologia contemporânea das significações é possível concluir que o pensamento primitivo se configura na chamada “complexidade” (Bakhtin, 2006b). Na visão de Sinder (1997), Bakhtin percebeu a necessidade de criação de uma psicologia fundada no estudo das ideologias, dando à palavra o lugar de destaque na constituição da consciência social permeada pela existência dos signos.

Também, Radaelli (2011) argumenta que Bakhtin entende que a consciência individual se alimenta dos signos com seu conteúdo semiótico e ideológico, de modo que a língua é inseparável do fluxo da comunicação verbal. Ou seja, Bakhtin considera signo e ideologia indissociáveis:

Um produto ideológico faz parte de uma realidade (natural ou social) como todo corpo físico, instrumento de produção ou produto de consumo; mas, ao contrário destes ele também reflete e refrata uma outra realidade, que lhe é exterior. Tudo que é ideológico possui um significado e remete a algo situado fora de si mesmo. Em outros termos, tudo que é ideológico é um signo. Sem signos não existe ideologia (Bakhtin, 2006a, p. 29).

Segundo Bakhtin (2006a), o ideológico tem seu verdadeiro lugar no material social particular de signos criados pelo homem, enquanto indivíduos organizados. A compreensão se manifesta por meio do material semiótico no qual o signo se opõe ao signo (por exemplo, o discurso interior). De tal modo, a consciência se estabelece mediante a materialização dos signos.

Num enfoque materialista e histórico-dialético nos estudos da linguagem, Bakhtin considera uma relação intrínseca entre língua, sujeito e sociedade. Assim, a relação entre língua e identidade é manifesta na ideia de que o sujeito se constitui na sua inserção nos diferentes modos de comunicação verbais historicamente produzidos. Para o filósofo, os modos de comunicação verbal vinculam-se aos modos de relações economicamente constituídas referentes a cada época histórica (Severo, 2009). Sinder (1997) interpreta o pensamento bakhtiniano como um dialogismo que serviu de instrumental para seu estudo das várias formas de discurso, da literatura e de outras manifestações culturais. Bakhtin também historicizou a linguagem ao considerar o homem como ser histórico e social. Considerou todos os diálogos e buscou a síntese dialética entre eles.

Bakhtin (2006b) aborda o problema da significação como um dos mais complexos da linguística. Ribeiro (2018) comenta que Bakhtin enfatiza ser preciso considerar a palavra como constituída por tema e significação. As condições sócio-históricas definidas estabelecem o tema que, por sua vez, é o sentido da enunciação concreta. Por outro lado, a significação representa os elementos reiteráveis da língua acordados pela comunidade linguística.

O problema da compreensão, também discutido por Bakhtin (2006b), ajuda a entender a distinção entre tema e significação. Segundo o autor, qualquer forma de compreensão deve ser ativa e já conter o agente de uma resposta para ser possível aprender o tema, porquanto a evolução não pode ser apreendida senão com a ajuda de outro processo evolutivo. O processo de compreensão de cada palavra da enunciação corresponde a uma série de palavras nossas, formando uma réplica. Sendo assim, quanto mais numerosas e substanciais forem, mais profunda e real será

a nossa compreensão. Bakhtin conclui advertindo a respeito da importância das perspectivas histórico-cultural e socioeconômica na lucidez da compreensão do tema e das significações:

É justamente para compreender a evolução histórica do tema e das significações que o compõem que é indispensável levar em conta a apreciação social. A evolução semântica na língua é sempre ligada à evolução do horizonte apreciativo de um dado grupo social e a evolução do horizonte apreciativo – no sentido da totalidade de tudo que tem sentido e importância aos olhos de um determinado grupo – é inteiramente determinada pela expansão da infraestrutura econômica (Bakhtin, 2006b, p. 139).

Partimos para a ponto de vista de Vigotski. Segundo Rego (1995), na perspectiva vigotskiana, o processo de formação de conceitos envolve operações intelectuais dirigidas pelo uso de palavras, incluindo-se a capacidade para comparar e diferenciar informações recebidas do exterior. A definição de um conceito é estabelecida por características dos elementos encontrados no mundo real, selecionados como relevantes pelos diversos grupos culturais. Em outras palavras, os conceitos são entendidos como um sistema de relações e generalizações contidas nas palavras e determinado por um processo histórico-cultural, como explica Vigotski:

A formação de conceitos é o resultado de uma atividade complexa, em que todas as funções intelectuais básicas tomam parte. No entanto, o processo não pode ser reduzido à associação, à atenção, à formação de imagens, à inferência ou às tendências determinantes. Todas são indispensáveis, porém insuficientes sem o uso do signo, palavra, como o meio pelo qual conduzimos as nossas operações mentais, controlamos o seu curso e as canalizamos em direção à solução do problema que enfrentamos (Vigotski, 2008, p. 72).

Na interpretação de Góes e Cruz (2006), Vigotski critica duas matrizes teóricas importantes acerca do significado, a associacionista e a estruturalista. A primeira perspectiva, argumenta que o significado não se forma por associação entre a palavra e o objeto denominado, não decorre de mera repetição de associações. Na interpretação equivocada, a formação de significado por meio de um ato associativo é similar dizer que “a palavra evoca o seu significado com a mesma exatidão que o casaco de uma pessoa evoca essa pessoa [...]” (Vygotsky, 1993, p. 289). A simples relação associativa pode levar a mudanças externas e quantitativas no significado, porém, não admitem transformações qualitativas (Góes; Cruz, 2006).

Em síntese, Vigotski considera a linguagem como um sistema

simbólico, por meio do qual é possível designar os objetos do mundo exterior, suas qualidades, ações e relações. A linguagem permite analisar, abstrair e generalizar as características dos objetos, eventos e situações presentes na realidade, à medida que fornece conceitos e modos de ordenar o real em categorias conceituais. Desse modo, os signos possibilitam o intercâmbio social entre indivíduos, a preservação, a transmissão e a assimilação de informações e experiências acumuladas pela humanidade ao longo da história (Rego, 1995).

1.2 DO CONSTRUTIVISMO À EVOLUÇÃO DE PERFIL CONCEITUAL

Mediante às críticas atribuídas a alguns aspectos do construtivismo e das estratégias de ensino para mudança conceitual, Mortimer (1996) busca um modelo teórico alternativo, para compreender as concepções de estudantes e diferenciá-las dos conceitos científicos: a noção de perfil conceitual, que será abordada, mais especificamente, no capítulo da proposta.

Também, Mortimer (2011) se fundamentou no modelo de equilíbrio majorante de Piaget, nas concepções de generalização e nos elementos para estratégias de ensino e mudança conceitual. Diante disto, consideramos pertinente escrever um breve enfoque da formação de conceitos, partindo da concepção construtivista de Piaget e demais construtivistas, seguido pelo desenvolver da teoria de Mudança Conceitual (Posner *et al.*, 1982), até a proposta de Evolução do Perfil Conceitual de Mortimer, elucidada no Capítulo 5.

1.2.1 Construtivismo e Algumas Controvérsias

Antes de iniciarmos, vale ressaltar a concepção de Matthews (2000) de que o construtivismo não é apenas uma teoria de ensino-aprendizagem e filosofia da educação, mas é também apresentado como uma teoria da ciência, ou seja, o construtivismo dialoga com a natureza da ciência. “Incorpora-se não apenas a aprendizagem, o ensino, o currículo, a educação, a ciência e a política à esfera do construtivismo, mas a ética também” (Matthews, 2000, p. 272). Ademais, o construtivismo implica cuidados com ideias, teorias pessoais, autoimagem, etc. (Watts, 1994).

Um dos grandes problemas do ensino-aprendizagem foi entender

como as pessoas representam mentalmente seus conhecimentos do mundo, como eles operam com essas representações e como esses conhecimentos podem ser construídos e reconstruídos. Nessa perspectiva de aquisição de representações do conhecimento, há quem afirma que tais representações se originam em modelos proposicionais puros e há quem enfatiza o valor funcional de imagens mentais na construção dessas representações (Villamil, 2008).

Segundo Alzate e Puig (2007), o conhecimento é construído por meio da compreensão, interpretação e descrição dos processos e não por definição de regras. As representações mentais são construções hipotéticas que o sujeito utiliza para entender e explicar um fenômeno. O conteúdo das representações mentais construídas pelo sujeito, ao se deparar com um fenômeno, dependem dos seus questionamentos, necessidades, interesses e emoções envolvidas. Para Villamil (2008), esses aspectos nos permitem conhecer como o indivíduo usa seu raciocínio e processos de construção e como pode ocorrer a mudança dessas representações.

Dentre os aspectos filosóficos do construtivismo, Freitag (1993 *apud* Leão, 1999) destaca seu pressuposto iluminista e a ideia de que sem a razão não se pode construir uma visão do mundo. O universalismo cognitivo está implícito no Construtivismo. Desse modo, a construção do conhecimento humano pelo uso da razão visa alcançar os níveis mais elevados do pensamento lógico, do julgamento e da argumentação, sempre no sentido de haver reciprocidade na transmissão e na compreensão das ideias.

Os empiristas, guiados pela estratégia fenomenista, acreditam que o conhecimento tem origem e evolui a partir da experiência acumulada pelo indivíduo (determinismo ambiental). Os inatistas, influenciados pela estratégia essencialista, acreditam no conhecimento pré-formado, cujas estruturas nascem com o indivíduo e se atualizam com o desenvolvimento do mesmo. Por conseguinte, o construtivismo, baseado na estratégia historicista, surge para superar essas duas visões ao pressupor que o conhecimento resulta da interação do indivíduo com o ambiente (Leão, 1999).

Nesse aspecto dos pressupostos epistemológicos do construtivismo, Freitag (1993 *apud* Leão, 1999) considera haver a ideia de pensamento sem fronteiras, capaz de se construir, se destruir e se reconstruir. Na visão construtivista de ensino, a aprendizagem é uma construção do próprio indivíduo, em que ele é o centro no processo, e não o professor

Segundo Freitag (1993 *apud* Leão, 1999), Piaget e L. Kohlberg,

concordam que o ser humano possui uma predisposição para pensar e julgar com bases racionais. Todavia, não há uma herança genética, mas uma predisponibilidade para o racional. Para Leão (1999), o interacionismo piagetiano, quanto a questão de como o indivíduo adquire o conhecimento e condutas, fundi as concepções inatistas e comportamentalistas a fim de superá-las e dar lugar a uma concepção chamada de interação. Consoante Piaget, essa interação ocorre por dois processos simultâneos; a organização interna e a adaptação ao meio.

Ostermann e Cavalcanti (2011) descrevem o construtivismo como uma teoria interacionista cognitivista de aquisição de conhecimento, ou como teoria cognitivista de Jean Piaget, sendo este o precursor do uso do termo construtivismo. Segundo essa teoria, todo organismo vivo manterá um estado de equilíbrio ou de adaptação com o meio, superando as perturbações advindas deste meio e de suas relações, em processo dinâmico e constante. Essa busca pelo novo estado de equilíbrio é denominado *processo de equilibração majoritário*. Para que o estado de equilibração seja alcançado, são necessários dois mecanismos; *assimilação* e *acomodação* que, apesar de processos distintos e opostos, ocorrem simultaneamente. Por meio da assimilação, o organismo, a partir da sua experiência anterior de interação com os elementos do ambiente, desenvolve ações distintas ao atribuir significações, sem alterar suas estruturas. Por outro lado, pela acomodação, o organismo restabelecerá um equilíbrio superior com o meio, se modificando e se transformando para se ajustar às necessidades impostas pelo ambiente.

Quanto a construção do conhecimento, apesar de Piaget e Vigotski partilharem a crença de que o desenvolvimento é um processo dialético, que os aprendizes são cognitivamente ativos para imitar modelos em seu mundo social (Tudge; Winterhoff, 1993), eles apresentam divergências. Para Piaget, o desenvolvimento precede a aprendizagem, enquanto Vigotski afirma que a aprendizagem pode anteceder o desenvolvimento. Enquanto Piaget enfatiza a interação com os objetos, Vigotski prioriza a interação social e as zonas de desenvolvimento real, potencial e proximal (Jófil, 2002).

Ausubel, um construtivista cognitivista, considera a aprendizagem como organização e interação do conteúdo na estrutura cognitiva, entendida como a totalidade de ideias de um indivíduo e sua organização. Nesse processo, uma nova informação relaciona-se com um aspecto relevante da estrutura cognitiva do sujeito, a partir disso a nova informação ancora-se em conceitos preexistentes na estrutura

de conhecimento do indivíduo, incorporando-se de uma forma não arbitrária a tal estrutura, processo esse denominado de “teoria da assimilação” ou “aprendizagem significativa”, termo chave da teoria de Ausubel (Giacopini; Silva; Megid Neto, 2019).

Segundo Lefebvre (1991), o conhecimento é construído por meio de interações entre sujeitos e objetos pertencentes a uma realidade repleta de aleatórias e inúmeras mudanças. Mediante isso, Queiroz e Barbosa-Lima (2007) discorrem que, a partir dessas interações, modelos são construídos mediante a visão de mundo e as novas informações do ambiente são absorvidas com marcas das vivências que temos. Essa visão construtivista leva a um afastamento tanto do empirismo quanto do racionalismo.

Nessa concepção, a Ciência é entendida como um mundo físico com existência independente de nós que a criamos, conservando os compromissos empíricos com a cultura da comunidade científica. Desse modo, os elementos dessa cultura científica possuem finalidades determinadas e estão sujeitos a transformações que buscam levar a Ciência a se aproximar de um mundo real, num movimento de evolução histórica, com novas realidades, partículas e eventos, trazidos pelo avanço da Física, da Biologia ou da Química (Queiroz; Barbosa-Lima, 2007).

Na perspectiva de Castañon (2015), construtivismo é um termo adotado por diversas abordagens filosóficas contemporâneas, e sujeito a uma confusão conceitual, com a dissolução das falsas polaridades entre realismo e construtivismo e entre objetivismo e relativismo. O autor analisou a literatura referente ao construtivismo piagetiano, o socioconstrutivismo, o construtivismo lógico, o construtivismo radical e o construtivismo social para fornecer uma melhor definição para o termo.

Dentre as posições analisadas por Castañon (2015), em sua pesquisa, o autor observou que há uma alternância entre realismo e antirrealismo e criticismo e ceticismo. Na questão da fonte do conhecimento, estão presentes os denominadores comuns de todas as argumentações de construtivismo; a rejeição ao objetivismo empirista e a adoção do sentido kantiano da metáfora da construção. Em suma, o autor define positivamente o construtivismo como: “a tese epistemológica que defende o papel ativo do sujeito na criação e modificação de suas representações do objeto do conhecimento” (Castañon, 2015, p. 209).

Permeando as críticas ao construtivismo, Matthews (1992) declara que o processo de gerar, a partir do interior do observador, uma reflexão do mundo,

corresponde a uma epistemologia empirista e aristotélica. As explicações construtivistas empiristas do conhecimento advêm de um embasamento ingênuo, com vocabulário capaz de esconder uma porção de trivialidades educacionais e oferece pouca orientação a professores. Além disso, os construtivistas enfrentam o dilema da evidência, por recorrerem à evidência para sustentar a teoria por uma posição que exige que a evidência não seja objetiva e independente da teoria (Matthews, 2000).

Os construtivistas querem evitar os métodos tradicionais de transmissão e a aprendizagem por meio de descobertas, ao acreditarem que conhecimento e significado não podem ser transmitidos. Entretanto, vale ressaltar que alguns conceitos científicos, , por exemplo; *massa, peso, oxidação, valência, força, potência, aceleração, momento*, necessitam ser entendidos. Esses conceitos são construídos histórica e socialmente. Desse modo, o estudante não descobre e constrói uma definição, mas aprende o que estes termos significam (Matthews, 2000).

Quanto às preocupações de alguns construtivistas a respeito dos contextos éticos, políticos, ideológicos da educação, questões difíceis que ocupam filósofos da educação desde Platão, Matthews considera louvável, porém não lhe parece provável que haja quaisquer respostas exclusivamente construtivistas para elas (Matthews, 2000). É possível observar na literatura que os fundamentos epistemológicos, ontológicos e pedagógicos que permeiam o pensamento construtivista, envolvendo a educação científica, suscitam diversas controvérsias e divergências, como apontam Laburú, Carvalho e Batista (2001). Partindo da premissa de que o aprendiz é o construtor de seu próprio conhecimento, pesquisadores afirmam que:

Alguns autores questionam o fato de que o conhecimento passa a ser algo que existe somente na mente dos seres cognitivos, onde ele é construído; e também, a concepção de que o reino natural não é preexistente, mas, antes, é construído pelas nossas indagações, ficando o seu papel na construção do conhecimento científico, relegado a uma irrelevância (Laburú; Carvalho; Batista, 2001, p.152).

Portanto, as críticas ao construtivismo se centralizam, sobretudo, no denominado construtivismo individual. Em segundo plano, as críticas se estendem à vertente construtivista social (Laburú; Carvalho; Batista, 2001). Assim como Castañon (2015), Laburú, Carvalho e Batista (2001) também evidenciam os questionamentos referentes ao empirismo e o idealismo subjetivo, encontrados por trás das suas

proposições. Visto isto, os autores avaliam ser necessário situar o professor dentro destas opiniões, ponderar a sua atuação numa conotação construtivista, mediadora e negociadora.

Com base nos estudos de Matthews, Osborne e demais pesquisadores, perpassando pelo construtivismo no panorama da educação científica, pelas bases epistemológicas e ontológicas do construtivismo radical, do construtivismo social vigotskiano e do construtivismo sociológico, que constata com as influências educacionais piagetianas e vigotskianas, Laburú, Carvalho e Batista (2001), por uma visão heurística pedagógica, ponderam algumas posições nas quais o construtivismo foi bem-sucedido e algumas controvérsias.

Dentre as posições construtivistas bem-sucedidas, de acordo com Laburú, Carvalho e Batista (2001), destacamos: — o aprendiz dispõe de uma rede conceitual com um vocabulário próprio e, muitas vezes, conflitante com o científico. Por conseguinte, as ideias “erradas” passaram a ter um interesse teórico maior; — as ideias “erradas” passaram a ser conceitualizadas como uma concepção alternativa, epistemológica e ontologicamente articulada a uma forma de entender o mundo; — o conhecimento prévio do aprendiz, tornou-se primordial numa atividade construtivista; — o conhecimento e o entendimento já não dependem da “transmissão”, mas sim da “negociação”, como uma atividade de aprendizagem.

Laburú, Carvalho e Batista (2001), também, resumem uma orientação geral construtivista de atividades educacionais direcionada ao estudante e ao professor. Ao estudante é solicitada a articulação e exercício dos seus conhecimentos em atividades estruturadas, em discussões em grupos ou coletivas, que oportunizam a construção social dos significados. É também solicitado questionamentos, argumentação, ajuizamentos, observações e exercício de atividades práticas. Ao professor cabe o papel de facilitador, co-construtor, provedor de experiências e ser socializador das ferramentas culturais da ciência para o aprendiz. O professor é um guia que media e negocia entre as concepções dos aprendizes e as científicas.

Referente às controvérsias educacionais construtivistas em Laburú, Carvalho e Batista (2001), elencamos as seguintes: — construtivismo representa de maneira equivocada a Ciência e sua prática, falhando epistemologicamente; — crítica ao construtivismo radical: a tese individualista, em que a construção do conhecimento como um processo eminentemente individual, resquícios da influência da teoria de reequilibração piagetiana, mostrou-se insuficiente em atender a complexidade das

relações envolvidas no processo de ensino-aprendizagem; — crítica ao subjetivismo: a necessidade de haver um mecanismo bem definido de ajuda ao indivíduo, para desenvolver e gerar novas ideias e conceitos, interpretar a experiência e transcender o pensamento de senso comum; — críticas quanto a linguagem: para os construtivistas radicais, os elementos da linguagem, como as ideias, os conceitos e a palavra não podem ser transferidos de um usuário para outro, ou seja, a linguagem está no subjetivo.

Entretanto, como afirma Matthews (1994), na maior parte do tempo o sujeito não constrói, mas aprende significados; — o ensino centrado no conflito cognitivo não mostrou bons resultados, pois os estudantes se protegem de vários modos os conflitos, impedindo a substituição das ideias iniciais pelos conceitos científicos. Em conclusão a essas críticas, Laburú, Carvalho e Batista (2001, p. 164), esclarecem que: “didaticamente falando, nenhuma experiência individual pode, de todo, estimular a construção de conceitos científicos, que são, em última instância, construções abstratas, idealizadas”.

Embasados nas críticas ao construtivismo individual, construtivistas sociais como Mortimer e Machado (1996), Howe (1996), Driver *et al.* (1994), Edwards e Mercer (1987), Newman, Griffin e Cole (1989), entre outros, buscam ponderar a dimensão sociointeracionista na análise do processo de ensino. Nessa perspectiva, Mortimer (1994) comenta que a construção do conhecimento ocorre por um processo de negociação social com uso de significados e da linguagem do professor em compartilhamento com o estudante, em que os conhecimentos científicos dependem de uma cognição coletiva em sala de aula, e cuja linguagem dos estudantes obedece a um perfil conceitual.

Esse perfil conceitual permite lidar com o conhecimento diário, mas não é suficiente para a linguagem científica, que então precisará de outro perfil conceitual. Todavia, há um consenso entre alguns construtivistas radicais e sociais de que há um mundo simbólico, próprio da ciência, em que o aprendiz precisa ser introduzido por meio da internalização dos conceitos (Laburú; Carvalho; Batista, 2001).

Dentre as principais contribuições construtivistas, podemos destacar: o devido valor às concepções prévias de estudantes; na vertente social construtivista, a relevância do papel da linguagem e do significado possuem papel decisivo ao desenvolvimento humano; o resgate do conceito de zona de desenvolvimento

proximal de Vigotski, com um nítido afastamento do construtivismo radical, no que diz respeito ao fundamental papel do professor. (Laburú; Carvalho; Batista, 2001).

Entretanto, mediante as várias objeções ao construtivismo radical e social apresentadas pela literatura, Laburú e Carvalho (2001) sugerem um pluralismo metodológico para o ensino de Ciências Naturais, fundamentados no “Anarquismo Metodológico” de Paul Feyerabend, tal como o pluralismo já destacado em Matthews (1995) e outras fontes anteriores por ele citadas.

Mesmo o construtivismo social que apresenta maior abrangência e possibilidades educacionais, capaz de superar os modelos que o precedem, pode ser limitado tanto quanto às demais teorias às quais o construtivismo se opõe. Assumir como um único pensamento uma proposta pedagógica para gerar melhores estratégias de ensino aprendizagem, talvez seja o maior risco, pois isso poderá acarretar num “consumo” superficial da teoria pelo educador. Visto isso, é necessária uma prática educativa à luz de diferentes abordagens e estudo de diferentes perspectivas e, para isso, é indispensável um aprimoramento teórico e metodológico de profissionais docentes (Matthews, 1995; Laburú; Carvalho, 2001; Batista, 2007).

Segundo Geelan (1997), do construtivismo surgiu uma variedade de formas mais ou mesmo divergentes, com discussões acaloradas envolvendo a construção pessoal em comparação a construção social do conhecimento e visões objetivistas em relação as relativistas da natureza da ciência, dentre outras questões. O autor defende que a melhor forma de construtivismo é contraditória e considera a epistemologia descrita por Feyerabend a mais eficiente para debater a respeito.

No campo da pesquisa em Educação em Ciências, é possível observar que o construtivismo e a teoria piagetiana dos processos de aquisição de conhecimento são os referenciais mais utilizados, e com menor frequência, seguem os autores como Vigotski, Ausubel, Novak, Gagné, entre outros (Giacopini; Silva; Megid Neto, 2019).

Por essa perspectiva, Mortimer (2011) descreve que dentre os autores que explicitam as ideias prévias de estudantes, a maioria se utiliza do conflito cognitivo como estratégia para mudança conceitual, com base na teoria piagetiana da equilibração. Segundo Mortimer (2011), a epistemologia piagetiana visa determinar como o sujeito constrói seu conhecimento, como melhora suas ações, ao passar de um estágio inferior a um superior de conhecimento. No âmbito do ensino construtivista, essa tem sido a questão central: como se passa de um conhecimento incompleto e

parcial ao conhecimento científico?

Em sala de aula, Mortimer (1996) chama a atenção para a dificuldade na preparação de professores para a apropriação do paradigma construtivista, gerando ambiente desfavorável ao aprendizado. Às vezes são utilizadas estratégias de ensino que tentam reorganizar os conhecimentos prévios de estudantes, mesmo que essas ideias alternativas sejam claramente antagônicas aos conceitos científicos.

Mortimer (1996) considera que as estratégias de ensino com base no conflito cognitivo parecem desconsiderar as lacunas no processo de ensino-aprendizagem, e são tão importantes quanto os conflitos para a teoria da equilibração de Piaget. Mortimer (1996) diz ser necessário reconhecer que, muitas vezes, no processo de construção de uma ideia, o maior obstáculo não é o conflito cognitivo entre as ideias dos estudantes e os resultados de um experimento, por exemplo, mas sim a falta de informações para interpretar os resultados

Outro aspecto a ser acatado, se trata da dificuldade de estudantes reconhecerem como gerais alguns fenômenos e explicações, considerando-os como esquemas localizados. Se trata de dificuldades relacionadas às diferenças entre uma teoria científica, quando geral ou não, e quando independente ou não do contexto. Essa poderia ser uma das formas de equilibração; superar as dificuldades de generalizar (Mortimer, 1996).

1.2.2 Da Mudança Conceitual à Evolução de Perfil Conceitual

O modelo teórico da Mudança Conceitual corresponde a uma das formas de construtivismo e, segundo Posner *et al.* (1982), esse surgiu de uma analogia entre o crescimento do conhecimento científico e a aprendizagem das ciências, com influência mais notável de Kuhn. Posner *et al.* (1982), descreve que há dois padrões diferentes de mudança conceitual na aprendizagem, a assimilação e a acomodação. A ecologia conceitual seria o conjunto de ideias prévias do aprendiz no instante da aprendizagem. A partir disso, os autores, inspirados na História da Ciência, sugeriram quatro condições fundamentais para a ocorrência de acomodações, as quais são: insatisfação com as concepções existentes e inteligibilidade, plausibilidade e fertilidade das novas concepções.

Na avaliação das dificuldades que estudantes enfrentam no ensino de ciências, essas quatro condições de uma mudança conceitual se relacionam com

cinco tipos de conceitos determinantes na direção de uma acomodação, são eles; as *anomalias* (falhas específicas de uma determinada ideia); as *analogias e metáforas* (podem sugerir novas ideias e torná-las acessíveis); *compromissos epistemológicos* (ideais explicativos, visões gerais do caráter do conhecimento); *crenças e conceitos metafísicos* (crenças metafísicas da ciência como a extensão da ordem, simetria, não aleatoriedade do universo, crenças importantes no trabalho científico e que por sua vez, desempenharam grande papel no pensamento de Einstein, por exemplo); *outros conhecimentos* (em outras áreas e conceitos concorrentes ou condição para seleção de um novo conceito) (Posner *et al.*, 1982).

Segundo Posner *et al.* (1982), estudantes poderão ficar cientes de uma alternativa inteligível e plausível para uma concepção existente que resolva anomalias aparentes, buscarão ativar e mapear suas novas concepções no mundo. A nova concepção permitirá novas percepções e descobertas, tornando-se frutífera e sua acomodação mais persuasiva. Para iniciantes, a acomodação deve ser gradual, resultando na reorganização substancial ou mudança nos conceitos centrais. Os estudantes podem se utilizar de várias estratégias para se esquivar no processo, portanto, a acomodação pode ter que esperar até que algo infrutífero, dentre as tentativas de assimilação, seja trabalhado. Entretanto, isso raramente ocorre por um lampejo de visões no qual antigas ideias apagam-se para serem substituídas por novas visões. Contrariamente, o processo envolve muitos falsos começos, erros e frequentes inversões de direção.

Em conclusão ao seu trabalho, Posner *et al.* (1982) avaliam que ensinar ciência requer uma base racional para ser possível uma mudança conceitual. As mudanças conceituais básicas, denominadas acomodações, podem envolver mudanças nas suposições fundamentais de alguém, que podem ser ameaçadoras quando o indivíduo está fortemente comprometido com as suposições anteriores.

A assimilação (uso de conceitos prévios para lidar com novos fenômenos) e a acomodação (evolução conceitual) são dois modos de mudança conceitual distinguidos por Posner e colaboradores (1992) e comparados à ciência normal kuhniana e às revoluções científicas, respectivamente. Segundo os autores, é possível perceber que os dois modos de evolução conceitual se relacionam à compreensão piagetiana dos processos de assimilação e acomodação.

Ao longo das décadas de 1980 e 1990, após diversas propostas apoiadas no modelo de mudança conceitual falharem quanto a compreensão dos

conceitos científicos pelos estudantes, surgiram várias críticas ao modelo de mudança conceitual que podem ser encontradas na literatura de autores como Gauld (1986), White e Gunstone (1989), Cobern (1996), Pintrich, Marx e Boyle (1993) e demais pesquisadores. A principal crítica se refere ao compromisso do modelo da mudança conceitual com a ideia de que estudantes, durante o aprendizado, devem romper com suas ideias prévias por meio de um conflito com as concepções científicas. Essa mesma crítica surge do ponto de vista dos perfis conceituais, propostos por Mortimer (1996).

Segundo Mortimer (1996), a visão construtivista de processo adaptativo, no qual os esquemas conceituais dos estudantes são progressivamente reconstruídos, indica a ideia de que o desenvolvimento do conhecimento leva à construção de estruturas conceituais cada vez mais sólidas, situação característica do sujeito epistêmico piagetiano que parece não prevalecer na prática cotidiana. Uma expectativa irreal é tentar suprimir as concepções alternativas, por significar suprimir pensamento de senso comum, seu modo de expressão e a linguagem cotidiana.

Posner e colaboradores (1982) escolheram a teoria da relatividade de Einstein como exemplo de revolução científica e de estratégias de mudança conceitual. O problema é que a transposição de um modelo filosófico para situações de ensino e de aprendizagem pode não ser adequada. Nesse contexto, Mortimer (1996) menciona que a História da Ciência mostra que diferentes objetos de estudo, em cada campo, revelam a impossibilidade de se ter um modelo geral para as mudanças conceituais, mesmo àquelas que ocorram em uma mesma tradição científica, independente de contexto. Um exemplo histórico:

Debus (1978) mostra que é um engano se afirmar que a Química teve que esperar mais de 100 anos pela sua 'revolução newtoniana'. Segundo Debus, isso seria a consequência de uma transposição superficial dos modelos de historiografia da Física para outras áreas científicas, que tiveram modos diferentes de desenvolvimento. O nascimento da Química Moderna teria raízes em tradições químicas anteriores, como a iatroquímica, por exemplo (Mortimer, 1996, p.27).

Nesse sentido, é possível observar que as peculiaridades dos conceitos dependem de determinados contextos. Na Ciência, e particularmente na Química, já se encontram muitos exemplos de aplicações de conceitos considerados ultrapassados, mas que ainda são úteis em determinadas situações. Um químico quântico, conforme Mortimer (1996), não precisa abandonar totalmente a sua visão

daltoniana do átomo, afinal, a estequiometria de equações químicas depende apenas de uma visão simplificada do átomo daltoniano.

Ao estudar o desenvolvimento de ideias referentes ao conceito de matéria, entre estudantes de uma escola secundária, Scott (1987) conclui ser, na prática, um processo difícil, pois, no lugar de mudança conceitual, parece ocorrer um desenvolvimento paralelo referentes às partículas e às ideias pré-existentes, seriam explicações alternativas empregadas em situações e momento apropriados, e não mudança conceitual como proposto por Posner e colaboradores (1982).

No Ensino de Química podemos destacar alguns trabalhos na área de investigação de mudança conceitual no ensino de conceitos químicos, como, por exemplo: a revisão de Schnetzler (2002) que analisou várias pesquisas que obtiveram resultados nos quais foi possível perceber, claramente, a resistência à mudança conceitual de estudantes; e Mortimer (1994), com investigação acerca da “regra do octeto” e Teoria da Ligação Química, obteve resultados que demonstraram que as concepções prévias de estudantes não são facilmente abaladas, mesmo quando lhes são apresentadas evidências empíricas, dentre outros argumentos.

Mortimer (2011) considera que as propostas para reformular e aprimorar a teoria de mudança conceitual foram surgindo com o passar dos anos. Nessa perspectiva, diversos autores como Carativa e Halldén (1994), Claxton (1984), Disessa (1993), dentre outros, admitem a hipótese de que o indivíduo pode dispor de uma variedade de ideias alternativas capazes de serem ativadas mediante o contexto em que estão inseridas.

Pozo e Gómez Crespo (1998) afirmam que a ativação contextual de teorias alternativas não é compatível com a necessidade de mudança conceitual para a construção do conhecimento. Esse problema da mudança conceitual por meio da hipótese hierárquica se aproxima bastante do modelo de “mudança de perfis conceituais” (Mortimer, 1995, 2011, etc.). Ressaltando, esse modelo de Mortimer foi explorado no Capítulo 5, por tratar de um conteúdo relevante para a leitura dos professores que participaram da avaliação da proposta.

1.3 FORMAÇÃO DE CONCEITOS NO ENSINO DE QUÍMICA

Um elemento central do Ensino de Ciências Naturais é a aprendizagem dos conceitos científicos. São instrumentos mediadores, por meio dos

quais interpretamos e interagimos com os fenômenos e com a realidade. A formação de conceitos é um processo lento, complexo e essencialmente incompleto. A apropriação do conceito se organiza pela compreensão, sucedida de um trabalho verbal de construção de sentidos. Desse modo, ao considerar o conceito como um meio importante de apropriação do conhecimento científico, cabe valorizar a formação de conceitos numa perspectiva que vai além de somente entendê-lo como uma ferramenta para compreender o mundo, mas também como um processo que modifica substantivamente o conteúdo do pensamento humano e potencializa o desenvolvimento das funções mentais superiores (Lima; Aguiar Júnior; Caro, 2011).

Transcorrendo pela Filosofia da Ciência, o autor Rickert (1986) é um exemplo de expressiva contribuição na compreensão da origem de conceitos nas ciências por meio da obra “Os limites da formação de conceitos em ciências naturais” que tratou, particularmente, do conhecimento histórico. No que se refere ao entendimento do conhecimento empírico das ciências, pode-se destacar o trabalho de Hempel (1952), que abordou algumas considerações básicas de formação de conceitos científicos, como um exemplo do desenvolvimento de um sistema de conceitos especializados, mais ou menos abstratos, de terminologia técnica correspondente, utilizados na teoria científica.

Na concepção de Teixeira (2006), os conceitos científicos, em situações de ensino e de aprendizagem, podem ser vistos a partir de duas perspectivas; a primeira é a visão dos conceitos como rótulos que nomeiam conjuntos de atributos ou propriedades perceptíveis, dados objetivos e fatos encontrados no mundo; na segunda, os conceitos podem ser considerados substantivos que compactuam uma rede flexível de conhecimentos articulados e encadeados. A primeira visão é mais identificada nos processos de ensino e de aprendizagem de definições e execuções de experimentos que evidenciam propriedades. Enquanto o segundo entendimento é mais presente quando o foco é a capacidade de articulação de informações em função do contexto em que o conceito é empregado.

Há décadas, Nébias (1999) já havia ressaltado que a aprendizagem de conceitos foi objeto de diversas investigações, principalmente por estes desempenharem papel relevante quando se pensa na instrução formal escolar que propicia a construção do conhecimento científico por parte dos estudantes. A literatura apresenta vários trabalhos da pesquisa em educação que discutem a formação de conceitos científicos por estudantes que se fundamentam nas teorias de Vygotsky

e/ou Bakhtin, tais como os de: Nébias (1999); Góes e Cruz, (2006); Lima, Aguiar Júnior e Caro (2011).

Nébias (1999), fundamentada nos estudos de Vigotski (1991), Panofsky, Jonh-Steiner e Blackwell (1996), Der Verr e Valsiner (1996), dentre outros, sintetiza seu trabalho com algumas sugestões de práticas pedagógicas que a autora considera mais adequadas à formação de conceitos científicos. Algumas delas são;

- os conhecimentos prévios do estudante, suas experiências culturais e familiares necessitam ser aceitas para progressivamente evoluírem;
- um conceito científico que traz satisfação, ou seja, é significativo, faz sentido, explica o maior número de situações e resolve mais problemas, facilita a evolução de conceitos prévios;
- o estudante pode ser levado a testar suas concepções em situações de conflito por meio de contraexemplos;
- o diálogo permite o diagnóstico de ideias em diferentes momentos de aprendizagem;
- a experimentação no desenvolvimento de um conceito nem sempre é possível. Portanto, a exploração de meios diversos, como filmes, atividades de campo, etc., são valorizados;
- um recurso precioso para o desenvolvimento conceitual é a construção de mapas conceituais (Ausubel).

A autora utiliza o termo “reconceitualização” para o processo em que o ensino sistemático e explícito na escola precisa ser promovido ao estudante, para que este desenvolva formas de pensamento que se estendam para outras áreas de conhecimento e para além das situações de sala de aula.

Num olhar epistemológico do Ensino de Química, Costa, Passerino e Zaro (2012) investigaram as pesquisas em Educação Química, relacionadas com uma maior aproximação de cunho filosófico-psicológico e as de caráter didático pedagógico, em particular, quanto ao estudo das vias de desenvolvimento dos conceitos científicos em situações de ensino e de aprendizagem. Os autores afirmam que dentre as diversas correntes filosóficas de explicações da problemática do processo de formação de conceitos encontra-se a empirista. A perspectiva empirista tem por pressuposto a crença de que o esquema formativo dos conceitos se apoia nas experiências sensoriais e na capacidade de representação dos objetos. Por sua vez, a corrente materialista dialética atribui grande importância aos conhecimentos

historicamente construídos, destacando os aspectos relacionados tanto a sua ontogênese quanto a sua filogênese.

Ao analisar as diferentes posições adotadas por essas duas correntes filosóficas a respeito da temática em questão, Costa, Passerino e Zaro (2012) chamam a atenção para alguns pontos conflitantes, os quais produzem implicações diretas para o Ensino de Química, e mencionam a necessidade de se operar conceitos teóricos, como propriedades essenciais tais como:

(1) a operação mediante a análise dos seus vínculos internos; (2) a impossibilidade de elaboração sem os meios especiais de abstração, análise e generalização; (3) a capacidade de reflexão acerca das propriedades gerais e essenciais dos objetos e fenômenos; (4) o domínio dos fenômenos objetivamente inter-relacionados, dentro de um sistema integrado de conceitos; e (5) a tomada de consciência da própria atividade mental, com posterior exteriorização através de sistemas de símbolos e sinais (Costa; Passerino; Zaro, 2012, p. 279).

A partir dessas premissas, os autores elaboraram algumas recomendações a respeito do processo de ensino e de aprendizagem de conceitos químicos, especialmente quanto à prática docente e às situações de ensino que operam mediante conceitos teóricos. Foram destacadas as atividades de modelização e a exploração mediatizadora dos signos e representações (Costa; Passerino; Zaro, 2012).

Gois (2017) entende que a Química é a ciência das estruturas de substâncias, suas propriedades e transformações. Para os profissionais da Química, a significação de representações químicas possui forte relação com os aspectos empíricos. Nesse contexto, Francoeur (2001) enfatiza que a História da Química, em razão do interesse dos químicos em lidar com aspectos teóricos e práticos da realidade, mostra que representações específicas foram desenvolvidas.

Foi observado, com os primeiros tópicos do texto, que as discussões e estudos referentes à formação de linguagens e de conceitos são históricas e possuem um fundamental valor social, cultural e científico. Apesar das críticas direcionadas ao construtivismo, também se percebe a grande influência construtivista na formação de conceitos científicos e que, conseqüentemente, está presente no Ensino de Ciências Naturais, bem como a relevância do aspecto representacional para o Ensino de Química. Na sequência, segue-se um estudo das publicações científicas referentes ao conceito de substância química, foco principal desta

pesquisa.

1.3.1 Conceito de Substância: um estudo das publicações científicas

Uma análise das publicações científicas mais relevantes relacionadas ao ensino de substâncias químicas nos permite classificá-las, inicialmente, em dois principais grupos; o primeiro se refere às pesquisas cujo objetivo está relacionado ao conceito de substância química no ensino, ou seja, oferecem contribuições diretas ao tema de pesquisa; no segundo grupo estão aquelas cujas pesquisas, apesar de não ter o foco no tema ensino de substância química, trazem resultados relevantes a compreensão do mesmo, que denominamos de contribuições secundárias a presente pesquisa. Ressaltamos que publicações relacionadas a aspectos históricos e epistemológicos no ensino de substância química serão tratadas separadamente.

Dentre as publicações com contribuições diretas se destacam os trabalhos de investigação para conhecer como estudantes classificam substâncias, compreendem o conceito de substância química, molécula, elemento, átomo, matéria e reação química, como, por exemplo; trabalhos de Vogelezang (1987), Stains e Talanquer (2008), Håland (2010), Silva e Amaral (2013; 2016), Silva e Aguiar (2008). Assim sendo, é possível observar que as discussões em torno de conceitos químicos básicos no ensino são escassas.

Vogelezang (1987) argumenta que o conceito de átomo (como conceito de elemento) só faz sentido no contexto da totalidade das reações que estão sendo consideradas. Sendo assim, elemento e átomo são conceitos unificadores para que estudantes entendam a variedade de fenômenos químicos e reações. Segundo o autor, Buck (1983) propôs uma lei de conversibilidade restrita de substâncias que resume a observação empírica de que as substâncias sofrem apenas certas mudanças e transformações distintas, mas não outras. Uma abordagem que busca a aprendizagem significativa envolve a consideração de reações químicas nas quais duas substâncias se combinam para formar uma nova, introduzindo os conceitos de átomo e molécula.

Stains e Talanquer (2008) investigaram os padrões de pensamento de estudantes novatos de graduação em química no processo de classificação de substâncias químicas, usando representações particuladas da matéria. Foi observado que muitos dos erros de classificação desses estudantes resultaram de fortes

associações mentais entre conceitos (por exemplo, átomo-elemento, molécula-composto) ou da falta de diferenciação conceitual (por exemplo, mistura composta).

A dificuldade de diferenciação conceitual foi muitas vezes associada a má interpretação das definições formais, por exemplo, “um composto sempre contém a mesma proporção de seus átomos componentes” (Stains; Talanquer, 2008, p. 658, tradução própria) ou a supergeneralização de ideias como “partículas em compostos iônicos sólidos são arranjadas em padrões regulares” (Stains; Talanquer, 2008, p. 658, tradução nossa). Sendo assim, a interpretação confusa, inadequada e a generalização excessiva levaram muitos estudantes dessa investigação a considerar uma variedade de recursos irrelevantes na tomada de suas decisões de classificação. Por exemplo, a presença de átomos entre diferentes partículas, distribuição de partículas no sistema e relativa concentração de diferentes espécies (Stains; Talanquer, 2008).

Segundo Håland (2010), é observado que estudantes de licenciatura apresentam dificuldades com ideias aparentemente simples na química introdutória. Suas análises com 31 estudantes do curso de química inicial, mostraram que pelo menos 4 dos 5 estudantes noruegueses investigados parecem ter algum problema de compreensão dos conceitos de matéria, partículas da matéria e substância. Ao analisar as declarações dos estudantes acerca dos processos de evaporação e condensação, em um olhar mais superficial, tem-se a impressão de que quase todos os participantes entenderam os processos. No entanto, sondando mais profundamente suas respostas, é possível observar ideias diferentes daquelas do ponto de vista científico.

Håland (2010) afirma que, embora a maioria dos estudantes mencionara algum tipo de partícula, apenas alguns realmente tentaram usar o modelo particulado de matéria para explicar esses fenômenos. Outros parecem precisar de um agente para mover a água. Poucos consideram o movimento interno das moléculas de água. Conforme o autor, essa questão pode ser uma ilustração do duplo problema que Johnson e Gott (1996) argumentaram: a tendência a interpretar o que é dito a partir de um “ponto de vista próprio”, o que pode gerar problemas para que estudantes compreendam o que o professor (pesquisador) diz, e o professor pode interpretar equivocadamente as respostas desses estudantes. Para Håland (2010), a ideia indica que para tais estudantes a fronteira entre a matéria e não matéria é pouco

clara. No entanto, também pode ser um resultado infeliz de tentativas de fazer com que as respostas soem mais científicas.

Observamos que trabalhos de Johnson (1998a, 2002) enfatizam o papel crucial que a visão particulada da matéria desempenha na compreensão da matéria e das substâncias e suas transformações. Todavia, investigações de Johnson (1998b), de Lee, *et al.* (1993) e de Nakhleh, Samarapungavan e Saglam (2005) revelaram que estudantes raramente fazem uso espontâneo de partículas em suas explicações. Diante disso, Håland (2010) recomenda que conceitos relacionados a matéria necessitam de melhor inclusão e tratamento de forma compreensível e mais clara nos cursos de formação de professores, por meio de atividades e abordagens que permitam a reflexão que revele o quão bem os estudantes compreendem tais conceitos e como suas concepções estão em acordo ou desacordo com os pontos de vista científicos.

Em “*Concepções sobre Substância: Relações entre Contextos de Origem e Possíveis Atribuições de Sentidos*”, Silva e Amaral (2016) analisaram percepções de estudantes e professores do Ensino Médio acerca do conceito de substância, identificando a natureza dessas ideias e o contexto ao qual elas podem estar associadas. Identificaram diferentes modos de pensar o conceito de substância associados a diversos contextos de origem. Segundo os autores, em situações de aprendizagem, estudantes dificilmente conseguem situar ideias científicas em relação às suas concepções e noções informais. A resistência em abandonar as concepções informais, mesmo após ter estudado e desenvolvido um conceito científico em algum momento da sua vida escolar, pode ser atribuída ao fato de que o estudante parece não perceber a aplicabilidade de conceitos científicos em situações do dia a dia, enquanto algumas de suas concepções informais são úteis em determinados contextos. Todavia, essas concepções e noções se apresentam limitadas quando este está diante de situações em um contexto científico.

Silva e Amaral (2016) ressaltam a importância de professores estarem atentos à heterogeneidade de modos de pensar dos estudantes e às diferentes concepções que podem emergir na discussão em sala de aula e tentarem articular tais ideias com o conhecimento científico, admitindo os significados que cada concepção pode adquirir em determinados contextos.

Fundamentados em Vigotski e Bakhtin, Silva e Aguiar (2008) analisaram o uso de conceitos de elemento e de substância por estudantes do Ensino

Fundamental, numa perspectiva de análise sociocultural, examinando o processo de construção e uso de conceitos enquanto produção mediada de sentidos. A análise permitiu concluir a importância da alternância entre discurso dialógico e discurso de autoridade para o processo de elaboração conceitual, visto que os conceitos de elemento químico e substância fazem parte de muitos conceitos que apresentam sentidos variados no uso diário e até mesmo no uso científico.

Algumas publicações como de Nelson (2002), de Furió-Más, Domínguez-Sales e Guisasola (2012), de Pane (2015) e de Lacerda, Campos e Marcelino Júnior (2012), trazem o foco para a necessidade de conexões entre níveis macro e níveis molecular, atômicos e subatômicos no ensino de substâncias químicas e/ou dificuldades na compreensão do contexto de descontinuidade da matéria. Como lembrado por Nelson (2002), os químicos descrevem a Química em vários níveis, dos quais apenas um pode ser facilmente observado. O nível um: o nível macroscópico ou das grandes quantidades, nível dois: o nível molecular e atômico e nível três: o nível eletrônico e nuclear.

Segundo Nelson (2002), estudantes precisam compreender que a química é um assunto prático, com amplas aplicações. No entanto, a relação entre os níveis um, dois e três é uma parte importante da Química, e precisa ser bem trabalhada. Para isso, um método mais promissor consiste em ensinar química progressiva, começando com observações a um nível macroscópico, interpretá-las a um nível atômico e molecular e, em seguida, a um nível eletrônico e nuclear.

Diante de alguns problemas referentes aos conceitos de mistura, substância simples, composta e elemento químico retratados em pesquisas em Educação Química, Lacerda, Campos e Marcelino Júnior (2012) desenvolveram uma abordagem didática. Essa abordagem utilizou conceitos de mistura, substância simples e composta e elemento químico numa perspectiva de ensino por situação-problema com estudantes do 1º ano do Ensino Médio. Os resultados indicaram que obstáculos envolvendo conceitos de substância e mistura de substâncias referentes à descontinuidade da matéria e a percepção da substância puderam ser superados por meio da abordagem diádica com a temática Agricultura, por permitir que estudantes conhecessem um contexto histórico que justifique a ideia atual de substância simples, composta e elemento químico segundo uma visão microscópica da matéria.

Ainda no contexto de abordagem didática baseada em resoluções de problemas, Furió-Más, Domínguez-Sales e Guisasola (2012) elaboraram e

implementaram uma sequência didática para facilitar o aprendizado dos conceitos de substância, substância simples e compostas no ensino médio. Foi identificado uma proporção significativa de estudantes com dificuldade em compreender o conceito de substância e relacioná-lo com o modelo atômico, ou seja, problemas ao estabelecer conexões entre o conceito macroscópico de substância, definido por suas propriedades específicas e perceptíveis do nível macroscópico, e o modelo atômico, que representa a substância em seu nível atômico. No entanto, os resultados mostraram que a abordagem didática com seleção de conteúdos fundamentada no construtivismo, partindo do nível macro para o atômico, ofereceram a estudantes maiores habilidades analíticas, bem como uma compreensão mais profunda dos conceitos estudados.

Numa investigação mais recente, Pane (2015) concluiu que estudantes do 9º ano do ensino fundamental II apresentam noções de substâncias químicas relacionadas ao aspecto macroscópico e esse fato pode dificultar o entendimento das conceituações cientificamente aceitas. Os resultados revelaram que esses estudantes acreditavam que material, substância e mistura são o mesmo, com as substâncias feitas por apenas um elemento químico, toda substância é natural e substância é um material. O que apresenta a relevância em contar com um tratamento conceitual inicialmente ao nível macroscópico, incluindo no planejamento, sequências didáticas elaboradas na perspectiva da demanda conceitual para incentivar estudantes a refletirem o que sabem e possam evoluir suas ideias.

Na sequência, seguem alguns trabalhos cujas discussões apresentam contribuições secundárias à pesquisa em questão. Trata-se de investigações acerca de analogias presentes em livros didáticos, com o papel da memória no processo de aprendizagem, cujas análises trazem aspectos relevantes relacionados ao tema substância química.

Francisco Junior, Francisco e Oliveira (2012), considerando que as analogias são instrumentos bastante utilizadas em aulas e livros didáticos, analisaram as analogias presentes nos livros de Química Geral para o Ensino Superior em língua portuguesa, para traçar um paralelo com os resultados já divulgados para obras do Ensino Médio brasileiro e buscar refletir as possíveis influências de analogias presentes em livros voltados ao Ensino Superior em autores de livros para o Ensino Médio. No que tange à distribuição das analogias entre os temas químicos, observou-se prevalência de analogias no tópico *Substâncias: composição e propriedades*.

Na análise de Francisco Junior, Francisco e Oliveira (2012), o uso indiscriminado de analogias não parece decorrer da elevada abstração desse tema, mas de um pensamento historicamente arraigado entre autores de livros didáticos (ou químicos) de que tal assunto precise ser abordado com analogias, e que elas promovem realmente a compreensão. Contudo, como bem observado pelos autores, analogias funcionam bem quando as semelhanças predominam e tendem a falhar quando as diferenças começam a prevalecer, portanto, há a necessidade de discussão das limitações das analogias pelo professor.

Silva e Lyra (2020) apresentam um caso no qual dois estudantes tentam resolver questões de substância química por meio da memória de informações de fontes e conhecimentos anteriores. Os resultados indicam que a construção de significados ocorre a partir de modificações na memória, todavia tais modificações identificadas no ato de recordar não são distorções, mas externalização de novos significados que surgem por meio de características como transformação, importação, transferência e elaboração. Desse modo, é possível obter noções de como a memória pode regular a tomada de significado de conceitos científicos.

Na continuação, abordaremos um estudo das publicações científicas voltadas ao ensino de substância química ligadas à perspectiva da História e Filosofia da Ciência.

2 HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE QUÍMICA

Segundo Martins (2006), a História das Ciências nos permite ter uma visão a respeito da natureza da pesquisa e do trabalho científico que não se encontra facilmente num estudo didático dos resultados científicos. Certos questionamentos precisam ser desenvolvidos para ocorrer um ensino significativo:

De que modo as teorias e os conceitos se desenvolvem? Como os cientistas trabalham? Quais as ideias que não aceitamos hoje em dia e que eram aceitas no passado? Quais as relações entre ciência, filosofia e religião? Qual a relação entre o desenvolvimento do pensamento científico e outros desenvolvimentos históricos que ocorreram na mesma época? (Martins, 2006, p.17).

As interpelações entre a Ciência, Tecnologia e Sociedade podem ser mais bem compreendidas por meio de um estudo adequado de alguns episódios históricos que mostram que a ciência não está isolada, que faz parte de um desenvolvimento histórico-cultural humano e sofre influências por muitos aspectos da sociedade (Martins, 2006).

A presença da História e da Filosofia da Ciência (HFC) na pesquisa em Ensino de Ciências tem sido bastante presente. Com a necessidade de desmistificar a crença na Ciência intocável, a comunidade científica da área buscou por formas de explorar a HFC que vão além da apresentação de textos históricos em sala de aula. Para suporte teórico e norteamto da presente pesquisa, será apresentado na sequência um levantamento das pesquisas na área da HFC com ênfase no ensino de substância química.

2.1 HFC NO ENSINO DE SUBSTÂNCIA QUÍMICA: UM ESTUDO DAS PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS

A busca por pesquisas com abordagens da HFC no ensino de substância química permitiu o destaque dos trabalhos de Silveira (2003), Tavares (2009, 2010), Lambach e Marques (2011), Raviolo, Garritz e Sosa, (2011), Ngai, Sevia e Talanquer (2014), Silva (2017a, 2017b) e Dotto Bellas (2018).

Segundo a autora Dotto Bellas (2018), o conceito de substância tem um papel fundamental na Química, já que este se refere à composição dos materiais, sendo uma ideia estruturadora do pensamento químico. Todavia, pesquisas da área de Ensino de Química apontam uma série de dificuldades associadas ao ensino e à

aprendizagem deste conceito. Por entender que o conhecimento da natureza do conceito poderá contribuir na construção do significado químico de substância, em sua tese de doutoramento em Ensino, Filosofia e História das Ciências, para o esclarecimento dos conceitos, Dotto Bellas (2018) apresenta um referencial teórico das contribuições de Vigotski, a partir de sua Psicologia Histórico-Cultural, das contribuições filosóficas de Hardy-Vallée e das contribuições da História da Ciência.

A base da investigação foi compreender como estudantes de graduação concebem substância química e empregam este conceito na resolução de problemas químicos. A discussão aristotélica da essência das coisas teve seus desdobramentos e contribuiu na construção de um significado para o termo substância filosófica, porém, não contribuiu significativamente para o atual conceito químico de substância. Desse modo, Dotto Bellas (2018) apresenta um desenvolvimento do conceito de substância química considerando seus aspectos históricos e filosóficos específicos da Química por meio de diversos contextos e os significados construídos para o termo substância. É enfatizado o período desenvolvido a partir do século XVIII, quando se inicia a elaboração do conceito atual.

Dotto Bellas (2018) destaca que apesar da identificação da substância ser feita por meios operacionais, deve-se evitar a visão equivocada da Química como uma ciência predominantemente experimental, pois toda experiência está ligada a referenciais teóricos que sistematizam a formação do conhecimento químico. A autora conclui que:

Desse modo, podemos conciliar a definição de substância como material puro (aspecto macroscópico) associando-a aos seus constituintes (aspecto microscópico), adotando uma terceira formulação: substância química é um material puro que apresenta composição constante e propriedades físicas com valores característicos sob condições especificadas, cuja representação é feita pela espécie química predominante que corresponde à sua fórmula química. Vale destacar que a substância pode apresentar em sua composição, constituintes relacionados entre si por equilíbrios químicos. Ao escolher uma espécie química como representante da substância, estamos definindo-a como aquela espécie cuja concentração pode variar independentemente, ou seja: como o componente predominante do sistema material (Dotto Bellas, 2018, p. 61, 62).

Segundo Dotto Bellas (2018), a análise do processo na totalidade revelou que o conceito de substância aparece em diferentes momentos da graduação, embora as abordagens nos componentes curriculares não explicitem claramente o seu significado. Diante disso, as dificuldades dos estudantes em conceituar

substância quimicamente e justificar o seu uso apontam a necessidade de uma abordagem de ensino que favoreça a compreensão de seu real significado.

Dotto Bellas (2018) destaca, ainda, a necessidade de se trabalhar a construção do significado químico de substância por meio de seus aspectos históricos e filosóficos e, por fim, observa que ainda é necessário desenvolver pesquisas que explorem como licenciandos recém-formados ensinam substância e seu sistema conceitual, bem como a maneira como o conceito de substância é trabalhado nos componentes de Ensino de Química.

Por meio de outro olhar investigativo, Ngai, Sevia e Talanquer (2014), baseados na revisão e análise crítica de investigação já existentes das concepções alternativas de estudantes na educação química e análises históricas e filosóficas da química, desenvolveram um trabalho de caracterização e mapeamento de estudantes frente a suposições de fatores que determinam a identidade química. Os autores concebem o termo 'identidade química' como um núcleo de conceitos disciplinares transversais que podem trazer coerência e relevância para os currículos de química em todos os níveis de ensino.

O entendimento da identidade química pode ser o meio pelo qual os estudantes são convidados a reconhecerem os diferentes tipos de substâncias e explorar suas propriedades. A análise, em particular, revela ideias robustas acerca da identidade química, mas também destaca a existência de grandes lacunas de conhecimento que necessitam ser preenchidas para melhor promover a compreensão do estudante (Ngai; Sevia; Talanquer, 2014).

O estudo de Ngai, Sevia e Talanquer (2014) foi baseado na revisão de análises já existentes em Ensino de Ciências e Química, partindo de um olhar para questões centrais: — Que tipos de matéria existem? Que sinais são usados para diferenciar os tipos de matéria? — Destacou-se a classificação de objetos e materiais, as crenças acerca de mudanças na identidade química durante alterações físicas ou químicas, assim como a historicidade, aditividade, substancialismo e padrões de pensamento configurados em uma progressão hipotética de grandes suposições sobre química, tais como:

- i. *Objetivação*: tendência de usar as propriedades objetivamente para diferenciar materiais;

- ii. *Princípioalismo*: tendência para explicar as propriedades da matéria por referência a presença (ou ausência) de “princípios” que conduzem a essas propriedades;
- iii. *Composicionismo*: tendência de pensar substâncias como misturas de átomos e elementos com propriedades características;
- iv. *Interacionismo*: tendência para exibir as propriedades de matéria como emergentes das interações dinâmicas entre os componentes.

Portanto, foram observados diferentes graus de sofisticação conceitual para a Identidade química, sendo o interacionismo uma tendência mais produtiva. Um exemplo nessa visão: densidade, ponto de fusão e solubilidade são propriedades emergentes da matéria resultantes das interações em grande número de partículas no nível molecular, enquanto as propriedades químicas de moléculas individuais emergem de interações entre componentes subatômicos (Ngai; Sevian; Talanquer, 2014).

Dentre as sugestões oferecidas por Ngai, Sevian e Talanquer (2014) e suas implicações para o Ensino de Química, com fundamentos de Krnel, Watson e Glažar (2005), Talanquer (2006), Johnson e Papageorgiou (2010), Talanquer e Pollard (2010), vale destacar a citada historicidade, termo utilizado para se referir a influência do conhecimento da origem e história do pensamento atual das entidades de interesse, pois o estudante tende a considerar a origem e história de um material para tomar decisões acerca das concepções de identidade química e sua conservação durante um processo (Ngai; Sevian; Talanquer, 2014).

É também interessante uma reforma educacional visando uma mudança na estrutura conceitual em que é introduzido o modelo de partículas de matéria, bem como uma análise cuidadosa de como construir pontes entre os níveis macroscópicos, de partículas, e das conceituações atômicas de diferentes materiais. Assim, o Ensino de Química deve ser impulsionado pela busca de respostas para questões essenciais na disciplina, por exemplo: — Do que isso é feito? Como posso fazer isso? — E não pela intenção de cobrir um conjunto de temas centrais como, por exemplo, estrutura atômica e ligação química (Ngai; Sevian; Talanquer, 2014).

Segundo Silveira (2003), é possível analisar a substância a partir de um pluralismo filosófico e classificá-la em três diferentes momentos epistemológicos: substância metafísica, substância empírico-racional e substância ultra racional. Essa análise epistemológica incorporada nos cursos de licenciatura e nos cursos de

capacitação de professores poderá permitir a identificação dos obstáculos epistemológicos e a existência de diferentes níveis de abordagem para um conceito, conforme com o estágio de aprendizagem em questão. Silveira (2003) lembra que compreender as espirais epistemológicas que estabelecem o desenvolver de um determinado conhecimento científico é requisito relevante para planejar e elaborar materiais didáticos ou aulas.

Uma investigação relevante em livros didáticos se refere a dissertação de Tavares (2010) intitulada “*A História da Ciência nas Obras de Química do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio: uma análise através do conceito de substância*”. Os resultados revelaram que alguns autores consideram, em maior ou menor grau, aspectos histórico-epistemológicos no tratamento de alguns conceitos. Porém, há algumas questões limitadas ou mesmo ausentes, como, por exemplo, a discussão metodológica científica e o papel dos aspectos econômico-político-sociais no processo de construção dos conceitos químicos.

Em seu artigo “*Possibilidades de deformação conceitual nos livros didáticos de Química brasileiros: o conceito de substância*”, Tavares (2009) reforça que a formação de professores, inicial e continuada, precisa considerar as contribuições da História e Filosofia da Ciência, na prática docente, possibilitando uma análise crítica dos livros didáticos e das práticas pedagógicas delimitadas por uma visão de ciência neutra, dogmática e linear. Para isso, o professor conta com diferentes abordagens (histórico-epistemológica; CTS; ambiental), bem como recursos e ferramentas de ensino (vídeo; softwares; livros didáticos; laboratório; museus, entre outras).

Partindo de uma discussão conceitual, histórica e dialética de dois conceitos centrais da Química: substância e reação química, considerando seus aspectos macroscópicos e nanoscópicos, Raviolo, Garritz e Sosa (2011) analisaram como esses dois conceitos participam da definição da Química, e discutiram resultados obtidos por uma revisão de definições apresentadas por professores e livros didáticos.

Em base, de acordo com Jorba *et al.* (2000 *apud* Raviolo; Garritz; Sosa, 2011), uma definição é uma explicação do significado de um termo, no intuito de eliminar a imprecisão e a ambiguidade de palavras. Porém, Raviolo, Garritz e Sosa (2011) argumentam que o problema está no fato de que as classificações são construções humanas e, portanto, como as definições, não são perfeitas. Isso é

evidente até nas definições mais básicas da Química, como o caso de conceitos de substâncias e reações químicas que demandam uma grande dispersão de classes em que se inserem os conceitos químicos.

Para fazer alusão à importância da abordagem histórica da Ciência no ensino, Raviolo, Garritz e Sosa (2011) lembra a ideia do químico James Bryant Conant (1947), que acreditava que estudar o trabalho de grandes cientistas poderia ilustrar a “tática e estratégia da ciência”. Desse modo, a introdução de casos históricos pode representar uma ponte que leva ao entendimento de estudantes a respeito do que os cientistas fazem, o que sua geração sabia das grandes questões do momento, dos problemas que decidiram examinar e como os resolveram.

Outra implicação relevante do trabalho de Raviolo, Garritz e Sosa (2011) é a necessidade de repensar as definições de conceitos básicos de Química em diferentes pontos do desenvolvimento do currículo, inclusive na graduação, incorporando progressivamente outras nuances, como históricas e epistemológicas. Segundo esses autores, é um erro acreditar que um conceito abstrato é apreendido em um momento do programa de forma acabada e definitiva. Nos livros didáticos, frequentemente a apresentação dos conceitos de substância, mistura e reação química se inicia ao nível nanoscópico. No entanto, a apropriação conceitual profunda ocorre quando o/a estudante pode relacionar corretamente os atributos macroscópicos e as entidades e imagens nanoscópicas, relação esta que precisa ser feita apenas após a compreensão dos aspectos macroscópicos em estudo.

Na análise dos textos, na totalidade, observou-se falta de definições de alguns conceitos básicos, proposições errôneas ou generalizações imprecisas, o uso do mesmo termo com significados diferentes, dentre outras complicações. E segundo os autores, os professores pesquisados não melhoraram as definições que aparecem nos livros didáticos que usam. Além disso, em muitos casos, as omissões ou erros nos textos foram amplificados nas respostas dos professores. Conclui-se que a situação na sala de aula pode ser mais caótica se considerarmos que os professores pesquisados são professores participantes em cursos avançados, com atitudes de aprimoramento e com interesse à docência (Raviolo; Garritz; Sosa, 2011).

Mais recentemente, podemos encontrar pesquisas direcionadas a modos de pensar o conceito de substância química e a utilização do perfil conceitual no planejamento do ensino e na análise do processo de aprendizagem, como os trabalhos de Silva e Amaral (2013), Silva (2017a) e Sabino e Amaral (2018). Em

síntese, destacado por Silva (2017a), os métodos de ensino baseados na Teoria do Perfil Conceitual (Mortimer; El-Hani, 2014), buscam permitir que estudantes tenham consciência dos diversos modos de pensar, da heterogeneidade de pensamento de alguns conceitos, direcionando cada modo de pensar em contextos adequados.

No desenvolvimento histórico do conceito de substância encontram-se formas de falar relacionadas com modos de pensar, os quais foram organizados em cinco zonas de um perfil conceitual: generalista, essencialista (utilitarista/pragmática), substancialista, racionalista e relacional (Silva, 2017a). Observa-se, também, que zonas generalistas, por exemplo, estiveram dispersas em várias épocas do desenvolvimento histórico, além de serem encontradas na atualidade, principalmente em contextos e situações do senso comum, como outros modos de pensar (Silva; Amaral, 2013).

Na zona generalista são visualizadas totalidades em detrimento das partes, ou são buscados princípios universais para a compreensão de todas as coisas. Assim sendo, qualquer objeto é tratado como substância, sendo a compreensão dos materiais pautada a partir de generalidades ou princípios gerais.

A zona utilitarista/essencialista traz a compreensão de substância associada à aplicação ou utilidade que ela pode ter, principalmente para os seres humanos. Já na zona substancialista, o sujeito começa a expressar ideias científicas do conceito de substância química, tendo noção da existência de diferentes compostos, classificações e propriedades. Todavia, nas formas de falar, observa-se que há uma tendência em considerar que as propriedades físicas e químicas das substâncias também se manifestam em seus constituintes (átomos e moléculas) (Silva, 2017a).

Segundo Silva e Amaral (2013), na zona racionalista existem dois modos de pensar, associados a formas de falar: a visão macroscópica e a visão microscópica. Nessa zona, encontram-se concepções mais próximas daquelas trabalhadas no contexto científico. E por final, na zona relacional o conceito de substância é considerado um modelo teórico para explicação do comportamento da matéria, ou seja, a ideia da existência de substâncias com 100% de pureza, com propriedades físico-químicas bem definidas é considerada uma aproximação teórica.

Em resumo, há uma complexidade na noção de substância, como descrevem os autores:

Na zona relacional, estão ideias mais complexas sobre substâncias, que apontam para a natureza relativa das suas propriedades, por exemplo, um ácido pode se comportar como uma base em determinadas condições. Dessa forma, algumas propriedades das substâncias estão associadas a condições nas quais elas se encontram, e não seriam parâmetros para lhes conferir uma identidade química (Sabino; Amaral, 2018, p. 247).

Sabino e Amaral (2018) analisaram a emergência de zonas do Perfil Conceitual de Substância e o processo de conceituação vivenciado por estudantes em sala de aula. Os resultados mostraram que quatro das cinco zonas do Perfil Conceitual de Substância emergiram no decorrer das aulas e em resposta ao questionário — generalista, utilitarista/pragmática, substancialista e racionalista. — Não foi possível identificar evidências de ideias representativas da zona relacional.

Em concordância, Silva (2017a) ressalta que concepções da zona relacional são pouco discutidas em sala de aula e que, no entanto, a discussão da visão relacional é importante, por permitir que estudantes tenham consciência de certos comportamentos das substâncias. Outro resultado da investigação apontou para um aspecto relevante da prática docente: a importância de o professor ter conhecimento a respeito dos diferentes modos de pensar o conceito de substância.

Lambach e Marques (2011), observam ser necessário adequar o conceito de substância ao nível de compreensão de estudantes de Ciências/Química em seus diferentes estágios de aprendizagem, utilizando uma visão macroscópica para as séries finais do Ensino Fundamental até se aproximar da conceituação atômica e subatômica, como vige atualmente, no Ensino Médio. Os autores observam que aquilo que se pode vislumbrar com a reconstituição histórica do conceito de substância é o fato da frequente confusão entre substância e elemento, da mesma forma como se apresenta nos materiais didáticos e nas práticas docentes, sendo assim, não é simples de ser resolvido.

Visto isto, organizar o Ensino de Química, partindo da fenomenologia dessa ciência, poderia ser uma forma de relacionar, articular e integrar os processos de evolução dos conceitos estudados na história das ciências, e assim identificar diferentes estilos de pensamento que levaram a manutenção e formulação de distintos modelos explicativos constituídos e compreender melhor os equívocos epistemológicos cometidos no passado, contribuindo para o esclarecimento dos conhecimentos atingidos na contemporaneidade (Batista, 2004).

Silveira (2003) realizou uma análise epistemológica do conceito de substância em livros didáticos de 5ª e 8ª séries do Ensino Fundamental e, nessa análise, observou que, na maioria das coleções analisadas, o conceito de substância é abordado a partir de uma visão submicroscópica da matéria. Além desse aspecto, observou-se que o conceito de substância não é diretamente desenvolvido, sendo particularmente enfatizada a classificação de substâncias. Há predominância do substancialismo (substâncias portadoras de propriedades).

Em suas observações, Silveira (2003) adverte que havia um descomprometimento com as questões epistemológicas na maioria das coleções analisadas. Ao conceituar substância simples como formada por um mesmo elemento químico, podemos ter uma mesma definição situada em dois momentos epistemológicos diferentes, ou seja, o conceito de elemento da química de Lavoisier é um conceito operacional, resultado do esforço de decomposição. Esse conceito não é o mesmo da química ultra racional, na qual se depende do olhar do equipamento, não sendo mais o limite da decomposição, ao haver o conhecimento da organização desse elemento por prótons, elétrons, etc.

No que se refere à introdução da Filosofia da Química, Lemes e Porto (2013a) desenvolvem uma revisão bibliográfica das questões mais discutidas na área da química com relevância ao ensino. São analisados aspectos das especificidades da química, o realismo, o reducionismo, a ética, a estética e a imagem pública da Química, bem como as suas implicações para o ensino. Segundo os autores, o impacto da instrumentação na química repercutiu ao nível ontológico. A estrutura molecular passou a ser propriedade de uma substância química. Entretanto, substâncias são ontologicamente anteriores às propriedades, haja vista não haver propriedades sem substância. Assim sendo, as estruturas moleculares são agora espécies cuja identidade precisa ser determinada, estando sujeitas a classificação química.

Tanto autores da área de Filosofia da Química, quanto os de Educação Química, defendem como necessária a inclusão de questões controversas da Química em seu ensino. Vale, portanto, ressaltar a abordagem filosófica de Needhan (2006) em *"Aristotle's Theory of Chemical Reaction and Chemical Substances"*, por tentar apresentar contribuições de Aristóteles para o desenvolvimento de ideias em química por uma perspectiva mais positiva do que geralmente é feita. Algumas de suas discussões envolvem: "1. A questão fundamental

em química é a geração de novas substâncias por meio de reações químicas”. “2. O que distingue uma substância de outra?”. “3. O que chamamos de uma mudança de fase envolve uma descontinuidade” (Needhan, 2006, p.65, tradução nossa).

O objetivo de Needhan (2006) foi formular a ideia aristotélica de que uma substância é potencialmente, e não realmente, presente em uma mistura ou combinação, e considerar alguns problemas a que isso dá origem. Um exemplo disso foi o pensamento adotado e adaptado por Duhem (1902 *apud* Needhan, 2006), com o seu entendimento da diversidade da química e das substâncias sistematizadas por fórmulas químicas, fornecendo o que ele viu ser a interpretação natural da matéria tratada pela termodinâmica.

Na visão aristotélica da matéria, um material homogêneo representa uma única substância, seja um elemento ou um composto, enquanto a matéria heterogênea compreende uma mistura de várias substâncias. Todavia, a partir da análise da água por Lavoisier, esse princípio foi abandonado. Um século depois, a regra de fase sistematizou essa visão alternativa pela primeira vez e a relação fundamental entre fase e substância foi retida e elaborada na ciência moderna (Needhan, 2006).

Esse levantamento de artigos científicos de pesquisas, com abordagens da HFC no ensino de substância química, permitiu um reconhecimento das discussões relevantes da comunidade científica da área. Observamos o enfoque dos aspectos históricos e filosóficos, por meio de diversos contextos, e os significados na construção do termo substância, dificuldades associadas ao seu ensino e à aprendizagem, predominância do substancialismo, possibilidades de deformação conceitual em livros didáticos, os diferentes graus de sofisticação conceitual e dos modos de pensar o conceito de substância química, a importância do conhecimento do professor a respeito dos perfis conceituais, dentre outras contribuições à pesquisa.

Devido à natureza do presente trabalho, o próximo capítulo é destinado às pesquisas com enfoque na abordagem CTS no Ensino de Química e ênfase no tema de Nanociência e Nanotecnologia.

3 CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE NO ENSINO DE QUÍMICA: enfoque na Nanotecnologia

Segundo Auler (2002), a partir de um contexto de Ensino de Ciências no pós-mudança conceitual, na qual não se limita à construção de conceitos, as “situações-problemas” relativas a contextos reais devem ser o ponto de partida para uma aprendizagem significativa. Em termos de orientação curricular, essa indicação sinaliza para um Ensino de Ciências voltado para os aspectos da Ciência/Tecnologia/Sociedade/Ambiente. No campo cognitivo, a perspectiva cognitivista continua presente; no campo epistemológico, o cunho externalista da Filosofia da Ciência entra em cena, além da dimensão axiológica, relativo à ética e aos valores.

No Ensino de Química, a abordagem CTS pode proporcionar maior significado aos conteúdos e desenvolver a criticidade diante do desenvolvimento científico-tecnológico no contexto social (Moreira; Aires; Lorenzetti, 2017). Segundo Jesus, Lorenzetti e Higa (2015), a Nanotecnologia pode ser potencialmente compreendida e questionada por meio da abordagem CTS, proporcionando a estudantes diferentes visões acerca da Nanotecnologia e de suas implicações sociais. Neste capítulo apresentamos um levantamento de publicações científicas referentes ao tema com ênfase na Nanociência e Nanotecnologia (N&N).

3.1 NANOCIÊNCIA-NANOTECNOLOGIA E CTS: UM ESTUDO DAS PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS

Para fins desta pesquisa, elencamos alguns trabalhos científicos que relacionam a N&N numa perspectiva CTS. Numa busca por referenciais teóricos, dentre as publicações científicas na área do Ensino de Química, com ênfase no tema de Nanociência e/ou Nanotecnologia, direcionados ao ensino de substância química, não foi possível encontrar artigos com investigações específicas do assunto.

Por outro lado, encontra-se uma variedade de trabalhos que abordam os aspectos interdisciplinares da Nanotecnologia, com o ensino de alguns conceitos químicos, dentre outras vertentes de pesquisa. Portanto, algumas dessas investigações serão apresentadas, na sequência, juntamente com um panorama do ensino de N&N no Brasil.

3.1.1 N&N na Perspectiva CTS

Em relação às publicações que remetem ao Ensino de Química e a N&N, serão apresentados alguns trabalhos que focalizam a Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). Surgem em destaque os trabalhos de Rebello *et al.* (2012), Fernandes, Nascimento e Oliveira (2018), Maria (2020) e Maria *et al.* (2021).

Uma abordagem, implementada em uma turma de primeiro ano de Ensino Médio com o tema N&N em perspectiva CTSA, foi explorada por Rebello *et al.* (2012). O trabalho foi desenvolvido baseado no tema N&N no currículo de Química para o Ensino Médio a partir de uma proposta de preparação de nanopartículas de magnetita, com uso de materiais comuns. Segundo as autoras e os autores, apesar do tema N&N estar em grande expansão em variados meios acadêmicos e técnicos e na sociedade em geral, o seu real conhecimento é questão a ser discutida. Assim sendo, Rebello *et al.* (2012) consideram de grande relevância trabalhar o tema na escola, por meio de atividades que permitam estudantes desenvolverem conhecimento dos benefícios e prejuízos que uma nova tecnologia pode ocasionar para a sociedade e ao ambiente.

O experimento em questão envolveu materiais de uso comercial na preparação de nanopartículas magnéticas a partir da reação química entre íons Fe (II) e Fe (III) em meio básico. Para complementação do projeto, foi elaborado um vídeo didático a respeito do tema. O artigo relata os resultados positivos na preparação das nanopartículas magnéticas, cujas propriedades magnéticas permitem sua utilização tecnológica e, portanto, um experimento relevante no desenvolvimento do tema N&N no ensino de química por meio da perspectiva CTSA (Rebello *et al.*, 2012).

Para investigar os conhecimentos prévios de estudantes do primeiro ano do Ensino Médio a respeito da escala nanométrica, da Nanotecnologia, da Nanociência e de suas aplicações e focadas, principalmente, na área de alimentos, Fernandes, Nascimento e Oliveira (2018), fundamentados na visão de CTS e CTSA de Santos e Mortimer (2002) e demais autores relacionados, desenvolveram um trabalho com base em estudo de caso, o qual utilizou um questionário constituídos por questões subjetivas.

Consoante os resultados da investigação, a maioria dos estudantes não apresentou conhecimento da temática. Diante desse resultado, os autores solicitaram a esses estudantes que pesquisassem a respeito dos conceitos vistos. A

partir das informações acessadas, os estudantes perceberam a importância do assunto e consideraram uma inovação em sala de aula. A abordagem CTSA, juntamente com a contextualização da N&N e com o estudo dos alimentos, oportunizou aos estudantes a reflexão crítica das aplicações nanotecnológicas na sociedade (Fernandes; Nascimento; Oliveira, 2018).

O estudo de Maria *et al.* (2021) trata da experimentação como uma estratégia para abordar a temática da Nanotecnologia no Ensino Médio numa perspectiva CTSA. O artigo, fundamentado na dissertação de Maria (2020), apresenta os resultados de uma investigação realizada no Ensino Médio com enfoque CTSA, com base no tema de Nanotecnologia no ensino dos conteúdos químicos de estrutura atômica e propriedades dos materiais, juntamente com a utilização de experimentação. A metodologia contou com um questionário prévio e posterior, atividades práticas de síntese (nanopartículas de prata e nanopartículas magnéticas de Fe_3O_4) utilizando materiais de baixo custo e resíduos.

Os estudantes tiveram a oportunidade de entender o efeito Tyndall e a sua aplicação como controle bacteriológico e em complementação, por meio de vídeos, compreenderam as aplicações das nanopartículas na remediação ambiental, na mineração, fármacos e tratamento de tumores. A avaliação dos questionários pós-intervenção didática indicou que o produto educacional, de fato, favoreceu o processo de ensino e aprendizagem dos conceitos estudados (Maria *et al.*, 2021).

É plausível perceber a escassez de publicações com enfoque no Ensino de Química e a N&N com perspectiva CTS ou CTSA. Como já descrito pelas considerações dos trabalhos acima, o ensino da N&N pelo enfoque CTS permite a formação crítica de estudantes quanto às aplicações das nanotecnologias na sociedade.

3.1.2 O Ensino de N&N no Brasil

Algumas das investigações referentes a origem e desenvolvimento do Ensino das Nanociências e Nanotecnologias no Brasil são de autoria de Toma (2005), Martins (2010), Alfonso (2011) e Marcone (2015). Toma (2005) investigou as interfaces da organização da pesquisa no Brasil no contexto da Química à Nanotecnologia. A ampla pesquisa perpassou pela nanotecnologia e o mundo em desenvolvimento e pelos modelos de organização. De acordo com Toma (2005), a

implementação da área da Nanotecnologia e sua nanoescala requer uma excepcional capacitação para lidar com abordagens inter e multidisciplinar e uma nova estrutura de organização de pesquisa. Há necessidade de cooperação entre diversas áreas complementares e indústrias.

No Brasil foram criadas as redes de Nanotecnologia e os Institutos do Milênio, cujos destaques e dificuldades são discutidas no artigo, além de temas importantes da Nanotecnologia, suas necessidades especiais e recursos de nações em desenvolvimento. O autor chama a atenção quanto ao papel importante dos químicos na assimilação e desenvolvimento da N&N e na contribuição para evolução sustentável. Uma das conclusões das discussões destaca a necessidade de adoção de estruturas de apoio, por meio de laboratórios estratégicos, e da parceria empresarial. Enfatiza a reflexão acerca da implantação de uma cultura “nano” (N&N) nos currículos de graduação e pós-graduação como promoção de geração de recursos humanos capacitados para atuar na área da Nanotecnologia (Toma, 2005).

O artigo de Martins (2010) adotou um histórico para caracterizar o desenvolvimento da N&N no Brasil, que se iniciou no século XXI. A periodização usada para determinar quando algo surge na Ciência e Tecnologia de um país é complexa, pois a origem de um evento remonta a um período anterior àquele geralmente aceito pela comunidade científica. Segundo o autor, no Brasil, observaram-se os investimentos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) em equipamentos para técnicas de crescimento epitaxial de semicondutores, realizados em 1987. Em concomitância da época, em 1992, foram divulgadas teses na área da N&N pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Isso indica que pesquisadores individuais ou grupos de pesquisadores já produziam as pesquisas da área da N&N no Brasil antes de 2001.

Compete ressaltar que, no Brasil, o principal órgão governamental responsável pelo desenvolvimento da N&N é o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), no qual são definidas as políticas e programas de pesquisas. Os desenvolvimentos em N&N são de responsabilidade da Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento (SEPED), cujo Comitê Assessor de Nanotecnologia é formado por pesquisadores de renome internacional. Possui também um Comitê Executivo de Política de Desenvolvimento Produtivo, composto por representantes do governo que trabalham com a Nanotecnologia (Martins, 2010).

Em julho de 2008, tem-se a noção mais recente de organização das

atividades em Ciência e Tecnologia (C&T) no Brasil, por meio do documento Programa dos Institutos Nacionais de CT. A elaboração do Plano Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação foi baseada: num conjunto de grupos de pesquisa em todas as áreas do conhecimento, difundidos em todo o território nacional; institutos compostos por grupos de maior experiência e competição científica, a maioria em universidades públicas federais e estaduais; e institutos de pesquisa científica e tecnológica não universitários, ligados ao governo ou de natureza privada (Martins, 2010).

Por meio de uma análise crítica, com base no MCTI, CNPq e eventos não retratados em fontes oficiais, ou seja, com base na história “não contada” da Nanotecnologia, foi possível observar quatro redes oficiais de pesquisa na área que se tornaram as quatro redes aprovadas no Edital CNPq 1/2001. São elas: — Rede de Nanobiotecnologia; — Rede de Nanodispositivos, Semicondutores e Materiais Nanoestruturados (NanoSemiMat); — Rede Nacional de Materiais Nanoestruturados; — Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interface (Renami). Mediante essas redes de pesquisa, o Estado brasileiro almejava: — iniciar um processo de criação e consolidação de competências nacionais; — identificar grupos ou instituições de pesquisa que desenvolvem ou podem estar voltadas para a geração de projetos relacionados à área de N&N; e estimular as articulações desses grupos e instituições com empresas potencialmente interessadas ou atuantes no setor, bem como o intercâmbio com centros de reconhecida competência no país e no exterior (Martins, 2010).

Um aspecto ressaltante enfatizado por Martins (2010) diz respeito a não incorporação das Ciências Humanas à natureza multidisciplinar atribuída à N&N, pois sempre foi entendida e praticada como uma exclusão da área de humanidades. Parte da referida história “não contada” da Nanotecnologia trata de aspectos muitas vezes ignorados da história para materializar a disputa existente entre as áreas do conhecimento das exatas, biológicas e humanas, a respeito do que é o desenvolvimento da Nanotecnologia no Brasil e quem são seus protagonistas.

Ao considerar a N&N como área de fronteira multidisciplinar e seus potenciais impactos sociais, econômicos, éticos e ambientais, consolidou-se um segmento que corresponde ao desenvolvimento da Nanotecnologia no Brasil. A Rede Independente de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (RENANOSOMA) foi elaborada por Dr. Paulo Roberto Martins e é composta por profissionais de diversas áreas do conhecimento interessados em ponderar outros

aspectos da nanotecnologia, além dos genuinamente tecnocientíficos, como suas dimensões econômica, política, social, ambiental e ética (Martins, 2010).

Dentre os projetos aprovados no Edital MCT/CNPq n.º 12/2006 — Seleção Pública de Projetos para Apoio a Projetos está o Envolvimento Público em Nanotecnologia, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). A proposta desse projeto consiste em informar e discutir Nanotecnologia com o público não especializado sendo dividida em três categorias: — divulgação científica via internet; — produção audiovisual; — e atividades presenciais. O debate político é necessário para que mais pessoas tenham acesso ao assunto com compreensão abrangente do problema, com os avanços da Química, Física, Engenharia, Medicina, potenciais benefícios e riscos ao ambiente e demais implicações éticas, econômicas e sociais (Martins, 2010).

O trabalho de Alfonso (2011) mostra a situação, na época, da divulgação e do treinamento em N&N no Brasil. Os diversos laboratórios relacionados a Ciência e Tecnologia no campo nano, impulsionados, também, por redes de colaboração, apresentam um conjunto de atividades com caráter interdisciplinar da N&N. É importante frisar que as principais atividades de divulgação dos resultados de pesquisas nacionais em N&N são eventos locais, regionais, nacionais e internacionais. Houve, nesse período, uma abundância de eventos em áreas como Física, Química, Biologia e Ciências dos Materiais, onde os resultados mais relevantes em N&N foram apresentados.

No âmbito educacional, foram analisadas as produções nos três níveis de ensino. Não houve registro de abordagem sistemática de temas de N&N na educação fundamental. Entretanto, no Ensino Médio, há produção bibliográfica que discute as potencialidades da introdução da N&N no ensino. Já na educação superior os temas de N&N são trabalhos nos muitos cursos de Física, Química e Biologia, porém, apenas três cursos mencionam explicitamente os termos Nanociência ou Nanotecnologia (Alfonso, 2011).

De maneira geral, os dados permitem concluir que o Brasil vem produzindo resultados científicos e material de divulgação considerável de pesquisa e inovação recentes como a Nanociência e a Nanotecnologia. Há contribuições de várias regiões do país, sobretudo da região sudeste, sendo que parte das atividades ocorre, em cooperação com outros países. Vale ressaltar a *NanoAventura*, exposição elaborada especialmente aos jovens estudantes e ganhadora de prêmio internacional

(Alfonso, 2011). A exposição *NanoAventura* está apresentada pelo artigo de Murriello, Contier e Knobel (2006), na seção de divulgação da N&N no Ensino de Ciências.

A pesquisa de Marcone (2015) aborda os aspectos gerais, aplicações e perspectivas da N&N no contexto do Brasil. O trabalho mostrou um breve histórico a partir do surgimento da N&N, seus principais tipos de matérias e suas aplicações e, conjuntamente, considerar aspectos científicos, econômicos e revelar questões relacionadas às potencialidades desta tecnologia no contexto global e do Brasil.

Uma análise da história da produção mundial da N&N indica um crescimento exponencial do número de trabalhos entre 1991 e 2015. Em 1991, foi publicado o primeiro estudo acerca dos nanotubos de carbono. Entre 2000 e 2015, a produção científica ultrapassou 113 mil trabalhos na área, ligados a Ciências dos Materiais, incluindo Química, Física e Eletroquímica, além das revistas específicas da Nanotecnologia e nas Ciências Aplicadas. A pesquisa em N&N do Brasil iniciou em 2000 a partir da implantação de quatro redes denominadas Nanobiotec, Nanomat, Renami e Nanosemimat, fomentadas pelo Ministério da Ciência e Tecnologia — Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (MCT-CNPq) (Marcone, 2015).

Os principais setores industriais do mercado mundial de Nanotecnologia são os setores químicos, de semicondutores, eletrônicos, automotivos, embalagens, energia, defesa e aeronáutica, farmacêuticos e de proteção ambiental. No Brasil, são 150 empresas que desenvolvem nanotecnologias distribuídas em setores da indústria química, petroquímica e na saúde. Dentre os produtos fabricados no Brasil que envolve a Nanotecnologia, destacam-se: prótese arterial, secador de cabelo, língua eletrônica, grafite, sistema de liberação controlada de gás, revestimentos, nanocosméticos e nanocompósitos de polipropileno e polietileno. As áreas de aplicação da N&N apontadas como as mais promissoras para o Brasil são as de produção de nanomateriais, nanoeletrônica, nanofotônica, nanobiotecnologia, nanoenergia e nanoambiente (Marcone, 2015).

Com a análise dos aspectos de produção, de mercado e de iniciativas tomadas para o desenvolvimento da N&N no país, é possível observar a necessidade de investimentos em estrutura de universidades, centros de pesquisas e empresas, para que o Brasil se torne participante ativo no mercado e na economia mundial. Entretanto, o Brasil se encontra avançado quanto a resultados em pesquisas, número de patentes, artigos publicados e produtos comercializados. O que falta é manter uma

relação entre o setor acadêmico e o produtivo para permitir a transferência de tecnologia. A incorporação da N&N como parte do crescimento estratégico das áreas econômica e social, poderá reduzir a lacuna socioeconômica que há em relação aos países desenvolvidos (Marcone, 2015).

3.1.3 O aspecto Interdisciplinar da N&N

Uma análise das publicações científicas mais relevantes, relacionadas ao ensino de Nanociência e/ou Nanotecnologia, mostrou diversas vertentes de pesquisas que estão além do Ensino de Química, ao envolverem as Ciências da Natureza. Assim sendo, devido à abordagem multidisciplinar relevante, o presente texto faz menção a tais artigos, dissertações, teses e revisões. Mediante a proposta de interdisciplinaridade no Ensino de Química interligado a abordagem N&N, destacam-se Gomes e Câmara (2013), Ferreira (2018) e Berger (2020).

Gomes e Câmara (2013) destaca a relevância dos conceitos de Ligações Químicas como sendo assunto fundamental para a compreensão dos tópicos iniciais de N&N. Dessa forma, os autores propõem uma interdisciplinaridade envolvendo a Nanotecnologia e o estudo das Ligações Químicas para implementar a Alfabetização Científica e Técnica no Ensino de Química, em turmas de segundo e de terceiros anos do Ensino Médio. As atividades foram elaboradas com caráter introdutório à N&N, ligadas aos conceitos de Matemática, de Física e, sobretudo, de Química. Os resultados obtidos por questionário, após a intervenção didática, indicaram avanço na compreensão dos estudantes em relação aos temas estudados.

De acordo com Ferreira (2018), a interdisciplinaridade representa uma interface didática entre as áreas de conhecimento que permite a união de teorias e conceitos distintos com a finalidade de se alcançar um ambiente contextualizado para estudantes. Desse modo, a abordagem da N&N permitem o estímulo do raciocínio de estudantes frente as aplicações tecnológicas numa dimensão física muito menor, da ordem de algumas dezenas de nanômetros. Ademais, o professor de Química precisa estar atento às inovações que surgem relacionadas à Ciência, à Tecnologia e às Metodologias de Ensino.

Perante o exposto, o objetivo da pesquisa de Ferreira (2018) consistiu em investigar os eixos temáticos relativos à Nanotecnologia e suas afinidades e implicações com a Química no contexto do ensino-aprendizagem. Em outras palavras,

a pesquisa trata da Educação Científica por meio da inserção da Nanotecnologia nas aulas de Química, sua aplicação na sociedade e a análise do desenvolvimento social dos estudantes. A investigação englobou professores e estudantes do Ensino Médio de três escolas públicas. Os dados para análises foram coletados por questionário a fim de identificar o interesse de estudantes por temas científicos, se possuem consciência do desenvolvimento de produtos da tecnologia “nano” e se os professores tratam da Nanotecnologia numa perspectiva interdisciplinar de ensino.

Conforme os resultados, os estudantes apresentaram interesse significativo acerca dos conteúdos científicos e da inovação tecnológica. No entanto, observou-se que, mesmo que os professores exemplifiquem na prática os conhecimentos da área, esses estudantes não associam a Nanotecnologia ao seu cotidiano. Segundo os professores participantes da pesquisa, a interdisciplinaridade é necessária para auxiliar a construção do conhecimento científico e observam que a Nanotecnologia está presente no dia a dia dos estudantes por meio de diversos utensílios como os chips de celulares, medicamentos, produtos de beleza e outros. A investigação revelou que estudantes consomem produtos da tecnologia “nano” sem trazer uma explicação científica, um problema que persiste na sociedade. Foi possível observar a necessidade de aprofundamento por parte dos professores acerca do tema e a contribuição do desenvolvimento social e educacional de estudantes (Ferreira, 2018).

A dissertação de Berger (2020), descreve um trabalho com estudantes do terceiro ano do Ensino Médio que visou contextualizar o Ensino de Química por meio de um projeto denominado “*#Nano Team*” que envolveu o tema Nanotecnologia e ferramentas tecnológicas em associação com matérias do cotidiano. Segundo Berger (2020), mesmo que a multidisciplinaridade da Nanotecnologia seja refletida em seus vastos campos de aplicação, como, por exemplo, nanomedicina, nanoeletrônica e nanotecnologia, pouco conhecimento chega à sala de aula.

Diante do exposto, a proposta promoveu a interdisciplinaridade com a Biologia por meio da interface bioquímica, cujos conhecimentos foram desenvolvidos por meio de Atividade Experimental Problematicada (AEP), na qual ocorreu o preparo de omeletes para contextualizar o conceito de nanopartículas, influência das propriedades nanoscópicas, dimensões das gotículas de ar presentes nas emulsões, modificação de proteínas, interações intermoleculares, ligações químicas, polaridades, textura e sabor dos alimentos, dentre demais conceitos. A

metodologia contou com a ajuda do “*Jigsaw Classroom*” como fator importante no engajamento dos participantes e a AEP apresentou papel fundamental no desenvolvimento do projeto, que possibilitou o Ensino de Química por meio da experimentação e participação ativa de estudantes no processo de ensino, de aprendizagem e o desenvolvimento de sua criticidade científica (Berger, 2020).

Em resumo, a abordagem interdisciplinar da N&N referida nos trabalhos citados teve a finalidade de melhorar a Alfabetização Científica e Técnica no Ensino de Química, a contextualização dos conteúdos, dentre outros objetivos. Há destaque na necessidade de melhor capacitação de professores quanto ao conhecimento do tema e de atividades didáticas específicas para o ensino da N&N.

3.1.4 N&N e o Ensino de Conceitos Químicos

Abordaremos algumas investigações que utilizam o tema N&N para uma contextualização mais específica no ensino de conceitos químicos. Nesse enfoque se destacam as investigações de Santos, Silva e Batinga (2012), Oliveira, Câmara e Apolinário (2014), Moura *et al.* (2018), Chua e Karpudewan (2020) e Borsato (2021).

Santos, Silva e Batinga (2012) analisaram uma sequência didática relacionada ao tema Nanotecnologia para abordagem do conteúdo de coloides, considerando os aspectos conceituais e fenomenológicos. As etapas da pesquisa envolveram a elaboração e discussão da sequência didática, bem como a sua implementação com estudantes do segundo ano do Ensino Médio de uma escola pública de Caruaru-PE. A metodologia foi baseada em resolução de problemas envolvendo questões tecnológicas, sociais e conceituais da Nanotecnologia e a experimentação empregando os coloides. A sequência didática permitiu que os estudantes formulassem hipóteses e selecionassem variáveis relevantes na resolução dos problemas e juntamente, desenvolveram habilidades de observações e práticas em laboratório.

Oliveira, Câmara e Apolinário (2014), ao considerarem a potencialidade científica e social da N&N, decidiram investigar como a temática nanotecnológica pode ser trabalhada no componente curricular de Química, em turmas do Ensino Médio, visando a elaboração de materiais pedagógicos acessíveis pelos próprios estudantes. A metodologia contextualizou a Nanotecnologia e a

estrutura atômica por meio do método cooperativo Jigsaw. O método será retomado, mais adiante, na apresentação da pesquisa de Borsato (2021). Durante a experimentação os estudantes utilizaram Alúmem/Sulfato de Alumínio e Potássio Dodecahidratado ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) para a produção de cristais e desodorante, utilizando técnicas e aplicações da Nanotecnologia de forma concreta e relacionada aos conteúdos já estruturados no currículo de Química. De acordo com Oliveira, Câmara e Apolinário (2014), com o resultado observou-se a formação de cristais octaédricos e um desodorante eficaz e sustentável e, portanto, os estudantes puderam entender o sentido e aplicação da Química e da Nanotecnologia.

O trabalho de Moura *et al.* (2018), também, pode ser citado no campo de formação de professores por se tratar de um estudo cujos participantes são docentes e estudantes de licenciatura. Entretanto, há o enfoque no ensino do conceito químico de superfícies hidrofóbicas para o Ensino Médio. O objetivo principal do trabalho foi apresentar alguns materiais que podem ser utilizados para simular algumas práticas nanotecnológicas destinadas ao Ensino Médio. A grande relevância do ensino de superfícies hidrofóbicas está em seus potenciais nas aplicações industriais, como na produção de camisetas que não ficam sujas, sapatos que não permitem a passagem de líquidos, vidros de carros e até mesmo na medicina. Diante disto, considera-se que a Nanotecnologia está presente no cotidiano da população, sendo indispensável sua inserção no Ensino de Química.

Os experimentos representativos simularam práticas nanotecnológicas, utilizando materiais como tinta, desodorante, raspa de vela, fuligem e folhas de flor de lótus. Após a amostragem dos experimentos, foi possível observar que os materiais realmente simulam superfícies hidrofóbicas, sendo considerados de fácil acesso, tornando os experimentos como ferramentas auxiliaadoras para professores no Ensino de Química (Moura *et al.*, 2018).

O próximo estudo relata a eficácia das atividades de Nanociência para melhorar a compreensão dos estudantes do Ensino Médio em relação aos conceitos químicos como: estrutura atômica e ácido/base. Um experimento foi empregado na região norte da Malásia e a compreensão dos estudantes, com relação aos conceitos químicos, foi testada pelo método CAT- *Chemistry Achievement Test*, composto por questões de múltipla escolha e questões abertas. Esse estudo sugere a integração da Nanociência ao ensino contemporâneo de química como um ensino relevante e apropriado (Chua; Karpudewan, 2020).

Segundo as considerações de Chua e Karpudewan (2020), a abordagem de Nanociências no ensino pode ser entendida como um meio alternativo de ensino e de aprendizagem para as aulas de Química, além de potencializar as competências laboratoriais e orientar estudantes na realização das tarefas e auxiliar na compreensão dos conceitos químicos. A eficácia das atividades de Nanociências foi avaliada com base nas mudanças na compreensão dos conceitos químicos e os resultados do presente estudo reforçam a ideia de que estudantes podem ser beneficiados por meio de aprendizagem centrada no aprendiz.

Conforme Borsato (2021), a literatura traz diferentes metodologias de ensino para despertar, em estudantes, a curiosidade, a motivação e o pensamento crítico. Em sua dissertação de mestrado, o autor destaca e avalia o método cooperativo Jigsaw como uma alternativa para as aulas de Química para abordar a N&N e contextualizar o ensino de coloides em uma turma de terceiro ano do Ensino Médio. Com base em Fatareli *et al.* (2010), o método cooperativo Jigsaw envolve a participação de grupos de estudantes e o professor, no qual cada integrante desenvolve um determinado papel (redator, mediador, relator e porta-voz).

Desse modo, Borsato (2021) contextualizou o ensino de coloides por meio do uso da Nanotecnologia que cujo método foi, posteriormente, avaliado pelos estudantes. O ensino ocorreu remotamente devido à pandemia de COVID-19. A análise dos resultados permitiu a conclusão de que estes estudantes aprovaram o método de ensino desenvolvido e apresentaram maior compreensão do tema em comparação ao método tradicional.

Com enfoque nos conteúdos químicos abordados nas pesquisas descritas acima, conforme as descrições dos procedimentos metodológicos de cada trabalho, notamos, então, a ênfase nos conceitos de coloides (estudo das soluções), estrutura atômica, ácidos e bases e formação de cristais, todos contextualizados com os conhecimentos da N&N.

Ainda dentre as publicações que relacionam o Ensino de Química e a N&N, observou-se um trabalho de revisão literária de Silva *et al.* (2021) cujo objetivo destinou-se em analisar as abordagens teórico-metodológicas presentes nas publicações que abordam a Nanotecnologia no Ensino de Química dos anais do Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ), nos anos de 2008 a 2016.

A pesquisa dispôs de um levantamento inicial referente às metodologias utilizadas na contextualização da N&N no ensino e os resultados

revelaram que faltam trabalhos com metodologias pautadas na educação CTS relacionados à temática de N&N. Ademais, constatou-se a existência de diversas lacunas na área de Nanotecnologia e Educação, apesar de se notar o sucesso descrito nas abordagens do tema no Ensino Médio, por meio de trabalhos que relatam ser possível desenvolver o assunto em sala de aula (Silva *et al.*, 2021). De acordo com Silva *et al.* (2021), as pesquisas podem servir de base aos professores do Ensino Médio para elaborar seus planos de aulas, organizar experimentos acessíveis, mesmo não havendo tais contextualizações presentes nos livros didáticos.

Como observado nesse estudo das publicações científicas referentes ao tema de N&N e o Ensino de Conceitos Químicos, até o momento dessa busca, não foram encontrados trabalhos que relacionam a Nanotecnologia com o ensino do conceito de Substância Química, como proposto nesta pesquisa.

O próximo capítulo apresenta os pressupostos teóricos gerais para a elaboração da Composição Textual. São fundamentos da História, Filosofia, Ciência, Tecnologia e Sociedade articulados ao Ensino de Química e à Formação Docente que devem nortear a elaboração da CT e sua compreensão.

4 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS GERAIS: elaboração da Composição Textual HFCTS destinada à Formação Docente

O presente capítulo apresenta os pressupostos teóricos gerais da pesquisa. Entendemos que esses referenciais são, minimamente, necessários para a compreensão da elaboração e organização da proposta final, direcionada à formação docente — “Da Substância à Nanotecnologia”: uma composição textual na perspectiva da HFCTS para Evolução do Perfil Conceitual de Substância Química” — apresentada em um capítulo à parte. Todavia, cabe ressaltar que docentes em formação poderão precisar se aprofundar mais em alguns aspectos da HFCTS, segundo suas necessidades peculiares. Portanto, esse texto, também, pode servir como um direcionamento base para novas pesquisas e demais estudos.

Inicialmente, os referenciais teóricos gerais compreendem alguns aspectos mais amplos e relevantes da HFC, numa proposta norteadora da abordagem HFCTS, expondo alguns compromissos epistemológicos relevantes à Composição Textual proposta. Ainda, conhecido o direcionamento dessa pesquisa, destinada à Formação Docente, cabe um breve enfoque da História e Filosofia da Química voltadas para a Formação de Professores. Também, se faz relevante uma breve apresentação de noções de ontologia para a construção de significados dos conceitos científicos. Na sequência, o capítulo traz uma visão de vertentes da Nanotecnologia e Nanociência como mediadoras da abordagem CTS e implicações na formação docente.

4.1 HFC COMO NORTEADORAS DA ABORDAGEM HFCTS

Essa seção está organizada a partir de alguns pressupostos da História e Filosofia da Ciência em contribuições ao Ensino de Ciência e de Química. Foi elencado alguns compromissos epistemológicos necessários a construção do conhecimento e algumas interdependências entre a História e Filosofia da Ciência e a Ciência, Tecnologia e Sociedade, voltadas ao ensino.

4.1.1 Pressupostos da HFC para o Ensino

A História da Ciência se apresenta cada dia mais como uma visão

humanística da Ciência. Vivemos na época da arte da Ciência e da Tecnologia na qual a especialização é, de certa forma, inevitável. Por outro lado, a visão mais ampla do conhecimento científico é cada vez mais necessária (Maar, 2019). Talvez, a maneira mais abrangente de pensar o papel da História da Ciência e sua visão pluralista no ensino é discutir o significado de saber ciência.

Questionar o que significa saber uma Ciência implica em ênfases curriculares nos seguintes aspectos: *formal* (domínio dos aspectos formais de uma ciência); *epistemológica-conceitual* (compreensão dos fundamentos conceituais de uma ciência e de sua natureza); *filosófica-cultural* (características das ciências e suas relações com outras manifestações culturais); *habilidades científicas* (dominar habilidades típicas da prática científica como formulação de hipóteses, capacidade de investigação, interpretação de dados científicos); *cotidiano* (compreensão do cotidiano como um objeto em si); *CTS/A* (refletir as relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente, transformando esse saber em práticas políticas e cidadania ativa) e *identitária* (considerar o currículo como um processo de formação de identidades) (Gurgel, 2020).

Na literatura, observamos diversos autores como Matthews (1992b, 1995, 2000), Driver *et al.* (1994), Monk e Osborne (1997), Hodson (1986), McComas, Almazroa e Clough, (1998), dentre vários outros pesquisadores que defendem a importância da HFC para a educação científica. Com a crise contemporânea do Ensino de Ciências, uma maior atenção recaiu sobre as abordagens contextuais no ensino, com uma série de documentos internacionais (NCC, 1988; AAAS, 1990, 1993; NRC, 1996) e nacional (MEC, 2000) de reformas curriculares apresentando destaques à compreensão da natureza da ciência como um componente central da Alfabetização Científica. Segundo El-Hani (2006), esses documentos buscaram afastar dos currículos o que Schwab (1964 *apud* El-Hani, 2006) denomina de “retórica de conclusões”, cujas abordagens de ensino estão limitadas a apresentação de produtos da pesquisa científica, desconsiderando os processos de construção do conhecimento científico e suas dimensões históricas, filosóficas, sociais e culturais da Ciência.

Em se tratando do Brasil, os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio, referentes às Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, cita, dentre as habilidades e competências almejadas ao educando, a seguinte: “compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolvem por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando

o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade” (MEC, 2000, parte I, p.95). Ou seja, a HFC é necessária ao Ensino de Ciências para tais objetivos serem alcançados. Em outras orientações, o texto destaca a História da Química: “A História da Química, como parte do conhecimento socialmente produzido, deve permear todo o Ensino de Química, possibilitando ao aluno a compreensão do processo de elaboração desse conhecimento, com seus avanços, erros e conflitos” (MEC, 2000, parte III, p.31).

Quanto à nova Base Nacional Comum Curricular, algumas reflexões são apresentadas por Franco e Munford (2018), num olhar direcionado à área de Ciências da Natureza, na terceira versão da BNCC (2017). Segundo os pesquisadores, essa versão atual se baseia em aspectos conceituais e não favorece a articulação entre demais domínios do conhecimento científico, como, por exemplo, a contextualização social e histórica, as práticas investigativas e a linguagem das ciências, refletindo uma visão de ensino não coerente com as atuais discussões de Educação em Ciências. No segundo eixo, que aborda as relações entre os conteúdos conceituais e o desenvolvimento histórico da Ciência e da Tecnologia, Franco e Munford (2018), consideram a carência de formas de aprofundar um apoio histórico suficiente ao desenvolver os conteúdos.

Para Matthews (1994), um Ensino de Ciências que prima apenas por assunto técnico, desprovido de suas dimensões históricas, filosóficas e culturais, não conseguirá obter resultados positivos na educação. Seus estudantes não conseguirão apreciar a Ciência, sua história, suas inter-relações com as demais visões de mundo, sua filosofia e metafísica, sua epistemologia e metodologia, sendo menos capazes de frutificar na sociedade. Chassot (2014), reafirma sua crença no quanto a História da Ciência, e mais amplamente, a história da construção do conhecimento humano, pode facilitar a educação e a Alfabetização Científica.

Segundo Batista (2007), algumas questões podem nortear o campo investigativo da Educação Científica e Matemática:

qual é o papel que escolheremos para a HFC em nosso desenvolvimento de ideias?; qual é o público-alvo de nossa ação educativa e formativa?; como desenvolver (quais os processos) uma abordagem com essas características que tinha nossos objetivos de ensino e/ou de aprendizagem de uma cultura científica? (Batista, 2007, p. 263).

Portanto, a formação de docentes com a HFC nessa perspectiva

permitirá que professores compreendam ser os seus próprios investigadores da prática pedagógica e que, portanto, a inserção de enfoque histórico-filosófico de materiais didáticos precisa ser adaptado e transformado pedagogicamente para um bom desenvolvimento em sala de aula (Batista, 2007).

Dentre os exemplares de aplicações de resultados de pesquisa nesse contexto podemos citar “O Ensino de Teorias Científicas mediante uma Estrutura Histórico Filosófica” cujas estruturas foram utilizadas em “Disciplina de Evolução de Conceitos e Teorias nas Ciências”, “Propostas pedagógicas com enfoques históricos e históricos-filosóficos” e Cursos de formação em serviço e de atualização (Batista, 2007, p.266).

Outro aspecto que cabe ser comentado é a interdisciplinaridade que a implementação da HFC pode proporcionar, também, no desenvolvimento de saberes docentes. Nesse contexto, Batista (2016) afirma que um saber interdisciplinar metodológico e epistemológico fundamenta a capacidade de relacionar diferentes domínios de conhecimento científico, além de permitir que docentes identifiquem e reconheçam esses conhecimentos de múltiplas áreas envolvidas como as Ciências da Natureza, Humanas e Sociais. Ressaltamos, a seguir, a importância da História da Química para o Ensino de Química.

4.1.1.1 História da Química

A História da Química é concebida como parte da História da Ciência, que por sua vez, é parte integrante da história cultural da humanidade (Maar, 2019). A História da Química e a história do desenvolvimento da humanidade estão intrinsecamente ligadas. Em qualquer momento histórico para o qual olhamos, lá se encontra presente a Química, possibilitando avanços nos processos produtivos, na medicina, na qualidade de vida e outros benefícios à sociedade (Gradin, 2009). Nas palavras de Greenberg (2009), a História da Química provém de raízes práticas, médicas e místicas, traçando caminhos interessantes, rumo à Ciência Moderna:

A química tem a história mais interessante entre todas as ciências. Suas origens são tanto místicas como práticas. Qual é a origem da matéria? Ela surgiu do “nada”, ou de partículas subatômicas, ou de alguma matéria primitiva fundamental (Prima Materia)? O que dizer da estrutura subjacente à matéria? Ela é infinitamente divisível? Sua divisão atinge limites fundamentais? Ainda hoje, pode-se perguntar se um único átomo de ouro é realmente ouro. Quantos átomos de ouro são necessários para fazer um

agregado submicroscópico que conduza eletricidade e que tenha brilho? “Átomos” de ácido têm pontas afiadas? “Corpúsculos” de água são lisos e escorregadios? A matéria evolui? O que é o Elixir da Vida? E a Fonte da Juventude? Combatemos um veneno (e a doença) com um veneno mais forte, ou tentamos neutralizá-lo? Por um lado, a acidez estomacal pode ser neutralizada com o bicarbonato de sódio, que é alcalino. Por outro lado, doenças venéreas podem ser tratadas com substâncias metálicas tóxicas, da mesma forma como tratamos câncer com medicamentos tóxicos que atacam nosso DNA (Greenberg, 2009, p.10).

Diante disto, observamos que, para professores de Química que desejam desenvolver propostas de ensino que envolvam a construção do conhecimento numa perspectiva não linear e progressista da Ciência, ou seja, que não privilegie no passado apenas as teorias que permaneceram aceitas na atualidade, mas que enfatiza os erros e acertos precursores que favoreceram o fazer científicos, sem dúvida, a abordagem histórica da química se faz mais que necessária (Viana; Luca; Souza, 2022).

Todavia, uma grande questão surge da relação da História da Ciência e o ensino: “qual história das ciências levar para as salas de aula?” (Gurgel, 2020, p. 336). Narrativas anedóticas e/ou anacrônicas podem levar a imprecisões conceituais e a visões estereotipadas da atividade científica. Há quase 50 anos, em 1974, Steven Brush já chamava a atenção para que professores ficassem atentos aos episódios históricos a partir de atualizações da História das Ciências. Atualmente, esse cuidado deve ser redobrado, pois a historiografia se renovou muito após 50 anos (Gurgel, 2020).

Martins (2005), também alerta para os cuidados a serem tomados ao se buscar fontes históricas da Ciência. É preciso considerar que a História da Ciência possui uma metodologia própria, composta de uma visão internalista (uma abordagem conceitual) e uma visão externalista (fatores extra científicos). Os períodos históricos mais recentes exigem mais pré-requisitos científicos, enquanto os períodos mais antigos demandam muitos pré-requisitos filosóficos. Há de se ter especial cuidado para textos históricos que apresentam a ideia de “gênios” ou “pai da ciência”, subestimando os demais cientistas que contribuíram com a História da Ciência, passando ao leitor uma visão distorcida do pensamento científico.

Wray (2019) defende que, apesar de muitos historiadores falharem em perceber, há boas razões para pensar que a História da Química influenciou profundamente o pensamento de Kuhn, especialmente pela obra “A Estrutura das Revoluções Científicas” (1962). Segundo Wray (2019), muitos historiadores e

sociólogos da ciência que discutiram a evolução das ideias de Kuhn se concentraram em explicações em termos de fatores externos, no meio cultural ou experiências idiossincráticas do desenvolvimento pessoal de Kuhn, atribuídos por vários historiadores (Steve Fuller, George Reisch, etc.), como uma consequência da influência da Guerra Fria, da psicologia e da erudição da arte no pensamento de Kuhn.

Entretanto, esses historiadores, de certo modo, obscureceram que Kuhn leu extensivamente a História da Ciência, inclusive a História da Química. É possível pensar que Kuhn também contribuiu para que essa influência da História da Química em suas ideias fosse ofuscada, ao menos por três maneiras: primeiramente, o próprio livro de Kuhn contribuiu para que os cursos de Educação Geral de Harvard dessem ênfase ao seu estudo de Revolução Copernicana em astronomia, ofuscando a influência da História da Química em seu pensamento; segundo, o relato de Kuhn acerca de que a epifania de Aristóteles teria enganado muitas pessoas, história essa recontada várias vezes por Kuhn; terceiro, após influências de críticas a sua obra Kuhn parou de discutir e se basear nos exemplos da História da Química (Wray, 2019).

Mas vale lembrar, também, que as primeiras publicações de Kuhn na História da Ciência foram relacionadas à História da Química (ver Kuhn 1951, 1952). Quanto a Aristóteles, ao final da década de 1970, Kuhn percebe alguns rudimentos conectados de uma maneira alternativa de fazer a leitura dos textos de Aristóteles e, finalmente, em 1980, Kuhn diz ficar surpreso por, de repente, ver em Aristóteles um físico admirável, mas muito diferente do que ele antes imaginou haver. A partir de então, Kuhn considerou precisar escrever “A Estrutura das Revoluções Científicas” a partir da experiência de Aristóteles (Wray, 2019). Ressaltamos, a seguir, a importância da Filosofia da Química para o Ensino de Química.

4.1.1.2 Filosofia da Química

De acordo com Kavalek *et al.*, (2015) a Química e Filosofia tiveram pouco diálogo durante o século XX, resultado em diversos problemas de consenso e comunicação entre vários discursos do currículo na formação em Química, destacado por autores como Mortimer (1995), Romanelli (1996), Machado e Moura (1995) e Echeverría (1996). Dentre os problemas:

Observam-se, inclusive, inúmeros equívocos em relação à explicação dos

conceitos, principalmente aqueles relacionados com o nível submicroscópico da matéria, em que lhes são conferidas características macroscópicas, como: ‘átomos de ferro ter brilho ou serem duros’; ‘átomos de líquidos serem maleáveis’; ‘átomos que se fundem ou evaporam’; ‘elétrons que caminham’; a crença de que ‘entre partículas de um gás tem ar’; concepção de que a ‘camada eletrônica serve para cobrir o átomo’; a ‘reação de neutralização é entendida como atingir uma solução neutra’ e outras imprecisões (Kavalek *et al.*, 2015, p. 2).

Nesse contexto, fica evidente que as discussões filosóficas são necessárias à compreensão dos níveis de linguagem e discursos científicos, da natureza da explicação e importância dos modelos e clarificação de conceitos, ao passo que fornece subsídios teóricos para tornar-se um Ensino de Química significativo e real (Kavalek *et al.*, 2015).

A Filosofia da Química, que até antes da virada do século XX estava em vanguarda, teve seu início na década de 1990, como um novo ramo da Filosofia da Ciência (Scerri; McIntyre, 1997; Bhushan; Rosenfeld, 2000; Van Brakel, 2000; Scerri, 1997, 2001). Observa-se que a Filosofia da Química surgiu depois de um longo atraso, porém muitos recursos já foram produzidos e estão à disposição dos educadores químicos. Ao invés de sempre recorrer apenas à Filosofia da Ciência, que com frequência extrai exemplos da Física e da Biologia, o educador químico, agora, poderá apreciar a filosofia da sua própria ciência, renovando um profundo exame de questões-chave de conceitos de química diretamente ligados ao conteúdo químico puro (Scerri, 1997; 2001).

Lemes e Porto (2013a) alegam que tanto os pesquisadores educadores de Química, quanto os autores da Filosofia da Química reconhecem a necessidade da inclusão de questões controversas da Química no ensino. Para que isso seja viável, o ensino de todos os níveis, inclusive a Formação de Professores, precisa ser reestruturado, para que posamos diminuir a distância entre a química escolar e a química praticada pelos químicos. As discussões filosóficas precisam ser abordadas principalmente no ensino superior de Química, não como uma simples metodologia, mas como um meio de fundamentar, avaliar, e explicar as particularidades da Química.

Outro aspecto importante a ser destacado, é a distinção entre o “fazer” e o “ensinar” química, por exigirem aportes filosóficos diferentes. É possível ser realista para “fazer química” e acreditar na correspondência da representação/modelo com o objeto real, sem que essa visão traga prejuízo para os objetivos pretendidos.

Em contrapartida, “ensinar química” admite-se a necessidade de maior reflexão dos diferentes posicionamentos filosóficos, das controvérsias referente ao tema, prós e contras de cada vertente ensinada. Há um grande risco de que a imposição da perspectiva realista ao estudante de Ensino Médio, por exemplo, pode afastá-lo da química, por não conseguir compreender a correspondência entre teoria, modelo, representação e evidência experimental (Lemes; Porto, 2013b).

Surge, então, a necessidade de articular Química à Filosofia, introduzindo debates acerca de modelo, lei, teoria e representação, método científico, observação na ciência, aspectos filosóficos da História da Química, dentre outras atividades, para humanizar a Ciência e a aproximá-la dos interesses sociais. Nesse sentido, acreditamos que a Filosofia da Química é potencialmente capaz de fornecer subsídios teóricos para o Ensino de Química (Lemes; Porto, 2013a).

4.1.1.3 Aspectos da HFC na Formação Docente

Aquilo que se ensina, ou que se planeja ensinar, está vinculado à própria concepção de história do que é ensinado. Segundo Matthews (1995), diversos currículos têm buscado enriquecer o ensino em sala de aula, todavia esse sucesso depende da introdução de cursos de História e Filosofia da Ciência apropriados à formação inicial e continuada de professores. Considerando a Ciência como uma das maiores conquistas da cultura humana e usando as palavras do relatório de 1918 da Associação Britânica para o Progresso da Ciência, Matthews (1995) afirma que o Ensino de Ciências deveria comunicar mais a respeito do espírito e mesmo do vale dos ossos secos dessa conquista. Isso poderia iniciar uma superação da crise intelectual e social do Ensino de Ciências.

O relatório britânico de Thompson de 1918 cita que algum conhecimento de HFC deve compor o repertório intelectual de todo professor de Ciências. Um professor que tenha conhecimento crítico, histórico-filosófico, de sua área de conhecimento, mesmo que esse conhecimento não seja diretamente utilizado em pedagogia, poderá promover um ensino mais coerente, crítico e humano. Haverá muito mais nesse professor do que se pode ver em sala de aula (Matthews, 1995).

Não é possível imaginar ou compreender um bom professor de ciências que não tenha o conhecimento razoável e sólido das terminologias como “causa”, “lei”, “explicação”, “modelos”, “teoria”, “fato”, ou mesmo nenhum

conhecimento dos objetivos até conflitantes, ou da dimensão cultural histórica da área em questão. Ser instruído em Ciências difere de ser treinado em Ciências: professores de Ciências precisam de instrução, de modo que a HFC poderá, claramente, contribuir para maior compreensão da Ciência (Matthews, 1995; Batista, 2004). Nesse mesmo ponto de vista, podemos citar autores e autoras de pesquisas mais recentes da área como, por exemplo: Lôbo (2008), Ortiz, (2014), Kavalek *et al.* (2015) e Cardoso, (2021) e demais. Lembrando que Ortiz (2014) e Cardoso (2021), integram o grupo de pesquisa “Investigações em Filosofia e História da Ciência, e Educação em Ciências e Matemática” (IFHIECEM), UEL.

Nos conceitos de Shulman (1986), o professor deve ser apto a explicar por que uma determinada proposição é considerada definitiva, precisa conhecer alguma coisa a respeito da forma de como uma evidência se relaciona com a estimativa teórica, tarefa comum da epistemologia. Matthews, (1995), considera que o estudo dos métodos científicos nos permite pensar criticamente acerca das afirmações empíricas, a explicação, o julgamento de valores de cientistas e o desenvolvimento de testes.

Segundo Ennis (1979 *apud* Matthews, 1995), existem ao menos seis áreas de preocupação para professores de Ciências que podem ser favorecidas pela Filosofia: o método científico, critérios para se pensar criticamente as afirmações empíricas, a estrutura das disciplinas científicas, a explicação e julgamento de valores pelos cientistas, e o desenvolvimento de testes. Porém, Matthews, (1995) alertou que após dez anos, foi necessário rever esta lista e incluir tópicos como: o feminismo, o construtivismo, as questões éticas, as questões metafísicas, a idealização como *sine qua non* e racionalidade.

Matthews (1995) explica que a contestada racionalidade da mudança da teoria científica (ou da História da Ciência) une a HFC ao Ensino de Ciências. Vale ressaltar que os racionalistas foram perturbados pela explosão provocada pela “Estrutura de Kuhn”, de 1962, cuja teoria defende que as transformações científicas dependem mais da psicologia popular e da mortalidade dos mais velhos do que da persuasão racional. Segundo Siegel (1989), a racionalidade e a apresentação de razões podem legitimar o Ensino de Ciências contra os dogmatistas, de um lado, e os irracionais feyerabendianos, do outro.

Quintal e Guerra (2009) enfatizam que a produção e a inserção da HC em sala de aula pode ser um processo complexo, ao exigir do professor

conhecimentos de história geral, de física, de filosofia, de sociologia, como também de ciência e tecnologia. Portanto, os autores concordam ser necessária uma formação docente mais abrangente do que a oferecida durante a licenciatura, a fim de possibilitar que professores sejam capacitados para construir práticas educacionais dentro dessa perspectiva.

Os estudos de Santos e Lima (2010), a respeito da História da Química no nível superior, mostram que os textos históricos utilizados nos cursos de formação profissional ou acadêmica, são trabalhados de modo superficial e esporadicamente. A ênfase dos cursos de química gira em torno da evolução a partir de Lavoisier e Danton, quando a Química passou a ter posição de ciência independente, organizada em torno de princípios e teorias. Todavia, a história nos revela que houve uma preparação formal teórica e prática do químico desde muito antes, vinculadas à Quimiatria, Iatroquímica, ou até mesmo à Alquimia, até chegar, mais tarde, como a química aplicada às atividades tecnológicas.

Quanto a Filosofia da Química, Scerri (2001) afirma que os educadores químicos, além de serem beneficiados com todo o conhecimento acumulado em Filosofia da Ciência, precisam ser introduzidos à Natureza da Química, entender as peculiaridades da Química, que por sua vez, necessita dar explicações mais específicas para uma grande diversidade de reações e tipos de substâncias. Nesse contexto, o campo da Filosofia da Química é de grande relevância para o educador saber acerca das várias dimensões do conhecimento químico.

Para a proposta de composição textual (esclarecida no item do esquema geral, 5.3), com aspectos voltados ao conceito de substância química, iremos nos fundamentar na epistemologia do filósofo da Ciência e Químico por formação, Gaston Bachelard. Acreditamos que sua epistemologia se configura a principal base para a organização da proposta HFCTS no Ensino de Química, com destaques para o realismo ingênuo, o racionalismo dialético, o substancialismo, noções dos obstáculos e dos perfis epistemológicos, que concebem diversas influências para o Ensino de Química. Sendo assim, anteriormente ao texto da epistemologia de Bachelard, no intuito de buscar melhor compreensão dos aspectos epistemológicos que servirão de fundamento da Composição Textual da HFCTS, é importante que se faça algumas conjecturas epistemológicas de doutrinas filosóficas referentes à natureza do conhecimento científico, como o empirismo, o racionalismo, o realismo e algumas doutrinas antirrealistas.

4.1.1.4 Alguns Fundamentos Epistemológicos

A epistemologia é um campo da Filosofia interessado na investigação da natureza, origens e validade do conhecimento; assim, é também designada de teoria do conhecimento (Grayling, 2002). Os estudos buscam compreender essencialmente dois grandes problemas: quais são as fontes do conhecimento, seus fundamentos e como o adquirimos, e qual a sua extensão, ou seja, quais as coisas que podem ser conhecidas e quais as que não podem (Chibeni, 1993). Essas antigas questões foram abordadas explicitamente por Platão (427 – 347 a.C.), em *Theaetetus*. Entretanto, a partir do século XVII, por meio dos resultados do trabalho de Descartes (1596 – 1650) e Locke (1632 – 1704), e o “nascimento” da ciência moderna, a epistemologia ocupa uma posição de destaque central na filosofia (Grayling, 2002)

Apesar desses dois problemas epistemológicos terem sido tratados juntos ao longo da História da Filosofia, por haver conexão entre eles, é útil a distinção para fins didáticos. Referente ao problema das origens e fundamentação do conhecimento, as doutrinas epistemológicas podem ser classificadas em dois grupos principais; o empirismo e o racionalismo, essencialmente duas posições antagônicas (Chibeni, 1993).

Empirismo: o conhecimento advém da experiência (método experimental-indutivo). O empirismo encontrou raízes na Grécia Antiga, entre os filósofos da tradição jônica, cujo principal representante foi Protágoras (Chibeni, 1993). A partir de Francis Bacon (1561 – 1626) e posteriormente Hobbes (1588 – 1679), Hume (1711 – 1776) e Locke (1632 – 1704), os empiristas atribuem a justificação do conhecimento a partir de dados fornecidos pela experiência sensível, sensorial, que permite a internalização do conhecimento do exterior para o interior. Mediante a essa ideia, os empiristas tentam estabelecer um método científico indutivo e rigoroso, com base em dados desta experiência (Mellado; Carracedo, 1993).

Racionalismo: o conhecimento advém da razão (método dedutivo-analítico). Na antiguidade, essa doutrina já era, também, defendida entre os gregos, pelos filósofos da escola eleática (Parmênides), por Platão e atomistas (Leucipo, Demócrito). Na era moderna, os pensadores mais destacados nessa posição filosófica são René Descartes (1596 – 1650), Baruch Spinoza (1632 – 1677) e Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 – 1716), dentre outros. Os racionalistas defendem a primazia da razão na construção do conhecimento humano, ou seja, a própria razão humana tem a tarefa

de formular os princípios de conhecimento e proposições gerais sobre o objeto de conhecimento (Estellés, 2000).

Para o Ensino de Ciências, é possível estabelecer algumas analogias entre empirismo e racionalismo e outras correntes específicas, que levariam a uma pressão seletiva do aprendizado de Ciências. Para os positivistas empiristas o conhecimento é cumulativo e a verdade científica é descoberta pela aplicação de um procedimento objetivo e rigoroso, conhecido como método científico. Essa posição filosófica constitui a base de duas concepções de didática das Ciências: a transmissão de conhecimento, de fatos e teorias consideradas verdadeiras, ao estudante; o ensino por descoberta autônoma, em que o estudante faz observações e induções para “descobrir” as leis da natureza (Mellado; Carracedo, 1993).

No século XX a dicotomia empirismo/racionalismo é superada dentre as correntes absolutistas (racionalistas ou empiristas), originando uma posição construtivista do conhecimento, sendo este uma construção da inteligência que está criando estruturas a partir do conhecimento que já se possui. Entre os autores construtivistas se destacam; Popper (falsificacionismo), considerado um filósofo da transição; Lakatos (metodologia de pesquisa científica); Laudan (tradições de pesquisa); Toulmin (evolucionismo) e Kuhn (revolucionismo), além de outras filosofias relativistas da ciência, como o anarquismo de Feyerabend (Mellado; Carracedo, 1993).

Com base no problema referente aos limites do conhecimento, destaca-se a principal oposição entre a doutrina epistemológica do Realismo e a de doutrinas denominadas genericamente de antirrealistas (Chibeni, 1993). Diante disto, é possível simplificar as duas questões filosóficas, quanto ao conhecimento científico, no Quadro 1.

Quadro 1: Classificação de doutrinas epistemológicas para o conhecimento científico

Doutrinas Epistemológicas	Quanto à Origem do Conhecimento	Quanto à Extensão do Conhecimento
	<i>Empirismo X Racionalismo</i>	<i>Realismo X Antirrealismo</i>

Fonte: A própria autora.

O Realismo e o Idealismo são duas escolas de pensamentos opostos na filosofia denominada metafísica, que disputam um debate antigo. Enquanto o

Realismo afirma que o mundo físico existe independentemente do pensamento e da percepção humana, idealismo nega essa afirmação. Para o idealismo o mundo físico é de algum modo dependente da atividade humana. Essa disputa não está relacionada diretamente com a Ciência (Okasha, 2011).

No século XVIII a figura de Kant (1724 – 1804) se destaca com seu idealismo transcendental que surgiu entre as duas correntes filosóficas. O idealismo de Kant tem em vista chegar a uma superação ou síntese do enfrentamento, estabelecendo que, apesar de todo conhecimento científico tenha sua origem na experiência sensível, esse conhecimento precisa ser enquadrado em estruturas mentais transcendentais prévias para poder ser verdadeiramente conhecido e alcançar o grau de necessidade e universalidade que todo conhecimento científico deve possuir (Mellado; Carracedo, 1993).

Considerando essa síntese de esclarecimento das primeiras doutrinas filosóficas, o interesse, a partir de agora, é abordar uma posição conhecida como Realismo Científico e suas oposições, antirrealismo ou instrumentalismo. Chakravartty (2017), considera dizer que o realismo científico é caracterizado de modos diferentes pelos autores que o discute, se tornando, assim, tema de desafio para quem quer entender o que é realismo. Nas palavras de Chakravartty:

O realismo científico é uma atitude epistêmica positiva em relação ao conteúdo de nossas melhores teorias e modelos, recomendando a crença em aspectos observáveis e não observáveis do mundo descrito pelas ciências. Essa atitude epistêmica tem importantes dimensões metafísicas e semânticas, e esses vários compromissos são contestados por várias epistemologias rivais da ciência, conhecidas coletivamente como formas de antirrealismo científico (Chakravartty, 2017, n.p., tradução nossa).

De modo geral, para o realista científico, a Ciência visa produzir descrições verdadeiras do mundo. Portanto, o realismo científico diz respeito à própria natureza do conhecimento científico. A crença na realidade de algo é sempre defendida pelos realistas (Chakravartty, 2017). É possível ser realista em diversos aspectos:

Assim, alguém pode ser realista sobre suas percepções de mesas e cadeiras (realismo de dados dos sentidos), ou sobre mesas e cadeiras em si (realismo do mundo externo), ou sobre entidades matemáticas como números e conjuntos (realismo matemático), e assim por diante (Chakravartty, 2017, n.p., tradução nossa).

O realismo científico pode ser compreendido por meio de três dimensões: uma dimensão metafísica (ou ontológica); uma dimensão semântica; e uma dimensão epistemológica. Na dimensão metafísica, o realismo está comprometido com a existência independentemente do mundo investigado pelas ciências (Chakravartty, 2017). Há a afirmação de que os objetos em questão “realmente existem” independente de qualquer cognição. É possível ser realista diante de uma classe de objetos e antirrealista com relação a outras (Chibeni, 1993).

Pela dimensão semântica, o foco do realismo é a interpretação literal das afirmações científicas a respeito do mundo. Os realistas aceitam as afirmações teóricas pelo “valor de face”. Epistemologicamente, o realismo defende a ideia de que afirmações teóricas, interpretadas literalmente como descrevendo uma realidade independente da mente, constituem conhecimento do mundo (Chakravartty, 2017).

A dimensão epistemológica do realismo pode ser descrita de modos distintos. Mesmo com as diferentes concepções variáveis dos realistas, é possível destacar uma receita geral para o realismo amplamente compartilhada: “nossas melhores teorias científicas fornecem descrições verdadeiras ou aproximadamente verdadeiras de aspectos observáveis e não observáveis de um mundo independente da mente” (Chakravartty, 2017).

Visto que, num sentido geral, o realismo se estabelece como uma tese do problema epistemológico dos limites do conhecimento, essa tese pode ser contestada, dependendo do tipo de conhecimento em questão, por doutrinas antirrealistas diversas (Chibeni, 1996). Enquanto os realistas sustentam que o objetivo da Ciência é fornecer uma descrição verdadeira do mundo, os antirrealistas apoiam que o objetivo da Ciência é fornecer uma descrição verdadeira apenas da parte “observável” do mundo. Pois, quanto à parte “inobservável” do mundo, não faz diferença se o que a Ciência diz é verdadeiro ou não, creem os antirrealistas (Okasha, 2011).

Entretanto, segundo Pereira e Gurgel (2020), muitas das vezes os antirrealistas referem-se a entidades inobserváveis, sem atribuir a elas qualquer realidade, considerando-as apenas ferramentas heurísticas úteis, configurando uma postura instrumentalista. Consoante Moulines (2020), essa interpretação das teorias busca simplesmente “salvar os fenômenos”, não podendo ser consideradas nem falsas e nem verdadeiras.

Pereira e Gurgel (2020) discorrem que as correntes tipicamente

antirrealistas estão associadas a formas de positivismo, por exemplo, o positivismo e empirismo lógicos. Na concepção de Hacking (2012 *apud* Pereira; Gurgel, 2020) há “seis instintos” positivistas referentes ao estatuto cognitivo e ontológico do conhecimento, sendo eles: — *verificacionismo* (as proposições adquirem sentido se podem ser testadas de verdade ou falsidade); — *pró-observação* (o alicerce do conhecimento, não lógico/matemático, está diretamente ligado ao que é perceptível por meio dos sentidos); — *anticausação* (rejeita a causalidade aspirada pelos realistas, de modo a haver afirmação positiva apenas para a existência e possibilidade de conhecimento de eventos regulares sucessivos); — *antiexplicação* (recusa as especulações explicativas que não se pode observar nos fenômenos); — *antientidades teóricas* (rejeita a existência de entidades abstratas não observáveis e sua casualidade nas regularidades fenomênicas); — *antimetafísica* (resultante da articulação dos cinco instintos anteriores, sem consideração pela metafísica).

Ao falar de Positivismo, cabe lembrar que se trata de uma doutrina filosófica também conhecida como Ceticismo Metafísico, que remota de Auguste Comte (1798 – 1857). A base do ceticismo é a questão do conhecimento como uma relação entre o sujeito e o objeto. Essa problemática que envolve a consciência do conhecedor e o objeto foi originada pelos antigos sofistas, tendo como precursor Pirrón de Elis (360 – 270 a.C.). Posteriormente, David Hume (1711 – 1776) desenvolveu uma versão mais moderna do ceticismo de Pirrón, em que considera não haver possibilidade do contato direto entre objeto e sujeito (Brito; Massoni, 2019).

Para Comte, é preciso se limitar aos dados oferecidos da experiência, evitando qualquer especulação metafísica, de modo que não pode haver conhecimento fora dos dados empíricos. Entretanto, há um ceticismo intermediário e menos rigoroso, na qual se admite que o conhecimento é possível, mas que nunca poderemos afirmar que uma proposição é verdadeira, pois o conhecimento humano é influenciado pelos sentidos e por fatores subjetivos. A partir disso, se chega ao subjetivismo, cujos representantes clássicos eram os sofistas. Todavia, ao admitirmos o subjetivismo do conhecimento humano, oriundo das influências do meio social e cultural, chegaremos ao relativismo, em que todo o conhecimento tem validade limitada ao círculo cultural e temporal ao qual pertencem seus defensores, assim, não há verdade universalmente válida (Brito; Massoni, 2019).

Voltando ao debate realismo/antirrealismo, no Ensino de Ciências, Matthews (1994) defende esse debate central para que estudantes e professores

compreendam a Natureza da Ciência. Segundo Silva (2013), nesse contexto, o professor poderia trazer ao estudante a seguinte questão: “os conceitos científicos são nomes de entidades e processos reais (ou seja, compõem a ontologia de uma teoria) ou são apenas ficções (ou seja, fazem parte apenas dos constructos mentais da teoria)?”. Realistas científicos dizem que podemos inferir a existência das entidades nomeadas pelos conceitos. Por outro lado, os antirrealistas defendem que não podemos afirmar que os conceitos científicos denotam processos independentes das teorias

Um exemplo da relevância desse debate no ensino pode ser encontrado no trabalho de Rozentaliski e Porto (2013). Os autores abordaram uma controvérsia científica contemporânea, discutida pela literatura em Filosofia da Química, referente à existência ou não de orbitais, com o intuito de subsidiar uma discussão mais rica da natureza desse conceito no Ensino de Química.

As discussões revelaram diferentes perspectivas em relação aos orbitais: “são entidades ou estados? Existem ou não existem? São observáveis ou inobserváveis? Qual o valor epistêmico das aproximações envolvendo orbitais?” (Rozentaliski; Porto, 2013, p. 3112). Para os autores, essas são indagações que abrangem o debate Realismo x Antirrealismo Científicos, de modo não consensual.

Como já descrito inicialmente, o texto acima foi organizado para trazer uma breve apresentação de algumas das principais doutrinas filosóficas que influenciaram a Ciência e o seu Ensino, bem como fundamentar o conhecimento filosófico para melhor compreensão da Epistemologia de Bachelard, comentada a seguir.

4.1.1.4.1 Noções da Epistemologia de Bachelard

Gaston Bachelard (1884 – 1962), nasceu em Champagne (França), de origem familiar humilde, sempre trabalhou enquanto estudava. O sonho de ser engenheiro foi interrompido pela eclosão da I Guerra Mundial, que o levou a lecionar Física e Química no curso secundário e, após 15 anos, passou a lecionar Filosofia (Santos; Nagashima, 2015). Bachelard, filósofo da Ciência, químico e poeta, oferece questionamentos diversos acerca dos processos de formação do conhecimento científico. Bachelard expõe críticas ao realismo ingênuo, ao empirismo e ao racionalismo cartesiano presentes nos discursos e nas práticas científicas. Seus

questionamentos procedem à luz da Ciência contemporânea, da Física Relativística, das Geometrias Não-Euclidianas e da Mecânica Quântica (Lopes, 1993a).

Gaston Bachelard é considerado um dos grandes epistemólogos do século XX, cujo pensamento foi marcado por um clima de mudanças com a chamada Crise dos Fundamentos (Santos; Nagashima, 2015). Ao fornecer, de forma polêmica e instigante, subsídios para o questionamento dos dogmatismos científicos, Bachelard ficou conhecido como o filósofo do descontinuismo na razão e na História da Ciência ou, como “o filósofo da desilusão” (Lopes, 1993a, 1996).

Conforme Bachelard (2000 *apud* Santos; Nagashima, 2015), a descontinuidade evidenciada na História das Ciências demonstra a não acumulação de inovações. O papel da Ciência é sistematizar e coordenar essas inovações, ou seja, o cientista faz “descobertas” e sistematiza melhor, reconstrói os conhecimentos de atos epistemológicos que reorganizam e transformam a evolução de uma determinada área das Ciências. Desse modo, a Ciência é vista como uma ruptura com o senso comum, em que o conhecimento científico depende tanto da razão quanto da experiência.

Na perspectiva de Reale e Antiseri (2006), o trabalho de Bachelard enfatiza a Ciência com o seu inevitável caráter social e sua historicidade para trazer racionalidade ao saber científico. Desse modo, tanto o racionalismo idealista quanto o empirismo baconiano são insuficientes para elucidar uma prática científica real e efetiva. Além disso, para Bachelard, o filósofo da ciência deve ser contemporâneo à ciência de seu tempo, em vista de uma filosofia dispersiva e ampla.

De modo geral, como argumenta Lopes (1996), a multiplicidade de projetos na vida de Bachelard seguiram em paralelo com a pluralidade de ideias filosóficas e vivacidade de pensamento resistente a rótulos:

Quando se pensa em entendê-lo como idealista, por sua crítica incisiva ao realismo, tem-se que retificar o pensamento, ao se compreender sua análise sobre o papel constitutivo da técnica frente à razão. Quando se pensa, então, ser ele um materialista, surpreendemo-nos com seu eixo desconstrução do conhecimento: do racional ao real (Lopes, 1996, p. 250).

Para Bachelard (1996), o progresso científico percorreu três períodos distintos, sendo eles: o pré-científico (da Antiguidade Clássica, Renascimento, até o século XVIII); o período científico (do século XVIII até o início do século XX); o período, denominado novo espírito científico (com a evidência dos quanta de energia por Max

Planck e a suposição da teoria da relatividade por Albert Einstein). Segundo Mata (2015), a partir do “novo espírito científico” do início do século XX, diante de uma filosofia dogmática, Bachelard traz uma visão aberta da filosofia e inicia o caminho para um “novo espírito filosófico”. Ele considera os perfis epistemológicos e reconhece o pluralismo que resgata a negação como conceito filosófico construtivo por excelência.

A noção do perfil epistemológico de Bachelard conjectura os obstáculos encarados pela ciência no desenvolvimento das teorias e está associado a ferramenta que marca as rupturas históricas na elaboração dos conceitos científicos (Esser; Schneider; Pereira, 2021). Em “*A Filosofia do Não*”, Bachelard descreve as doutrinas filosóficas que compõe o perfil epistemológico:

- Realismo ingênuo: contempla o senso comum, em que as explicações para a natureza e seus fenômenos partem do real e do que se observa, sem qualquer reflexão.
 - Empirismo claro e positivista: está centrado no princípio da verificação, isto é, valoriza a realização de experiências e medidas. Fornece uma determinação objetiva, porém limitada, do objeto de estudo.
 - Racionalismo clássico: a construção do conceito se dá por meio de alguma teoria consolidada. A experiência é complementada com o uso da razão.
 - Racionalismo complexo: é compreendido pelo aumento do grau de abstração e complexidade. Os conceitos da física moderna e contemporânea, como os quanta de energia, enquadram-se nesta doutrina.
 - Racionalismo dialético: é o racionalismo com base na probabilidade, em que o pensamento vai além do racional. São os casos da mecânica quântica de Paul Dirac (1902 – 1984) e da proposição da massa negativa.
- (Bachelard, 1991 *apud* Esser; Schneider; Pereira, 2021, p. 9).

Nesse contexto, Bachelard (1978) considera tanto o realista quanto o racionalista como parte de um pluralismo da cultura filosófica no qual é necessário mostrar, também, suas convergências dos conhecimentos científicos. Esse pluralismo filosófico sugere uma psicologia do espírito científico que pode ser chamada de “perfil epistemológico”.

Segundo Mata (2015), é possível observar, então, que a noção de perfil epistemológico conduz as principais teses defendidas por Bachelard, como: a ruptura entre conhecimento científico e saber comum, o reconhecimento da historicidade da ciência, a defesa do progresso científico descontínuo e superação dos obstáculos que limitam a ciência e reconhecimento da dimensão fenomenotécnica do conhecimento científico. O papel dos perfis epistemológicos é processar que de fato a metafísica, a filosofia, deixam suas marcas nos conceitos científicos, que apesar

de ser uma filosofia única, existem sempre algumas filosofias na constituição desse conceito. Os perfis, também, vêm mostrar que o há um claro sentido quando a razão perpassa na elaboração dos conceitos científicos, ou seja, há uma maior racionalidade que torna o conhecimento científico destacado do conhecimento comum

Mortimer (1992) reconhece que o Ensino de Química não pode se limitar a princípios e leis (imutáveis) dos fenômenos químicos, característica do positivismo. Nesse contexto, a História da Química possui papel importante para a compreensão do processo de produção do conhecimento químico pelo estudante. Considerando haver uma necessidade de superação de obstáculos epistemológicos ou pedagógicos nos processos de ensino e de aprendizagem, é possível observar que as contribuições do perfil epistemológico de Bachelard para o Ensino de Ciências, em especial a Química, são bem destacadas na noção de perfil conceitual proposto por Mortimer.

Pela interpretação de Lôbo (2008), Mortimer utiliza o perfil epistemológico em sala de aula, com base na História da Química, para orientar o processo de ensino de modo a superar do dogmatismo presente nas escolas, uma vez que revela as rupturas que ocorreram ao longo da história da produção desse conhecimento e permite evidenciar seu caráter essencialmente dinâmico. Por meio da noção do Perfil Conceitual, Mortimer visa mostrar como o Ensino de Química pode ser enriquecido com a superação de visões inadequadas presentes, principalmente, nos níveis Fundamental e Médio.

Quanto a Bachelard, esse se distingue da maioria dos demais filósofos da Ciência por trabalhar com questões epistemológicas tanto na Física, quanto na Matemática e, especialmente, na Química (Santos; Nagashima, 2015). Sua história de vida revela sua preocupação constante com as questões referentes ao Ensino de Ciências e à Educação. Como professor de Química e Física, Bachelard situou tais ciências no debate filosófico, se manifestando contrário às perspectivas dos filósofos da época e à ausência de uma relação metafísica no trabalho dos cientistas (Lôbo, 2008).

Embora não tenha escrito um livro específico para a educação, em toda sua obra, Bachelard apresenta um conjunto de ideias. Apesar de não compor uma teoria da aprendizagem ou uma metodologia de ensino, suas ideias podem enriquecer sobremaneira a discussão a respeito da epistemologia do Ensino de Ciências físicas, em especial a Ciência Química (Lopes, 1993).

Segundo Bachelard, para haver aprendizado é necessário haver mudança de cultura e de racionalidade, inerentes ao aprendizado científico. Os hábitos intelectuais enraizados no conhecimento não questionado, constantemente, bloqueiam o processo de construção do novo conhecimento, caracterizando-se, portanto, segundo Bachelard, como obstáculos epistemológicos (Lopes, 1993).

Bachelard enfatiza que o Ensino de Ciências introduz o estudante à nova cultura, a cultura científica, entretanto o ensino deve ser suficientemente crítico para questionar os princípios científicos, analisar seu processo de produção, perceber as influências sociais e políticas nessa produção e demarcar o contexto de aplicação do conhecimento científico. Diante disto, a epistemologia histórica de Bachelard pode colaborar para o desenvolvimento de estratégias de ensino orientadas para uma melhor compreensão da Natureza da Ciência, não se limitando apenas aos produtos da Ciência (Lôbo, 2008).

Referente ao desenvolvimento dos conceitos científicos, Bachelard pondera que nem todos eles atingiram o mesmo grau de maturidade filosófica. Alguns conceitos permaneceram, ainda, numa fase realista e outros, numa fase empirista ou positivista. Ponderado que Bachelard se preocupou em mostrar que o progresso filosófico das ciências físicas processou-se no sentido de uma racionalidade cada vez mais complexa, rompendo com concepções impróprias, como o realismo, substancialismo e racionalismo clássico, podemos considerar que o conceito bachelardiano de ruptura epistemológica é fundamental para o Ensino de Ciências, ao inserir os conceitos científicos no contexto histórico em que eles foram produzidos, mostrando os obstáculos epistemológicos inerentes a seus próprios processos de produção (Lôbo, 2008).

Os obstáculos epistemológicos são abordados por Bachelard, especialmente, em "*A Formação do Espírito Científico*", cuja primeira publicação, em francês, se deu em 1938. Na obra o autor discute a importância de valorização do pensamento científico abstrato e aponta a experiência imediata como um obstáculo do desenvolvimento dessa abstração (Lopes, 1993). Bachelard considera os obstáculos epistemológicos como responsáveis pela estagnação do pensamento científico. Portanto, é necessário superá-los para haver o progresso da Ciência (Trindade; Nagashima; Andrade, 2019).

No processo de aprendizado, os obstáculos epistemológicos atuam como entraves ao próprio conhecimento científico, por dificultar seu desenvolvimento

e construção (Lopes, 1990). Alguns dos obstáculos descritos por Bachelard são; a *Experiência Primeira*, que se refere a opinião e observação básicas; os *Obstáculos Verbais*, explicados por meio de analogias, metáforas, ocorrendo à associação de uma palavra concreta a uma palavra abstrata; os *Obstáculos Substancialistas*, ligados ao uso de imagens ou da atribuição de qualidade aos fenômenos; os *Obstáculos Animistas*, quando há o uso de atributos humanos no Ensino de Ciências, como dar “vida” as representações para explicar determinados conteúdos; os *Obstáculos Realistas*, nos quais a substância de um objeto é considerada um bem pessoal; e os *Conhecimentos Unitário e Pragmático*, em que há uso exagerado de generalizações (Trindade; Nagashima; Andrade, 2019).

Dentre as principais lições da epistemologia de Bachelard para o Ensino de Ciências, podemos destacar: a cautela que se deve ter quanto aos obstáculos epistemológicos, tanto na pesquisa quanto, na prática docente; a proposta de repensar as concepções a respeito do conhecimento; a ideia de repensar o papel do erro, como função positiva na gênese do saber; e a proposta de uma racionalidade pluralista, e até polêmica, de uma razão essencialmente histórica (Buscatti Junior, 2014).

4.1.1.4.2 O Realismo Ingênuo no Ensino de Química

É comum evidenciarmos, no Ensino de Química, a apresentação apenas dos resultados dessa ciência, cujos conhecimentos científicos, suas leis, teorias e modelos, comumente, são concebidos como representações da realidade. Outra questão a ser observada no Ensino de Química, se refere a ênfase em produtos da Ciência, em detrimento de seus processos de produção. Essa prática provoca uma série de implicações indesejáveis na pedagogia dessa Ciência, criando obstáculos à sua compreensão. Um fator indesejável é o reforço da crença positivista, com base na observação e experimentação, que atribui à Ciência a afirmação de leis invariáveis que regem os fenômenos (Santos; Nagashima, 2015).

Lemes e Porto (2013a) concluem que o “fazer química” e o “ensinar química” aparentam necessitar de aportes teóricos filosóficos diferentes. É possível ser realista para “fazer química” sem que haja prejuízo para os objetivos almejados, porém, em contrapartida, o “ensinar química” requer maior reflexão acerca de vários posicionamentos filosóficos e controvérsias científicas que precisam ser apresentadas

aos estudantes universitários e da educação básica.

Na Ciência Química, modelos teóricos idealizados são elaborados a fim de se chegar à apreensão da realidade de um átomo ou de uma molécula, por exemplo, em escala nanoscópica. Muitos desses modelos possuem entidades abstratas e não sensíveis à percepção humana. Dessa forma, diante de uma postura realista, os conceitos científicos são abordados e trabalhados a partir de modelos teóricos, que podem ser entendidos como tentativas de aproximação do real, ainda que por meio da razão. Portanto, há uma necessidade especial na mediação entre teoria e realidade para as pessoas poderem compreender ou fazer as associações entre representações, modelos teóricos e a realidade em si. Nessa perspectiva, para evitar que se perpetuem concepções realistas ingênuas, se torna indispensável a devida atenção na formação de professores, no sentido de formular estratégias que correlacionem conteúdos específicos com seus aspectos históricos e epistemológicos (Moreira; Silva; Mota, 2021).

É compreensível que o químico iniciado pareça precisar, pragmaticamente, equiparar os significados de representação e modelo para atingir uma fluência na relação entre as evidências e a teoria. Desse modo, o realismo dos químicos é corroborado pelo sucesso na realização de sínteses de substâncias e materiais e pelo uso de equipamentos de caracterização estrutural (Lemes; Porto, 2013b). Portanto, vale ressaltar a reflexão de possíveis desdobramentos do realismo para o Ensino de Química.

A utilização de metáforas e analogias com o intuito de aproximar o conhecimento químico do conhecimento cotidiano é uma prática muito comum nas salas de aula, sobretudo no nível médio de ensino. Todavia, uma correspondência direta entre o conceito e a imagem caracteriza posturas realistas ingênuas, ainda presentes no Ensino de Química (Santos; Nagashima, 2015). A perspectiva realista pode gerar concepções alternativas das entidades químicas e a falta de entendimento em relação a essa Ciência. É possível que o realismo químico, com referência a imagens, pode se tornar um obstáculo ao processo de aprendizado, tanto ao nível básico de ensino ou de graduação. Um aprendiz poderá operar sobre símbolos das entidades microscópicas em vez de operar sobre os modelos (Lemes; Porto, 2013a).

A literatura científica evidencia, com base em alguns aspectos relativos ao processo de produção da Ciência Química, como determinadas concepções epistemológicas, o realismo ingênuo, o substancialismo e o racionalismo

clássico, foram historicamente superadas. Contudo, essa mesma literatura revela que tais concepções continuam presentes no Ensino de Química (Lôbo, 2008). O realismo ingênuo, numa visão bachelardiana, é uma concepção referente a estrutura metafísica perceptiva diante de um objeto, imagem ou fenômeno da natureza (Borges, 2020). As precisões dessa experiência sensorial individual são bastante questionáveis, pois as percepções visuais podem ser difusas e, portanto, não genuinamente verídicas (Amato, 2018).

Bachelard observa que a Química contemporânea superou a ciência da memória, sendo uma Química matemática e teórica, fundada na união entre a Física teórica e a Química teórico-Física teórica. Essa nova Química rompe com as primeiras impressões do realismo ingênuo e chega a um nível de complexidade e especialidade que exige uma nova razão, polêmica e em constante mutação. Essa racionalidade maior só é alcançada pelos processos de rupturas com as concepções anteriores (Lôbo, 2008).

Portanto, uma das contribuições mais fundamentais de Bachelard ao Ensino das Ciências, talvez seja o modelo de razão coercitiva, uma problemática para todos os campos do conhecimento (Santos; Nagashima, 2015). Como descrito por Lopes (1996), esse modelo de razão é essencialmente histórico. De uma história que não tem começo e nem fim, que nos permite o resgate do nosso papel de autores na construção do mundo, negando a perspectiva de espectadores de uma natureza e de uma sociedade de fatos dados e acabados.

Bachelard sugere uma ruptura entre conhecimento científico e senso comum. Entretanto, no Ensino de Ciências, essa ruptura não pode ser entendida como um abandono dos conhecimentos adquiridos pelo aprendiz em sua vida cotidiana, para resolver os problemas do dia a dia e adquirir uma nova cultura (Santos; Nagashima, 2015), mas como uma ruptura dos obstáculos acumulados durante a vida cotidiana (Bachelard, 2006). A primeira ruptura deve operar no campo das explicações construídas sob a influência do pitoresco e da vivência, e a segunda no campo do primeiro racionalismo. Bachelard observa que a escola ensina Física e Química “mortas” e que esse primeiro racionalismo da mecânica racional clássica deve ser superado (Silva, 2009).

Para Bachelard (1991 *apud* Oki; Moradillo, 2008), há uma forte influência do realismo na experiência química. Ele sugere a distinção entre “real científico” e o “real dado”, ou aparente. O “real dado” representa o próprio fenômeno

ou evento, cuja relação se faz com o senso comum. A noção de “fenomenotécnica” permite a compreensão do conceito real científico por necessitar da relação sujeito-objeto mediada pela técnica para que o real científico se concretize. O real científico, ou realismo mais sofisticado, rompe com o empirismo caracterizado pelas primeiras impressões. Diante disso, Bachelard descreve a necessidade de conceitos abstratos para explicar o realismo científico:

É preciso haver outros conceitos além dos conceitos “visuais” para montar uma técnica de agir cientificamente-no-mundo e para promover à existência, mediante uma fenomenotécnica, fenômenos que não estão naturalmente-na-natureza. Só por uma desmaterialização da experiência comum se pode atingir um realismo da técnica científica (Bachelard, 1977, p. 137).

A opção pelo realismo ingênuo em relação às representações químicas, aparentemente, se mantém mesmo na universidade. Segundo Bachelard (1991 *apud* Oki; Moradillo, 2008), a Filosofia Química emergiu facilmente no realismo, se contrapondo à produção do conhecimento químico ao longo da História, cuja trajetória necessitou de várias rupturas com o real dado e aparente.

4.1.1.4.3 Bachelard e a Formação Docente

Uma vez questionado por Léon Brunschvicq, pelo fato de atribuir tanta seriedade ao aspecto pedagógico das noções científicas, Bachelard respondeu-lhe dizendo que se considerava mais professor que filósofo. Ao garimparmos suas ideias, é justamente o Bachelard Professor que fica em nosso espírito (Sousa; Martins, 2020).

Dentre os diversos obstáculos na educação, a prática docente autoritária de reprodução está presente. Para Bachelard (1996), ao se deparar com a dificuldade de rompimento com uma prática tradicional autoritária, se está diante de um obstáculo epistemológico. Segundo Zimmermann e Bertani (2003), no caso da Formação de Professores, para haver ruptura da prática tradicional, é necessário a superação de obstáculos, períodos de estagnação ou regressão, para então, desenvolver uma prática reflexiva em sala de aula. Nesse caso, a busca do não compreendido pode propiciar uma formação permanente

Bachelard (2006) afirma que a mobilização permanente pode substituir o saber estático por um conhecimento aberto e dinâmico, tendo em mente o diálogo das variáveis experimentais e dar razões de evoluir à própria razão. Nesse

contexto, Barroso e Pinto (2017) argumentam que, no sentido que Bachelard atribui ao conceito de educação, essa precisa ser dialética, deve ser estabelecida pela apresentação de ideias e pelo estímulo a crítica. Referente a Formação de Professores e o Ensino de Ciências, para se ter uma ciência viva, é necessário ter uma educação científica fundamentada em uma epistemologia que perceba o fazer científico como algo dinâmico, reconstruído diuturnamente com base na crítica racional

Bachelard faz da História da Ciência seu laboratório epistemológico. A perspectiva da educação é compreendida como formação do sujeito a partir das duas vertentes do seu pensamento, assim o sujeito se forma concomitantemente a partir da sua vivência no mundo dos conceitos e das imagens. A aprendizagem ocorre numa relação intersubjetiva, na qual o racionalismo docente-ensinado almeja perguntas ao invés de respostas, problematizando os métodos e contrapondo-se meramente à apresentação dos resultados da Ciência (Sousa; Martins, 2020).

Conforme Bachelard (1977), o papel do mestre é fazer o estudante compreender o raciocínio e o plano filosófico no estudo de uma dada noção. Há um valor em se ver que compreender é uma emergência, e esse valor é a base do racionalismo ensinado. Nessa visão, o professor é aquele que faz o estudante compreender, por estar numa cultura científica mais avançada que a do estudante, então o fará compreender melhor. Esse seria o princípio da “racionalidade ensinada”.

A tarefa do professor está no esforço de derrubar os obstáculos acumulados durante a vida cotidiana, propiciar rupturas com o senso comum, com o saber instituído em opinião e com a tradição empirista das impressões primeiras (Bachelard, 2006). No Ensino de Ciências de sua época, Bachelard critica o ensino “professoral” com o seu dogmatismo e o recurso monótono às certezas da memória. Outra crítica se refere a versão ingênua do construtivismo, que pode considerar uma relação demasiadamente direta entre o mundo cotidiano e o conhecimento científico, ignorando as necessárias mediações (Silva, 2009).

Bachelard defende, simultaneamente, a ideia de descontinuidade epistemológica e a de continuidade psicopedagógica. Em Bachelard há duas rupturas epistemológicas com implicações importantes ao Ensino de Ciências: por um lado, há a ruptura entre opinião comum e a Ciência do século XIX, por outro lado, há a ruptura entre estas e o “novo espírito científico”. Uma pedagogia professoral e empirismo pedagógico sofrem de um defeito de espírito passivo, preso e fascinado, enquanto

deveria ser turbulento e polêmico. A formação do espírito científico requer uma razão aplicada e uma experiência racional, quer seja na história das Ciências, quer seja na educação. O construtivismo bachelardiano é definido por uma dialética específica do espírito humano dedicado ao conhecimento (Silva, 2009).

Para um novo espírito científico no processo pedagógico, a ação docente exige racionalidade sempre vigilante, a fim de superar os obstáculos. É necessário que o professor tenha conhecimento de que o estudante possui ideias pré-concebidas, geralmente revestidas de um realismo ingênuo, próprio do senso comum, que podem impedir a compreensão dos conceitos científicos, o que Bachelard denomina de *obstáculo pedagógico* (Lôbo, 2008).

No curso de Formação de Professores, o desenvolvimento do conhecimento de como ensinar deve acontecer, entretanto, esse desenvolvimento necessita continuar ao longo da vida profissional a fim de inovar as práticas pedagógicas e permitir que o professor reflita a teoria ao encontro da ação (Zimmermann; Bertani, 2003). Segundo Lôbo (2008), o processo de formação docente está sempre em processo de construção, formando um movimento dialético de empiria/razão fundamental. Processo destinado não apenas para a produção do conhecimento científico, como apoiado por Bachelard, mas, também, para a produção de qualquer saber profissional que permita a autonomia do sujeito em formação. Portanto:

Essa discussão mostra a pertinência, relevância e atualidade da epistemologia bachelardiana para os processos de ensino e de formação do professor, em especial, na área das ciências físicas, objeto do estudo filosófico de Bachelard (Lôbo, 2008, p. 99).

Nesse aspecto, tanto na formação inicial, quanto na formação continuada de professores, a epistemologia de Bachelard oferece possibilidades de reflexão crítica necessária para ruptura da prática tradicional e superação dos obstáculos epistemológicos, responsáveis pela estagnação do pensamento científico e do aprendizado. Em se tratando da presente proposta, abordaremos algumas das contribuições da epistemologia de Bachelard referente a formação do conceito de substância química durante a História da Ciência, juntamente com a noção de perfil epistemológico do referido filósofo, que serviu de fundamento para a noção de perfil conceitual, proposta por Mortimer (1992).

4.1.1.5 Noções de Ontologia

No início do século XVI, Jacob Lorhard escreveu o *Ogdoas Scholastica* e Rudolf Göckel escreveu *Lexicon philosophicum*, dando origem ao termo “ontologia”. No âmbito da Filosofia, o termo ganhou popularidade por meio de Christian Wolff, com a publicação de *Philosophia prima sive Ontologia* (Guizzardi, 2005). Segundo Guarino (1998), uma ontologia representa um artefato tecnológico que contém um conjunto de regras que delimitam o significado intencional de um vocabulário formal. Assim, por um acordo ou compromisso ontológico, o conhecimento pode ser compartilhado e inferido.

Diante disso, Almeida Campos, Campos e Medeiros (2011) consideram que o tratamento das informações, conceitos e representações dependem de algumas indagações como: Como representar algo? Como adaptar modelos, esquemas de classificações, etc.? As ontologias apresentam papel de destaque ao definirem formalmente conceitos independentes de domínio e fornecerem uma base teórica sólida ao embasar a construção de vocabulários específicos de cada domínio.

Nesse sentido, a ontologia é caracterizada como uma área filosófica que lida com o estudo das características gerais dos conceitos de ser e do tornar-se, abrangendo propriedade, mudança, novidade, tempo, espaço, acaso, causalidade, lei e história, sistemas físicos e químicos, vivente, social e técnico. A tarefa da ontologia é esclarecer tais conceitos ontológicos, formular hipóteses, sistematizar e construir teorias ontológicas (Bunge, 1975).

Há diferentes níveis de organização: físico, químico, biológico, social, técnico, etc. No curso de certos processos evolutivos, os níveis superiores emergem de outros, estabelecendo uma certa autonomia e estabilidade. Muitos outros princípios ontológicos ou hipóteses são envolvidos na pesquisa científica. Esses princípios podem orientar ou enganar a investigação, segundo a verdade e sugestão de algo falso ou estéril. Cabe ao filósofo e ao historiador da ciência extraí-los, analisá-los, avaliá-los e sistematizá-los, ou seja, fazer a Ontologia da Ciência (Bunge, 1975).

É possível analisar teorias a partir da ontologia, por exemplo, por uma perspectiva ontológica (que discute e problematiza a natureza da realidade), o realismo considera a realidade algo objetivo e singular (Souza; Costa; Pereira, 2015). Em síntese, a ontologia é um importante meio de representar, formalizar e compartilhar conhecimento. Há um campo específico denominando Engenharia de

Ontologias, que estuda várias metodologias de desenvolvimento de ontologias propostas, cada qual com suas características em relação a suas finalidades, de modo que não há uma metodologia estabelecida como padrão para o propósito geral de desenvolvimento de ontologias (Rautenberg *et al.*, 2008).

Segundo as investigações de Bravo e Pesa (2005), a pesquisa educacional em Mortimer (2000) e Municio e Crespo (1998) revela que os princípios epistemológicos, ontológicos e conceituais fundamentam e orientam implicitamente a construção do conhecimento e atribuição de significados aos conceitos.

No aspecto ontológico, Chi (1992 *apud* Bravo; Pesa, 2005) argumenta que cada pessoa classifica os objetos do mundo em diferentes categorias ontológicas, mediante certos atributos ou propriedades próprias (matéria-processos-estados mentais), por meio dos quais o mundo é interpretado. Ao nos depararmos com um fato ou objeto “novo”, nós o categorizamos ontologicamente, conferindo-lhe uma série de características da categoria à qual o atribuímos. Conforme Municio e Crespo (1998), esse processo de estabelecer regularidades no mundo o torna mais previsível e controlável. Essas concepções alternativas podem representar um produto cultural socialmente compartilhado para dar significado as atividades organizadas pela cultura.

Visto que a ontologia remete a discussão da natureza do mundo e o que nele existe (Pessoa Junior, 2009), a ontologia química está relacionada às discussões das entidades e teorias químicas, como, por exemplo: se átomos e moléculas possuem somente natureza teórica/explicativa, como ferramentas conceituais, ou se átomos e moléculas existem, independente do nosso acesso a essas entidades (Lemes; Porto, 2013a).

Com base no realismo químico, Labarca e Lombardi (2005) utilizam a ideia de “pluralismo ontológico” para evitar a redução ontológica da Química à Física. Para os autores, existem várias ontologias características de cada ciência. Nessa perspectiva, a visão ontológica de um químico diferiria da visão ontológica de um físico. Por exemplo, um químico atribui uma visão mais realista aos orbitais, não havendo contradição na concepção de orbital como sendo entidade existente no nível ontológico químico, mesmo considerando que os orbitais são entidades reais conforme a ontologia da mecânica quântica. Nesse aspecto, como argumenta Scerri (2000), o realismo dos químicos pode não ser tão ruim, e defende “níveis de realidade autônomos, embora relacionados” (Scerri, 2000, p.412).

Logo, a noção de representação estrutural e organização espacial no Ensino de Química, quanto aos átomos, moléculas, etc., estão ligados diretamente à natureza dos objetos de estudo da Química e, conseqüentemente, à sua própria ontologia (Araujo Neto, 2012).

4.1.2 Pressupostos da CTS para o Ensino

Para podermos visualizar melhor alguns dos pressupostos da CTS relevantes para o Ensino de Ciências e de Química, cabe o conhecimento de como e por que surgiu o movimento CTS, suas terminologias e siglas. Posteriormente, articulamos os aspectos da CTS e a Formação Docente para que a proposta da pesquisa seja mais bem fundamentada.

4.1.2.1 Breve histórico da origem do movimento CTS

Considerando o intenso desenvolvimento científico-tecnológico em andamento na sociedade contemporânea, é possível notar a pertinência de diversas reflexões referentes as relações entre a Ciência, a Tecnologia e suas implicações na sociedade (Lisboa-Filho; Monteiro, 2013).

Embora Ribeiro, Santos e Genovese (2017) ofereçam críticas e questionamentos referentes a diversos elementos presentes na forma com que a origem do movimento CTS e as siglas CTS e CTSA são apresentados em trabalhos científicos na literatura nacional, quanto a história dominante de origem do movimento Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), vale destacar que, segundo Aikenhead (2005), as origens do movimento incidem após a Segunda Guerra Mundial, por meio da intensificação de diversas mobilizações sociais e políticas.

Segundo García, Cerezo e López (1996), surgiu, na população dos países capitalistas do início do século XX, uma crescente percepção de que o desenvolvimento científico, tecnológico e econômico não estaria alinhado linearmente de modo a conduzirem a sociedade a um desenvolvimento do bem-estar social. Conforme Osorio (2002), apesar dos campos das tecnologias de produção de informação e da biotecnologia terem proporcionado grandes efeitos sobre a sociedade, determinados críticos avaliam que esses desenvolvimentos contribuíram para que grupos sociais, regiões e países mais ricos ficassem mais ricos, gerando

assim, uma maior desigualdade entre ricos e pobres, exatamente o contrário do que se esperava.

Diante de olhares críticos sobre a tradicional perspectiva de neutralidade da ciência e da tecnologia, surge a gênese do movimento Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), a partir da década de 1960 (Lisboa-Filho; Monteiro, 2013). O movimento CTS corresponde a uma determinada linha de pesquisa acadêmica e investigativa que visa indagar a respeito da natureza social do conhecimento científico-tecnológico e sua incidência nas diversas esferas econômicas, sociais, ambientais e culturais, principalmente das sociedades ocidentais (Osorio, 2002).

Considerando que a Educação Ambiental (EA) deve evitar o simplismo de tratar o meio ambiente apenas como físico e biológico, negligenciando a sua dimensão social, é imprescindível que a questão ambiental seja abordada a partir de uma ampla visão; histórica, sistêmica, holística e dinâmica, de modo a considerar pessoas e seus valores para alcançar uma transformação socioambiental sustentável. Diante do exposto, surgiu a necessidade, dentre alguns pesquisadores, de diferenciação entre a CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) para o seu original movimento CTS (Siqueira *et al.*, 2021).

Segundo Siqueira *et al.* (2021), a introdução do A no acrônimo CTS necessita estar além da ênfase dada a questão ambiental, permitindo a intensificação de estudos e ações para sustentabilidade, em especial à dimensão ambiental, em relações com a superação da pobreza e do analfabetismo, e da participação ativa dos cidadãos com enfoque humanista, holístico e democrático.

Entretanto, mediante a um levantamento referente a produção científica CTS e CTSA, Luz, Queiroz e Prudêncio (2019) analisaram os motivos, pressupostos e interesses que fundamentaram a escolha das denominações CTS/CTSA e os sentidos atribuídos ao Meio Ambiente e à Educação Ambiental. Os resultados trazem o entendimento de que ainda não existe um consenso na área quanto à compreensão dos pressupostos e características presentes nas diferenciações das perspectivas CTSA e CTS e há, também, a presença de uma variedade de sentidos atribuídos ao Meio Ambiente.

Em conclusão, Luz, Queiroz e Prudêncio (2019), consideram que a denominação CTSA, da maneira como está posta, pode não ser totalmente adequada ou mesmo necessária, pois o Ambiente entendido em sua totalidade consegue

abranger a Ciência, a Tecnologia, a Sociedade e suas múltiplas inter-relações, pois, “situar o Meio Ambiente no mesmo patamar que Ciência, Tecnologia e Sociedade constitui uma compreensão reducionista que desconsidera a complexidade do fenômeno ambiental, reduzindo-o a apenas uma de suas dimensões” (Luz, Queiroz; Prudêncio, 2019, p. 49).

Diante do exposto, na presente abordagem optamos em utilizar a denominação CTS considerando as concepções de alguns pesquisadores críticos como Santos (2007, 2012), Vilches, Gil Pérez e Praia (2011) e, conseqüentemente, de Luz, Queiroz e Prudêncio (2019), que consideram a obrigatória inclusão das questões ambientais ao se trabalhar a perspectiva CTS.

4.1.2.2 Algumas contribuições da abordagem CTS ao Ensino

Em concordância com o breve histórico do surgimento do movimento CTS, Waks (1990) esclarece que devido ao agravamento dos problemas ambientais pós-guerra, a tomada de consciência de muitos intelectuais com relação às questões éticas, a qualidade de vida da sociedade industrializada, a necessidade da participação popular nas decisões públicas, estiveram cada vez mais sob o controle de uma elite que detém o conhecimento científico. Em vista disso, o medo e a frustração decorrentes dos excessos tecnológicos propiciaram as condições para o surgimento de propostas de ensino na perspectiva CTS.

Ao conseguir permear cada vez mais as esferas da divulgação científica e os processos educativos do ensino superior e secundário, os estudos da CTS possuem uma diversidade de estratégias e experiências didáticas ensaiadas que permitem aproximar a Ciência, a Tecnologia e a sociedade e ambiente, ou seja, essa abordagem obtém o papel e “ponte” entre aspectos almejáveis pela sociedade viabilizando a formação humana integral (Volpe, 2018).

No contexto da educação curricular brasileira, Santos e Mortimer (2002), ressaltam a importância de compreender o contexto dos países em que a proposta CTS foi desenvolvida, por se tratar de países desenvolvidos com estruturas social e econômica diferentes do contexto brasileiro, composto por desigualdades sociais extremas. O modelo curricular CTS para a educação brasileira necessita ser crítico, discutir questões de cidadania, desenvolvimento tecnológico atrelado a situação socioeconômica e os aspectos culturais do país:

Mas, para isso, uma série de questionamentos precisam ser levantados: Que cidadãos se pretende formar por meio das propostas CTS? Será o cidadão no modelo capitalista atual, pronto a consumir cada vez mais, independente do reflexo que esse consumo tenha sobre o ambiente e sobre a qualidade de vida da maioria da população? Que modelo de tecnologia desejamos: clássica ecodesequilibradora ou de desenvolvimento sustentável? O que seria um modelo de desenvolvimento sustentável? Que modelo decisionista desenvolveremos no nosso aluno, o tecnocrático ou o pragmático-político? (Santos; Mortimer, 2000, p. 126).

Considerando tais questionamentos, os projetos curriculares nacionais, com ênfase em CTS, poderão ser desenvolvidos. Entretanto, como apontam diversas pesquisas (Bybee, 1987; Bybee e Mau, 1986; Fleming, 1988; Gaskell, 1982; Waks e Barchi, 1992, dentre demais), há a necessidade de um olhar especial quanto a implantação curricular referente à Formação de Professores (Santos; Mortimer, 2000).

A abordagem CTS é indispensável ao Ensino de Química, devido a diversos fatores, dentre eles, ao ser caráter de tecnociência. Segundo Bensaude-Vincent e Nurock (2010 *apud* Kavalek *et al.*, 2015, p. 11), “a química é uma tecnociência por duas razões: pela sua característica dual como Ciência e como Tecnologia e porque existem muitas técnicas envolvidas em práticas experimentais”. Kavalek *et al.* (2015). consideram que o termo Tecnociência não pode ser considerado neutro e nem a soma de Ciência e Tecnologia, pois se trata de uma forma diferente de conhecimento, que destrói a imagem de Ciência neutra, pura, desinteressada, autônoma e simplesmente cognitiva. Nessa visão, a especificidade epistemológica da Química é sua impureza, uma ciência transgressora, pluralista e heterogênea.

4.1.2.3 Aspectos da CTS na Formação Docente

Segundo as investigações de Domiciano e Lorenzetti (2019), as pesquisas acerca da abordagem CTS e Formação de Professores teve seu início no Brasil em 1995 e, desde então, o número de trabalhos vem crescendo e se difundindo por todas as regiões do país. Foram encontrados alguns eixos de pesquisas como: intervenções/experiências em licenciaturas com abordagem CTS; concepções de Ciência e Tecnologia; recursos/cursos e currículos; saberes e aplicações de abordagem CTS por licenciandos. Nas conclusões de Domiciano e Lorenzetti (2019),

há a necessidade de avanços e novas investigações no campo de formação inicial de professores e a abordagem CTS. Todavia, a análises da literatura indica potencialidades da incorporação do ensino CTS na Formação de Professores, possibilitando uma visão mais próxima do real de Ciência e Tecnologia, com melhor reflexão e criticidade docente e uma prática socialmente comprometida com o ensino integral.

Uma proposta metodológica de inserção da História da Ciência com enfoque CTS na formação continuada de professores de Química foi analisada por Oliveira e Alvim (2020). Os resultados permitiram perceber a importância do enfoque HCTS na Formação de Professores, como suporte teórico e didático ao Ensino de Ciências reflexivo. Para as autoras, apesar de vários estudos indicarem o potencial da reflexão da HC e da educação CTS na formação docente, muitos desses trabalhos mostram as abordagens da HC e da CTS apenas como complemento da aprendizagem científica, ou para explicar algum conceito químico, de forma episódica. No caso da CTS, é mais utilizada para contextualizar as aulas de Ciências.

Para Maldaner (2003), a dificuldade de professores de Química em trabalhar a História da Ciência, as relações CTS e a epistemologia da Química se deve, principalmente, a dois fatores: o primeiro, os professores não foram ensinados ou preparados acerca desses contextos, eles não fizeram parte da sua formação, ou seja, os professores não conhecem esses assuntos; o segundo, esses tópicos não fazem parte de suas crenças.

É o que mostram os resultados da investigação de Fernandes e Strieder (2016) focada nas opiniões de professores de Ciências da Natureza a respeito da Educação CTS. Destacam que, também, diversas pesquisas relevam que professores de Ciências pouco ou nada conhecem da abordagem CTS e, dentre os desafios apontados, o contexto da formação de professores é enfatizada. Uma das questões que podem gerar dificuldades em se trabalhar a abordagem CTS é justamente sua dimensão inter e multidisciplinar. Assim, as autoras afirmam que a formação inicial ou continuada de professores precisa presar pelas discussões relacionadas a Educação CTS e a Interdisciplinaridade potencial da área.

Rebelo, Martins e Pedrosa (2008) expõem resultados de uma investigação ocorrida em um programa de formação continuada de professores de Ciências e de Química, concebido para promover o desenvolvimento e a inovação de práticas pedagógicas em consonância com a perspectiva CTS. Segundo as autoras,

ao assumir as características gerais da educação científica emergente e renovada do século XXI, juntamente com alguns condicionalismos socioeconômicos do contexto, o movimento CTS se apresenta como um enquadrador de finalidades abrangentes, de metodologias e de abordagens inovadoras de Ensino de Ciências, para uma literacia científica e tecnológica dos estudantes.

4.1.3 Correlações entre HFC e CTS no Ensino

O enfoque CTS na educação busca pela Alfabetização Científica e Tecnológica na formação da cidadania diante do desenvolvimento tecnocientífico e suas implicações de aspectos sociais, históricos, políticos e demais. Por esse caminho, pretende-se que o Ensino de Ciências a partir da CTS, em articulação com a Natureza da Ciência, viabilize uma compreensão e conexão entre o conhecimento científico e o conhecimento tradicional. Possibilita a compreensão da natureza da ciência por meio de uma educação científica desenvolvida para o cidadão, com ênfase em problemas relacionados à Ciência e à Tecnologia, tornando o Ensino de Ciências mais situado, reflexivo e crítico. Permite a desmistificação das Ciências e a retificação de uma imagem distorcida da Ciência e da Tecnologia (García, 2014).

Além disso, o movimento CTS surge em contraposição ao pressuposto cientificista que valoriza a Ciência em si, com uma crença cega em seus resultados (Farias; Miranda; Pereira Filho, 2012). Diante disto, podemos observar a interligação entre objetivos/potencialidades do ensino na perspectiva CTS e da abordagem histórica do Ensino de Ciências. Pois, de acordo com Gatti e Nardi (2016), a dimensão histórica do conteúdo científico possibilita ao estudante desenvolver uma real concepção do espírito científico, desmistificando a falsa visão de Ciência como produto acabado, visão esta que se configura como uma barreira a qualquer construção e, logo, contribui para a formação de uma concepção ingênua frente a Ciência.

Chassot (2014) acredita que a História da Ciência (HC), mais precisamente, a história da construção do conhecimento, é uma catalisadora da Alfabetização Científica (AC). Em alusão a Alfabetização Científico-Tecnológica (ACT), Auler e Delizoicov (2001), concebem a ACT numa perspectiva ampliada, cuja proposta é buscar a compreensão das interações entre CTS associada ao ensino de conceitos problematizados a fim de superar mitos, como, por exemplo, a superioridade

do modelo de decisões tecnocráticas, uma perspectiva salvacionista da Ciência-Tecnologia e o determinismo tecnológico.

Segundo Garritz *et al.* (2011), os aspectos epistemológicos, sociológicos e psicológicos relacionados tanto à Ciência quanto à Tecnologia foram conceituados de forma mais ampla. A partir daí o conceito foi estendido para Natureza da Ciência e Tecnologia (NdC & T). Os autores escreveram os resultados de uma investigação desenvolvida com estudantes e professores mexicanos que revelaram um grave desconhecimento da concepção atual da natureza da ciência e tecnologia.

Garritz *et al.* (2011) concordam ser necessária a formação de professores com acúmulo de conhecimento metacientífico, conhecimento de Natureza da Ciência, com amplo conhecimento da visão externa da ciência, de seus aspectos históricos, filosóficos, sociológicos, econômicos, dentre outros. Pois se espera que os cidadãos sejam capazes e desenvolvidos para utilizar o conhecimento científico de forma consciente, informada e não dogmática. Nesse contexto, Rosenthal (1989) descreve que os currículos podem abordar questões éticas e epistemológicas do trabalho científico, as influências da sociedade sobre a Filosofia das Ciências, impacto das produções científicas sobre a sociedade e a responsabilidade social dos cientistas.

Entende-se que a contextualização da abordagem histórica da Ciência pode favorecer a ACT e a difusão dos pressupostos do movimento CTS. Igualmente, o enfoque CTS, como uma concepção de ensino, possibilita outras abordagens na pesquisa da área de Educação em Ciências. Por exemplo, o ensino por investigação e o enfoque histórico-filosófico, cuja proposta de ensino emprega a História e Filosofia da Ciência (HFC) em determinados momentos do processo, busca por uma formação humana e integral (Volpe, 2018).

O aspecto interdisciplinar da articulação entre HFC e os estudos CTS contribui para a formação de um currículo escolar que permite discussões dos temas que emergem dessa articulação e a necessidade da mobilização de diversos conhecimentos que podem transpô as barreiras existentes no estudo disciplinar e áreas de conhecimentos (Vilela *et al.*, 2021). Conforme Martins (2006b), é indispensável a inserção da História da Ciência (HC) no ensino para adequar alguns episódios históricos e seus contextos, para permitir a compreensão das inter-relações CTS, o que não significa que a HC irá substituir o Ensino do Ciências.

Os resultados de uma pesquisa centrada em um programa de

Formação de Professores de Química fundamentado na História e Filosofia da Ciência (HFC), trabalho experimental e inter-relações CTS como dimensões relevantes no Ensino da Ciência, evidenciaram um avanço para uma imagem mais racionalista quanto ao papel e o valor da teoria, previsão e da experiência, dentre os participantes. Além de melhor organização do processo de ensino e de aprendizagem, observou-se o realce do processo de construção do conhecimento científico e a valorização da HFC e interdependência CTS, por meio da evolução de uma perspectiva ingênua o para um realismo mais crítico e contextual (Paixão; Cachapuz, 2003).

Quintal e Guerra (2009) desenvolveram uma pesquisa por meio de um curso de caráter histórico-filosófico-sociológico das ciências para o processo de aprendizagem dos conteúdos de eletromagnetismo no Ensino Médio. O projeto permitiu trabalhar o aspecto da História da Ciência não factual, de modo que os cientistas foram apresentados de forma contextualizada com o tempo e espaço em que viveram, explicitando assim, as relações da produção científica com as demais áreas de conhecimento e o diálogo com a sociedade na qual a HC está sendo construída.

Quintal e Guerra (2009) enfatizam que a produção e a inserção da HC em sala de aula pode ser um processo complexo, ao exigir do professor conhecimentos de História Geral, de Física, de Filosofia, de Sociologia, como também de Ciência e Tecnologia. Portanto, é necessária uma formação docente mais abrangente do que a oferecida durante a licenciatura, a fim de possibilitar que professores sejam capacitados para construir práticas educacionais dentro dessa perspectiva.

A superação de visões distorcidas de Ciência, por parte dos indivíduos sociais, transcorre pela compreensão, análise e reflexão crítica das condicionantes externas que conduziram o desenvolvimento científico e tecnológico até os dias atuais. Diante disto, a abordagem da HFC em discussão com temas CTS permite revisitar os aspectos histórico-filosóficos subjacentes à construção de um determinado conhecimento científico ou tecnológico, extrapolando, assim, a dimensão conceitual do conteúdo. Essa estratégia de ensino está em concordância com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), cujas orientações destacam a importância da contextualização sócio-histórica e epistemológica dos conteúdos científicos (Vilela *et al.*, 2021).

4.2 N&N COMO MEDIADORAS DA ABORDAGEM CTS

Segundo Hulla, Sahu e Hayes (2015), a Nanotecnologia tornou-se o alicerce para aplicações industriais importantes em um período de aproximadamente meio século, de modo que, atualmente, essa tecnologia impacta a vida humana todos os dias com diversos benefícios potenciais. Diante disto, podemos citar alguns aspectos relacionados entre a Nanociência/Nanotecnologia e a Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.

4.2.1 Aspecto Científico

O termo Nanociência traz em si a sua correspondência com a Ciência. Entretanto, uma melhor e mais apropriada compreensão da relação do mundo nanométrico e seu aspecto científico se torna possível a partir de prévias definições dos termos “Ciência” e “Nanociência”. Durante a história científica, diversos autores atribuíram significados e explicações com o propósito de configurar um conceito para a abrangente e complexa Ciência. Seleccionamos o conceito de Balzani (2005) para a Ciência, por se tratar de uma definição clara e sintética.

Balzani (2005) define a Ciência como uma atividade humana, destinada a conhecer as leis da natureza e usar tais conhecimentos para mudar o mundo. Segundo o autor, essa definição se baseia no fato de que a Ciência atua e se desenvolve ao longo de duas direções; conhecimento/descoberta e invenção. Isso significa que a Ciência visa conhecer o que já existe, mas ainda é desconhecido (por exemplo; como a luz solar é convertida em energia pelas plantas verdes — processo de fotossíntese natural). Por outro lado, a Ciência tem em vista inventar o que ainda não existe (por exemplo; a forma como a molécula de água pode ser dividida em hidrogênio e oxigênio pela luz solar — processo de fotossíntese artificial).

Com esse exemplo de definição para o termo Ciência, podemos prosseguir para o entendimento do termo “NanoCiência”. De acordo com Balzani (2005), o prefixo “nano” é utilizado em frente de uma unidade macroscópica para alterar seu valor em ordens de magnitude. “Nano” significa um bilionésimo ou 10^{-9} e assim, um nanômetro é um bilionésimo de um metro.

Para Uribe e Rodriguez-López (2007), “nano” é um prefixo grego que significa “anão” e quando usado em termos e conceitos configura uma ampla gama

de fenômenos e materiais com dimensões de um milímetro (1×10^{-9}). Ao nos referirmos a objetos dessa magnitude nanométrica só podemos nos referir a átomos e moléculas, um universo minúsculo cujas leis precisam ser compreendidas e explicadas. É aí em que atua a Nanociência, que pode ser definida como o estudo dos fenômenos e manipulação de materiais em escala nanométrica

Imagine que fascinante a possibilidade de construir objetos, átomo por átomo, molécula por molécula, como a própria natureza. A pesquisa em ciência de matérias nanoestruturadas, ou as nanotecnologias, é uma área de pesquisa bastante vasta e ativa que abrange as ciências básicas e aplicadas com alto grau de competência acadêmica e tecnológica (Uribe; Rodriguez-López, 2007).

Abrangido os conceitos de Ciência e Nanociência acima, vale considerar que o principal aspecto científico da Nanociência está justamente no seu papel de conhecer, compreender, explicar as leis de um universo minúsculo e possibilitar sua manipulação, acendendo a área da Nanotecnologia.

4.2.2 Aspecto Tecnológico

Do mesmo modo que a Nanociência traz a terminologia Ciência, a Nanotecnologia apresenta a terminologia Tecnologia. Assim sendo, a partir de definições de Tecnologia e Nanotecnologia podemos compreender a relação da Nanotecnologia e seu aspecto tecnológico.

Balzani (2005) comenta que a Tecnologia possui um significado bem diferente de uma aparentemente semelhante palavra, técnica. A técnica é o método de fazer ou realizar, com habilidade adquirida por experiência, algo já estabelecido. Já a Tecnologia pode ser definida como a capacidade de valer-se do progresso da ciência para gerar oportunidades para aplicações práticas.

Conhecido o prefixo “nano”, se torna mais simples compreender a Nanotecnologia, termo que abrange uma ampla gama de ferramentas, técnicas e aplicações potenciais das quais alguns cientistas denominam de nanotecnologias compostas por áreas da química, física, biologia, medicina e engenharia, dentre outras. Sendo assim, a Nanotecnologia é o projeto, caracterização e aplicação de estruturas, dispositivos e sistemas complexos por meio do controle de forma, tamanho e propriedades da matéria na escala nanométrica (Uribe; Rodriguez-López, 2007).

No início da Ciência, a grande parte dos cientistas foi empenhada em

conhecer/descobrir a Natureza. A Ciência se tornou o meio mais poderoso da humanidade para entender os princípios de funcionamento do mundo material e suas mudanças. A partir disso, os cientistas se mobilizam cada vez mais da descoberta à invenção, de modo que já na década de 2000, podemos dizer que a maioria dos trabalhos publicados pela revista *Small* (fórum para estudos experimentais e teóricos de pesquisa interdisciplinar fundamental e aplicada em Micro e Nano dimensões — Alemanha) se referem a invenções (Balzani, 2005).

O principal aspecto tecnológico da Nanotecnologia pertence à possibilidade de inovações de materiais com propriedades únicas e utilidades antes jamais alcançadas em diversas áreas, algumas citadas acima, sendo já considerada uma nova revolução tecnológica. Diante do exposto, é possível perceber que a Nanociência e a Nanotecnologia são complementares, pois como argumentam Antunes Filho e Backx (2019), a Nanotecnologia utiliza a Nanociência para criação ou aprimoramento de materiais funcionais, dispositivos e sistemas através do controle da matéria na escala atômica e molecular. E, portanto, ambas exercem influências sociais, como descrito no item a seguir.

4.2.3 Aspecto Social

A história da sociedade nos mostra que grandes revoluções tecnológicas, como foi o caso da revolução industrial do século XVIII, posteriormente as revoluções com base no Transistor de Estado Sólido e nos Semicondutores do século XX, mudaram drasticamente a vida do ser humano em todos os seus aspectos. Essas revoluções nos deixaram como lição a ideia de que rápidas transformações científicas e tecnológicas exigem outros paradigmas para educar as novas gerações de estudantes, cientistas e líderes da academia e da indústria (Uribe; Rodriguez-López, 2007).

A Ciência e a Tecnologia desempenham papel fundamental na capacidade das nações de descobrir e inovar e se desenvolverem social e economicamente. Por meio da evolução, em particular, da instrumentação são possíveis a visualização e a manipulação de objetos na escala atômico-molecular e nanométrica, revelando fronteiras dessa dimensão (Araki *et al.*, 2014).

A Nanociência e a Nanotecnologia são áreas de conhecimentos relativamente recentes definidas na escala de comprimento onde cientistas e

engenheiros de diferentes campos evidenciam fascinantes fenômenos e aplicações em física, química, biologia molecular, medicina, meio ambiente, indústrias químicas, farmacêuticas e outras (Uribe; Rodriguez-López, 2007). Dentre as várias áreas de abrangência de utilidades da Nanotecnologia é possível destacar a nanoeletrônica, a bionanotecnologia, a nanomedicina, entre outras, cujas aplicações se estendem desde sistemas de nanoencapsulamento de fármacos até a síntese de materiais biodegradáveis, antichamas e antimicrobianos (Antunes Filho; Backx, 2019).

Nas áreas de desenvolvimento econômico e sustentabilidade dos países, a Nanotecnologia tem se tornado cada vez mais presente. São aplicações identificáveis tanto em setores globais importantes quanto com problemas salientes do contexto brasileiro. Dentre os benefícios promissores do uso da Nanotecnologia na agricultura, é possível destacar o incremento da produtividade, o tratamento de água e remediação ambiental, o processamento e armazenamento de alimentos, poluição do ar e remediação, vetores, detecção e controle de pragas, fertilidade do solo, qualidade de sementes, dentre outros. Os sistemas de tratamentos de água podem contar com sistemas de nano membranas e as nano argilas ou mesmo os nanotubos de carbono, capazes de eliminar toxinas e dessalinizar a água, com eficiência superior aos filtros convencionais (Alves, 2005).

É possível observar que o maior impacto da Nanotecnologia na sociedade ocorre, atualmente, principalmente no contexto da nanoeletrônica com relação às tecnologias móveis como os smartphones, notebooks, tablets, dentre outras, que ocasionaram diversas transformações socioculturais na civilização em suas últimas décadas. Dentre essas transformações se inclui as rápidas mudanças nas gerações após a globalização, com o avanço científico tecnológico e seu fácil acesso, dado o surgimento da geração do novo milênio (Antunes Filho; Backx, 2019).

O termo Nanotecnociência é utilizado pelos autores Pyrrho e Schramm (2016) em uma obra que apresenta discussões referentes às implicações éticas da área frente à humanidade. Segundo os autores, o esforço pelo incremento da qualidade de vida humana, papel do mais recente capítulo da jornada científica, a Nanotecnologia, se estabelece um paradoxo indissociável do desenvolvimento tecnocientífico atual:

o ser humano, ao buscar desenvolver sua máxima potencialidade enquanto sujeito, ou seja, o controle biotecnológico de seu destino do nascimento à morte, tem como resultante a mais plena disponibilização do humano, do seu

corpo e de sua identidade (Pyrrho; Schramm, 2016, p.1).

Como ressaltado por Antunes Filho e Backx (2019), os valores e os impactos sociais, devem ser analisados pelo viés da saúde e do meio ambiente. Concernente a revolução nanotecnológica em sinergia com as ciências da computação, por exemplo, já há bastante impacto na necessidade de percepção de efeitos imediatos na vida de indivíduos com a comunicação continuada pelas redes sociais e smartphones, juntamente com as alterações nas dinâmicas de trabalho e valores do mercado. Diante dessa reflexão, vale o questionamento: “Será que há uma maneira da humanidade desenvolver-se tecnologicamente e, ao mesmo tempo, preservar a saúde humana, animal e do meio ambiente com constantes mudanças em sua cultura civilizacional?” (Antunes Filho; Backx, 2019, p.9).

Por fim, vale ressaltar o aspecto sociológico da Ciência por Rosenthal (1989), com os estudos da sociologia da comunidade científica a respeito da Ciência e Tecnologia e suas implicações sociais, a influência da sociedade sobre o progresso científico e tecnológico e possibilidades e limitações do uso da Ciência e Tecnologia para resolver problemas sociais. Para Rosenthal (1989), há duas principais maneiras de abordar a educação CTS, uma por meio de questões sociais e a outra por meio dos aspectos sociais da Ciência.

4.2.4 Aspecto Ambiental

Embora a capacidade de manipular as propriedades dos materiais em nanoescala e de sua incorporação em produtos de consumo em larga escala seja relativamente nova, os nanomateriais sempre estiveram presentes em nosso ambiente (Baalousha *et al.*, 2014). A origem de nanopartículas no ambiente pode ser causada por fontes naturais e/ou antrópicas. O sal marinho e a poeira vulcânica são exemplos de fonte natural, assim como as moléculas de magnetita biogênica e de proteína ferritina, de aproximadamente 12 nm, encontradas no interior de organismos primitivos. Ao passo que as fontes antrópicas das nanopartículas estão relacionadas aos processos industriais ou mesmo ao material particulado gerado pela queima de combustíveis fósseis (Paschoalino; Marcone; Jardim, 2010).

Com a revolução científica da Nanociência e sua grande aplicação tecnológica e uso extensivo, é provável que nanomateriais sejam liberados no

ambiente durante a fabricação, transporte ou no final da vida útil dos produtos habilitados para nano, resultando em maior exposição de nanopartículas no meio ambiente, causa de preocupações ambientais e de saúde humana (Baalousha *et al.*, 2014).

Segundo Disnes e Cestari (2016), quando se trata da avaliação toxicológica, o intervalo entre 1 e 100 nanômetros de tamanho das partículas pode variar. Baalousha *et al.* (2014) dizem ser compreendido que alguns nanomateriais podem ser perigosos e nem sempre os riscos são conhecidos devido à falta de informações quanto a exposição, biodisponibilidade e toxicidade. Conforme Disnes e Cestari (2016), fato é que a consequente produção de resíduos de nanomateriais têm levado produtos químicos para o meio ambiente, causando prováveis contaminações.

Referente às aplicações médicas da nanotecnologia, Baalousha *et al.* (2014), mencionam que alguns cientistas salientaram sua preocupação com os efeitos a longo prazo e se os materiais nanoestruturados seriam biodegradáveis. Apesar dos grandes benefícios oferecidos para a vida humana gerados pela Nanotecnologia, é necessário rever os possíveis efeitos negativos à saúde e ao meio ambiente causados pelas exploradas propriedades especiais dos dispositivos nanométricos, como alta reatividade de superfície, capacidade de atravessar membranas celulares, dentre outras.

O campo de nanotoxicologia surgiu para analisar a potencialidade tóxica das nanopartículas, com base em estudos em partículas ultrafinas e patologias pulmonares por aspiração de fibras, cujos resultados apontam teorias e princípios relacionados a toxicidade desses novos materiais (Pyrrho; Schramm, 2016). Assim, a nanotoxicologia pode abordar as novas ameaças potenciais que o uso generalizado de nanopartículas possa trazer a saúde e ambiente, em apoio ao crescimento de uma indústria de nanotecnologia segura e sustentável (Donaldson *et al.*, 2004).

A partir dessas importantes reflexões e devido ao grande número de produtos químicos tóxicos na produção físico-química dessas nanopartículas, os métodos verdes de produção empregam o uso de fontes biológicas na síntese de nanomateriais, evitando qualquer toxicidade associada, denominada assim de nanotecnologia verde (Sajadi *et al.*, 2019). A nanotecnologia verde, também, pode operar em concordância com os 12 princípios da química verde, em que um dentre eles é o de estabelecer o uso da menor quantidade de átomos possíveis para a síntese de dispositivos e realização de processos químicos (Antunes Filho; Backx, 2019).

4.2.5 Alguns aspectos da N&N na perspectiva CTS no Ensino

Investigações recentes e outras nem tão recentes tem sido desenvolvidas com o intuito de utilizar a Nanociência e a Nanotecnologia (N&N) como mediadoras da abordagem CTS no ensino de Ciências da Natureza, o caso de Batista *et al.*, (2010), outras direcionadas ao Ensino de Física, como Faria Junior e Strieder (2019), Poulis, Custódio e Guerini (2022), ao ensino de Química como, Rebello *et al.*, (2012), que, inclusive, foi o único trabalho da área, na versão de 2010, apontado nas investigações de “estado da arte” de Locatelli, Zoch e Amaral (2015). Observa-se, então, que a área de ensino de química ainda não foi tão explorada a respeito da abordagem da N&N numa perspectiva CTS, em comparação ao ensino de Física, por exemplo.

Sabemos que as áreas da N&N são campos em pleno desenvolvimento, envoltos em expectativas promissoras, em múltiplos aspectos do mundo contemporâneo (Batista *et al.*, 2010). A investigação científica no século XXI, o modo de pensar do ser humano, a posição do observador e os processos de investigação, vêm sendo inovados pelas apresentações dos instrumentos utilizados na transposição de conhecimento da N&N, proporcionando uma visualização da conjuntura desenvolvida em torno do ensino do tema (Poulis; Custódio; Guerini, 2022).

Nesse sentido, há um aumento da responsabilidade científica e das instituições de ensino para reunir esforços na divulgação de informações corretas acerca das Nanotecnologias. Pois, os reflexos do nano conhecimento nas existências das pessoas, das coletividades, das civilizações e da biosfera são de difícil mensuração agora (Batista *et al.*, 2010). Faria Junior e Strieder (2019) enfatizam a necessidade de estendermos nossos olhares para a relação CTS para promovermos uma participação pública no assunto. Assim, a CTS poderá potencializar a abordagem do tema N&N, viabilizar a Alfabetização Científica, a contextualização social da Ciência e o pensamento crítico, os pressupostos necessários para a conscientização e participação pública acerca das aplicações, o desenvolvimento, os riscos, os impactos, as incertezas e as políticas públicas envolvidas na N&N.

Muito mais do que um domínio tecnocientífico, a condução de pesquisas envolvendo N&N precisa ser ampliada ao questionamento da sociedade civil, de questão ético-política. Nesse contexto, o enfoque de CTS/A poderá criar espaços democráticos para o debate em sala de aula, convergindo para a formação

de cidadãos mais responsáveis com o próximo, com a sociedade e com o meio ambiente. Desse modo, interdisciplinarmente e envolvendo as Ciências da Natureza de forma articulada às Ciências Humanas e Sociais, esse enfoque pode ser inserido articulado com o domínio da N&N (Batista *et al.*, 2010).

Para finalizar, acreditamos que, assim como defende Rodrigues (2019), a abordagem do tema de N&N na perspectiva CTS pode contribuir para desmistificar a neutralidade da Ciência e da Tecnologia, permitindo envolver aspectos históricos, políticos, econômicos e éticos associados aos avanços científicos tecnológicos.

4.2.6 N&N na Formação Docente

Segundo Silva e Lopes (2015), é de grande relevância as discussões de N&N no Ensino de Ciências, pelo fato de ser uma área tecnológica que integra diversos conceitos de Biologia, Física e Química, além de aspectos referentes a questões éticas, políticas e econômicas. Entretanto, apesar da relevância, há poucos trabalhos que discutem o tema voltados para a Formação de Professores. Diante disto, os referidos autores investigaram as relações constituídas em N&N por professores em exercício no Ensino de Ciências. A metodologia utilizou questionário e análise de conteúdo para as respostas (Silva; Lopes, 2015).

Os resultados permitiram entender que as professoras participantes apresentam consciência da importância da discussão de novas tecnologias e do tema N&N no Ensino Médio, baseadas em argumentos utilitário e cultural. Entretanto, quanto ao questionamento feito a respeito das relações entre tema e conceitos científicos, a maioria das professoras elaborou respostas que fugiam ao objetivo da pergunta. Diante dos dados obtidos, fica evidente a necessidade de espaços de discussão na formação docente, que ampliem a compreensão da N&N e das práticas interdisciplinares, em diferentes dimensões, como as questões econômicas e éticas (Silva; Lopes, 2015).

Ponderando os resultados da análise acima e na continuidade das investigações na área de formação de professores, os autores Silva e Lopes (2017) elaboraram mais um trabalho voltado para a apresentação de reflexões de um processo de formação continuada de professores envolvendo a N&N. A base de dados da metodologia contou com questionário, análise de conteúdo e gravação dos

encontros durante o processo formativo, realizado com professores de Ciências.

O processo formativo elaborado e implementado proporcionou a construção de conceitos específicos da N&N, a discussão referente às pesquisas nesta área e a elaboração de sequências didáticas pelos professores participantes. Observou-se que ao final das atividades vários professores manifestaram-se favoráveis quanto a importância da implementação de práticas interdisciplinares nas aulas e mais flexíveis em relação ao forte apelo disciplinar, revelado inicialmente (Silva; Lopes, 2017).

Alguns dos trabalhos citados na sequência se fundamentam nos saberes docentes. Conceituar saberes não é um processo tão simples. Vários autores(as) como: Tardif (2014), Gauthier *et al.* (1998), Perrenoud (1993), Pimenta (2000), Cunha (2003), Oliveira (2002), etc., se dedicam à elaboração teórica dos saberes, oferecendo significativa contribuição para esse campo de estudos (Pinto, 2010). Pela classificação de Tardif, os saberes dos professores são pessoais, provenientes da formação escolar anterior, da formação profissional para o magistério, dos programas e livros didáticos usados no trabalho e provenientes de sua própria experiência na profissão. Além disso, o autor considera as fontes sociais de aquisição desses saberes e os modos de integração no trabalho docente (Pinto, 2010).

Diante do referencial citado, Silva e Lopes (2019) oferecem continuidade nas investigações no campo de Formação de Professores. Fundamentados em Tardif (2014), o próximo artigo teve em vista analisar os saberes docentes mobilizados por professores na elaboração de propostas de ensino referentes a N&N. Foram analisadas propostas de ensino construídas por professoras da área de Ciências da Natureza que participaram do curso de formação continuada — apresentado no artigo Silva e Lopes, (2017) — Foi possível evidenciar a manifestação dos quatro saberes docentes nas propostas, com ênfase para os saberes disciplinar e curricular, sendo que o saber da experiência surge timidamente. Quanto aos saberes de formação profissional, observou-se a necessidade de mais articulação das ações que estimulem a construção e reconstrução deles quanto ao tema N&N (Silva; Lopes, 2019).

De modo geral, os resultados da investigação sugerem um campo fértil para a continuidade da pesquisa voltada ao desenvolvimento de conhecimentos profissionais de professores a respeito da N&N, juntamente com as iniciativas em ações de formação acadêmico-profissional e continuada de professores com foco em

N&N. Diante disto, é relevante o investimento em ações voltadas para a construção e articulação dos diversos saberes docentes, de modo que as abordagens da N&N sejam incorporadas criticamente pelos professores em suas aulas (Silva; Lopes, 2019).

Em contribuição com as investigações acerca dos conhecimentos dos professores referentes a N&N, a pesquisa sistematizada de Tomkelski (2017) visou evidenciar as perspectivas de inserção de tópicos N&N destacadas por professores das áreas de Matemática e Ciências da Natureza do Ensino Médio e Superior. O trabalho considerou uma análise de documentos legais nacionais que contemplam a temática, como a Lei de Diretrizes e Base, Diretrizes Curriculares Nacionais, Parâmetros Curriculares Nacionais, Orientações Educacionais, Resoluções e Pareceres.

A partir da análise dos resultados de questionário semiestruturado, direcionados aos professores, observou-se três principais perspectivas associadas a inserção dos tópicos de N&N nas práticas docentes. A primeira delas foi a abordagem de fundamentação teórica por meio das diretrizes curriculares para desenvolver um conteúdo, em que o professor recorre para planejar as atividades de sala de aula. Uma segunda perspectiva versa o procedimento integrado a um conteúdo curricular a partir do qual o professor apoia-se em recursos diversos e fontes de informação para desenvolver os conteúdos em sala de aula, e a terceira perspectiva se refere a suplementação das atividades em sala de aula mediante atividades extraclasse (Tomkelski, 2017). O autor finaliza oferecendo algumas proposições e estratégias de possível implementação pelas Universidades para promover condições favoráveis na formação inicial e continuada de professores orientadas as necessidades da Educação Básica e Superior no Brasil.

Tendo em conta à relevância da introdução de tópicos de N&N nos currículos de ciências escolares para a compreensão dos processos e natureza da ciência e tecnologia, na Grécia, Stavrou, Michailidi e Sgouros (2018) desenvolveram uma Sequência de Ensino-Aprendizagem (SEA) baseada em investigação de tópicos de N&N contextualizados a questões ambientais de aprendizagem fora da escola. O estudo examinou a disseminação da SEA desenvolvida na formação de novos professores. Para a elaboração da SEA foi criada a “Comunidade de Aprendizes” composta por professores, pesquisadores de ciências e especialistas em museus de ciências (Stavrou; Michailidi; Sgouros, 2018).

A sequência didática foi fundamentada no Modelo de Reconstrução Educacional conforme Duit *et al.* (2012). Assim, a “Comunidade de Aprendiz” ofereceu o ambiente para os professores puderem reconstruir os tópicos de ciências seguindo metodologias baseadas em pesquisas. As interações entre professores, pesquisadores de educação científica e a SEA contribuíram para a clarificação dos conteúdos científicos e do material didático. Houve a interação estudante-especialista dentro e fora do contexto escolar e a utilização de artigos de jornal para a elaboração das atividades em sala de aula, com o intuito de auxiliar na compreensão dos seus estudantes. Em geral, os resultados revelaram que os professores conseguiram reconstruir vários elementos da SEA, incluindo atividades mais ricas em experiências contextuais, com base nas influências de seus mentores, especialistas e pesquisadores das ciências (Stavrou; Michailidi; Sgouros, 2018).

Fundamentado nos princípios teóricos dos Saberes Docentes de Tardif (2014) e na Interdisciplinaridade de Lenoir (2013), Silva (2019) investigou as contribuições de um processo de formação continuada para professores com foco na formação para atuação interdisciplinar, a partir da N&N. Após o curso, buscou-se compreender como os professores participantes desenvolveram uma prática interdisciplinar articulada aos conceitos relacionados à N&N e como abordam o assunto na Educação Básica.

A metodologia da pesquisa de Silva (2019) obteve dois grupos de dados (de professores e de estudantes) que foram construídos a partir de gravações em áudio e vídeo dos encontros e dos materiais produzidos por estudantes dos professores participantes do curso e de formação continuada. O curso de formação para professores das Ciências da Natureza, o qual um dos objetivos consistiu no desenvolvimento dos Saberes Docentes, abordou as concepções da N&N e suas relações com o ensino e as implicações de abordagens interdisciplinares para a atuação profissional e para a formação dos estudantes.

Silva (2019) observou que o interesse dos professores pela participação da formação continuada foi motivado pelo desconhecimento da área da N&N. O processo de formação continuada colaborou para o desenvolvimento de diferentes saberes pelos participantes e permitiu seu contato com um ambiente interdisciplinar, com áreas diversas da formação acadêmica e profissional. Outra contribuição do processo de formação se refere a própria autoavaliação das práticas docentes que foi oportunizada aos professores participantes, além do estímulo a

elaboração de propostas de ensino relacionadas a N&N, que podem ter contribuído para desencadear um processo de apropriação de conceitos e da transposição didática.

Em concordância com os trabalhos já citados, Ipek *et al.* (2020) desenvolveram uma investigação para determinar a conscientização, exposição e níveis de conhecimento de professores de Ciências da Natureza acerca de N&N. Os estudos foram fundamentados na subescala de conhecimento elaborado por Dyehouse *et al.* (2008), conhecida como “*Nanotechnology Awareness Instrument*”. Os resultados da subescala mostraram diferenças não significativas entre os níveis de conscientização, exposição e conhecimento de professores quanto a especialização da disciplina e níveis educacionais (Ipek *et al.*, 2020).

As poucas diferenças significativas encontradas se referem a gênero, tempo de serviço, participação em curso de capacitação em serviço, série de estudo, tipo de escola e localização, acompanhamento de publicações científicas e frequência de exibição de documentários. O estudo mostrou um nível “neutro” de consciência, exposição e conhecimento dos professores quando a N&N e, portanto, reforça-se a necessidade de formação continuada de professores de Ciências da Natureza voltada a N&N para proporcionar o aumento do seu nível de conscientização e conhecimento e a garantia da sua preparação para o ensino do tema (Ipek *et al.*, 2020).

Os resultados das publicações evidenciam conscientizar professores acerca da relevância da abordagem da N&N e a interação interdisciplinar das áreas de conhecimento das Ciências da Natureza. Entretanto, de modo geral, ainda falta aos professores melhor compreensão da N&N e capacitação em metodologias específicas para trabalhar o tema. Os investigadores concordam quanto à necessidade de investimento em ações voltadas à formação inicial e continuada de professores que permitam a construção dos Saberes Docentes de Tardif (2014) e o preparo exigido para a abordagem da N&N no ensino de Ciências.

5 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS ESPECÍFICOS: organização da Composição Textual HFCTS destinada à evolução do Perfil Conceitual de Substância Química.

Apresentamos, neste capítulo, alguns pressupostos teóricos específicos para a formação do conceito de substância que compreende, algumas pressuposições da HFCTS e da N&N na formação de conceitos científicos, especificamente de substância química, destacando os principais autores e obras referenciais para a elaboração de uma “composição textual” (termo de Batista, 2016). Por final, elaboramos uma organização, em mapa, da proposta.

Um dos maiores desafios do Ensino de Ciências é possibilitar que estudantes vivenciem a construção do conhecimento científico, desmistificando a ideia do trabalho científico isolado, cujos lampejos de genialidade produzem o conhecimento. Nesse contexto, a análise problematizada de episódios da História da Ciência pode ser uma estratégia didática para a superação de visões descontextualizadas da Ciência (Prado; Carneiro, 2018).

Diante da riqueza de obras e artigos científicos relacionados à História e Epistemologia da Ciência e da Química, nesta pesquisa, escolhemos um enfoque, numa perspectiva de abordagem do conceito de substância e seus relacionados, em detrimento de outros, sem que a contextualização geral da história se perca. Almejamos proporcionar uma ressignificação histórica do conceito de substância química à luz da epistemologia bachelardiana e de demais autores correlatos, incluindo as contribuições dos aspectos CTS da N&N, para favorecer uma evolução do perfil conceitual.

Vale observar que o texto completo pode ser considerado longo, porém se trata de uma proposta direcionada à Formação de Professores, ou seja, para graduação ou capacitação continuada. Sendo assim, para o uso no Ensino Médio, esse texto precisa ser adaptado, conforme as situações de aprendizagem específicas.

5.1 PRESSUPOSTOS DA HFC NA FORMAÇÃO DO CONCEITO DE SUBSTÂNCIA

Uma compreensão mais rica do conceito de substância é elaborada ao se perpassar pelo estudo da História da Química e da Filosofia da Química que

permitem uma noção da Natureza da Ciência e, conseqüentemente, dos conceitos científicos. Por meio da Filosofia da Química, obtemos o conhecimento da epistemologia do conhecimento científico, suas construções, rupturas e polissemia.

5.1.1 Substância na História da Química

Ao considerar a centralidade e importância do conceito de Substância Química para a Ciência e para o Ensino de Química, é indispensável o conhecimento da concepção histórica desse conceito e suas modificações desde a antiguidade grega até o conceito atual vigente. O percurso percorrido na história e no tempo entre a substância até a substância química perpassa por múltiplos locais, personagens, obras e concepções (Ferreira; Lambach, 2021).

O autor Silva (2017) apresenta em seu livro, intitulado “Substância Química: a história de um devir”, o desenvolvimento desse conceito polissêmico da Química, em que destaca a pluralidade de modos de pensar o conceito em diferentes contextos históricos. Segundo o autor, é possível observar a emergência desses estilos de pensamentos em diferentes contextos. Para um entendimento da pluralidade de modos de pensar o conceito de substância que surgem em uma sala de aula, é significativo conhecer o desenvolvimento desse conceito, essencial da Química, em eventos ocorridos da História da Química.

Numa visão internalista da História da Ciência, há uma História conceitual da Química específica para químicos, ou seja, que apenas químicos entendem. Por outro lado, a visão mais externalista valoriza, excessivamente, aspectos filosóficos, históricos e sociais relacionados ao desenvolvimento da Química e desconsidera muitos aspectos conceituais químicos (Maar, 2019). Nesse sentido, como fazem muitos historiadores, Maar (2019) elabora uma História da Química intermediária entre as visões internalistas e externalistas da Ciência, mostrando a evolução da Química no contexto externo, tornando o texto interessante tanto para químicos (por historiar fatos e teorias químicas), quanto para não químicos (por mostrar a Química integrando um universo amplo).

Seguindo sugestões de Chassot (2014), optamos por elaborar um texto histórico não exclusivamente europeu. Para composição textual referente a História da Química selecionamos recortes de obras de Juergen Heinrich Maar (2019, 2011), como principal referência, além de contribuições de demais autores da área da

História da Ciência e da História da Química. Quanto ao conceito de substância, recortes da obra de João Roberto Ratis Silva (2011, 2017) fundamentaram parte do corpo do texto, por ser o principal autor do Perfil Conceitual de Substância Química, também com demais autores da área como Eduardo Fleury Mortimer (1992, 1994, 1995, 1996, 1997, etc.), autor da Teoria da Evolução de Perfil Conceitual.

5.1.2 Substância na Filosofia da Química

Por meio de um olhar histórico-epistemológico, e segundo os argumentos de Tavares (2009), as reflexões epistemológicas na formação inicial e continuada, em paralelo com as reestruturações de materiais didáticos, possibilitará melhor compreensão da Ciência à luz da construção dos conceitos químicos, se afastando das possíveis deformações conceituais. Nesse sentido, o conceito de substância química alcança um campo mais rico e completo de percepção, apresentando a Química como um corpo de conhecimento dinâmico, cujas bases conceituais foram reestruturadas ao longo dos anos.

O aspecto epistemológico do texto está fundamentado em Gaston Bachelard, como a principal referência. Como descrito por Benjamin (2009), Bachelard dispensa apresentações, é o grande precursor da epistemologia contemporânea. “O pluralismo coerente da química moderna”, segundo Bachelard, não se trata exatamente de uma História da Química, mas de um ensaio de Filosofia da Química, na qual a Química se desenvolve oscilando entre o pluralismo e a redução da pluralidade, multiplicando substâncias e sempre buscando um princípio de coerência entre elas.

Diversas obras de Bachelard são ricas para a compreensão do conceito de substância. Iremos nos fundamentar, mais especificamente, em “Filosofia do Novo Espírito Científico” (1976), cujas discussões de substância são bem abrangentes, e em outras obras de Bachelard, além da já citada obra “O pluralismo coerente da química moderna” (2009), e de outros autores relacionados.

Antes de nos concentrarmos na noção de Perfil Epistemológico de Bachelard como embasamento para teoria do Perfil Conceitual proposto por Mortimer, cabe observar que Mortimer (2011), em seus eixos de pesquisas, encontrou contribuições de diversos autores para composição da sua teoria. Como suporte teórico em relação ao eixo cognitivo, o autor utilizou a teoria piagetiana da equilibração

(Piaget, 1977) e generalização (Piaget, 1984). Quanto as teorias da mudança conceitual, se fundamentou em Hewson (1981), Posner *et al.* (1982) e demais autores que analisaram processos de evolução conceitual na História da Ciência como Popper, Kuhn, Lakatos, Laudan, Bunge, etc.

Cabe ressaltar também que, para a construção do Perfil Conceitual de Substância, o autor Silva (2011) se fundamentou, além da epistemologia de Bachelard, em ideias de outros autores como: Lakoff (1987), quanto à visão essencialista na metafísica objetiva; Chi (1992), quanto à natureza ontológica para categorização de conceitos, e no Pragmatismo de Willian James.

5.1.2.1 Do Perfil Epistemológico ao Perfil Conceitual de Substância

No tópico referente a epistemologia de Bachelard, apresentamos uma breve citação da teoria do Perfil Conceitual, proposta por Mortimer (1992, 2011), fundamentada no perfil epistemológico de Bachelard. No presente subitem aprofundaremos a teorização para compreender a origem do Perfil Conceitual de Substância química, proposto por Silva (2011) e Silva e Amaral (2013).

A partir do paradigma construtivista e o reconhecimento da importância do conhecimento prévio do aprendiz antes de ser introduzido ao conteúdo científico, surgiu, em destaque, o Modelo de Mudança de Perfil Conceitual por Eduardo Mortimer. O modelo visa modelar a heterogeneidade de pensamentos nas aulas de Ciências. Há o entendimento de que a construção de um conceito é um processo que emerge a partir de interações entre o indivíduo e experiências externas, gerando, assim, uma diversidade de conceituações. Seguindo o modelo de perfil epistemológico proposto por Bachelard (1990 *apud* Vairo; Rezende Filho, 2013) com relação às concepções da realidade, essas conceituações podem ser dispostas em um espectro crescente de complexidade, semelhante aos caminhos da construção do conhecimento ao longo da história.

Bachelard descreve a noção de perfil epistemológico como um pluralismo filosófico de ideias científicas coexistentes para um mesmo conceito (Lôbo, 2008). Em outras palavras, o papel dos perfis epistemológicos é processar que, de fato, a metafísica, a filosofia, deixam suas marcas nos conceitos científicos, que apesar de ser uma filosofia única, existem sempre algumas filosofias na constituição desse conceito. Os perfis, também, vêm mostrar que há um claro sentido quando a

razão perpassa na elaboração dos conceitos científicos, ou seja, há uma maior racionalidade que torna o conhecimento científico destacado do conhecimento comum (Mata, 2015).

De acordo com Bachelard, é possível que cada indivíduo elabore seu perfil epistemológico para cada conceito científico, ou seja, em cada indivíduo, o perfil epistemológico se difere. É influenciado pelas diferentes experiências e raízes culturais de cada pessoa. Para o filósofo, é necessário descrever o conceito em relação a cada um dos cortes desse perfil, para poder chegar a sua amplitude e evolução na história da ciência. À medida que se percorre um perfil epistemológico de um determinado conceito, este vai se tornando mais complexo e racional, ao longo do perfil (Mortimer, 2011).

Como exemplificação, Bachelard (1976) elabora o seu próprio perfil epistemológico da noção de massa e posteriormente, da noção pessoal de energia. Quanto à noção de massa, Bachelard apresenta as influências do realismo ingênuo, do empirismo positivista, do racionalismo clássico, do racionalismo completo, e do racionalismo discursivo, disposto em colunas que representam zonas de cada perfil. A altura da coluna corresponde a extensão dessa visão filosófica, ou influência dessa visão na composição da noção desse conceito. O Quadro 2 mostra essa exemplificação.

Mortimer (2011) argumenta que o seu próprio perfil em relação ao conceito de massa seria diferente da concepção de Bachelard, devido a sua formação como químico e experiências de trabalhos em laboratórios químicos, usando balanças, por exemplo, sua zona mais acentuada seria a empirista, e não a racionalista clássica como a de Bachelard, cuja experiência como físico e filósofo profissional lhe permite uma zona racional bastante pronunciada.

Segundo a investigação de Mortimer (1997), além de Bachelard, diferentes autores compartilham a ideia básica da noção do perfil conceitual, de como pessoas veem e representam o mundo, como, por exemplo; Schutz (1932) e a estrutura multiforme do mundo social e experiências subjetivas dos outros; Berger e Luckmann (1967) e as diferentes formas de conhecimento correspondentes a diferentes realidades e contextos sociais; Durkheim (1990) e as características supraindividuais sociais nas representações coletivas, que segundo Kozulin (1990), serviram de inspiração para Vygotsky na ideia de dimensão social dos processos mentais humanos; Marton (1981) e o enfoque fenomenográfico, com as categorias de

descrição generalizáveis e estáveis em diferentes situações, que denotam um tipo de intelecto coletivo.

A noção de Perfil Conceitual de Mortimer (1995) compartilha com o perfil epistemológico de Bachelard a ideia de que uma única forma de pensamento não é suficiente para atender a um único conceito. Entretanto, Mortimer considera que cada zona de um perfil conceitual apresenta, ao lado de suas características epistemológicas, seus componentes ontológicos.

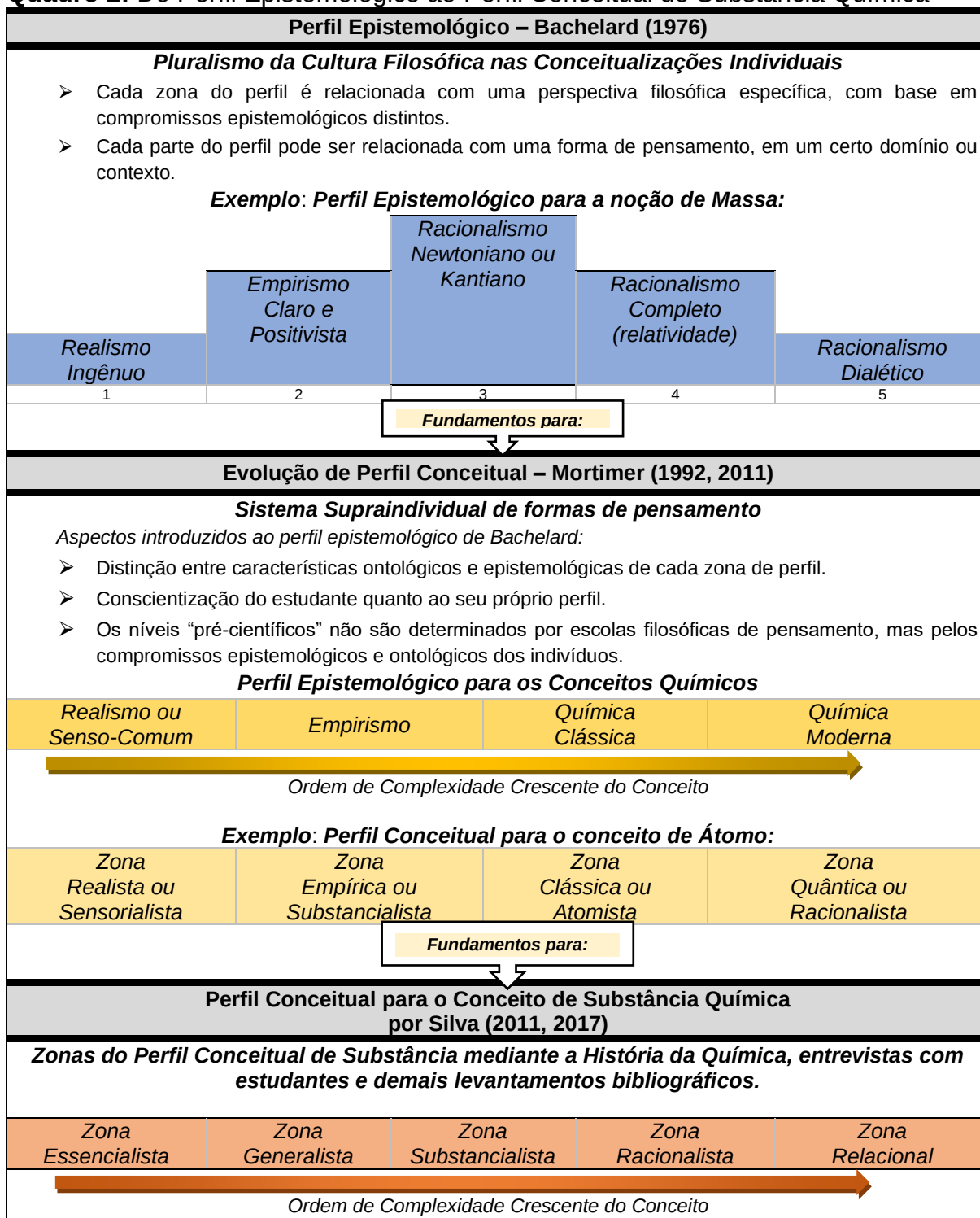
Com a intenção de construir um modelo para descrever a evolução de ideias, Mortimer (1996) utiliza a noção do perfil conceitual no lugar de perfil epistemológico. Segundo Mortimer (1992), a aplicação desse perfil aos conceitos químicos permite, ao estudante, ter a percepção da evolução dos conceitos e a construção do conhecimento científico, entender como as noções que antes eram simples na química clássica se tornaram complexas na química moderna, inclusive com as rupturas que surgiram no decorrer da história. A partir disso, é possível desmistificar a Química como ciência estática, com leis imutáveis, ou seja, a Química positivista.

As rupturas entre um perfil epistemológico e outro também devem ser exploradas. Tomamos como exemplo a noção do átomo como unidade básica de construção da matéria, a teoria atômico-molecular clássica e o advento dos modelos atômicos da mecânica ondulatória. Um sólido bloco de construção da matéria se revela como um padrão difuso, constituído por partículas, simultaneamente com características de onda estados probabilísticos. Essas rupturas, também, acontecem entre uma visão realista do mundo e a visão clássica da teoria atômica, pois, ao mesmo tempo, em que a matéria nos parece sólida e continua, é de fato descontínua e “cheia” de vazios. Esses exemplos revelam que a História da Química é construída por intensos debates, rupturas entre novas concepções e as concepções passadas (Mortimer, 1992).

A proposta de perfil epistemológico de Mortimer considera que qualquer conceito químico pode apresentar os componentes do realismo ou senso comum, empirismo, Química Clássica e Química Moderna, em termos de um perfil (Mortimer, 1992), como mostra o Quadro 2. A noção de Evolução de Perfil Conceitual, assim como o perfil epistemológico, segue a hierarquia entre as diferentes zonas. Cada zona contém categorias de análise com poder explanatório maior que as anteriores. Assim, Mortimer introduz algumas características que não estão presentes

na visão filosófica de Bachelard, como descrito no Quadro 2.

Com base na teoria do Perfil Conceitual de Mortimer para conceitos químicos, Silva (2011) observando a polissemia, em diversos significados e contextos, do conceito de substância, desenvolveu uma investigação visando propor um perfil conceitual para tal conceito. O autor contou com dados de textos de História da Química, artigos na literatura em Ensino de Ciências, questionários e entrevistas com estudantes do Ensino Médio e Superior, cujas fontes permitiram a observação de três domínios genéticos, conforme Wertsch (1985 *apud* Silva, 2011): ontogenético, sociocultural e microgenético. Os dados das pesquisas bibliográficas foram cruzados com os dados empíricos e então, traçadas as zonas dos perfis conceituais: generalista, essencialista, substancialista, racionalista e relacional (Quadro 2).

Quadro 2: Do Perfil Epistemológico ao Perfil Conceitual de Substância Química

Fonte: A própria autora.

Para a caracterização epistemológica e ontológica das zonas do perfil, Silva (2011, 2017), Silva e Amaral (2013) ponderaram alguns perfis conceituais que envolvem conceitos químicos, propostos na literatura, como, por exemplo, o conceito de átomo, o qual foi o primeiro perfil conceitual elaborado por Mortimer (1995, 2011),

perfil conceitual para conceito de molécula (Mortimer, 1997) e perfil conceitual para o conceito de calor (Amaral; Mortimer, 2001). Os resultados obtidos dos questionários e entrevistas foram analisados e os modos de pensar o conceito foram categorizados e relacionados as zonas do perfil conceitual, conforme o Quadro 3.

Quadro 3: Categorias propostas a partir dos modos de pensar e zonas do perfil conceitual para substância

Categorias	Zonas do Perfil Conceitual
Visão essencialista da substância	Zona Essencialista
Visão generalista da substância	Zona Generalista
Visão substancialista da substância	Zona Substancialista
Visão microscópica da substância	Zona Racionalista
Visão macroscópica da substância	
Visão relacional da substância	Zona Relacional

Fonte: Silva (2011, p. 145).

Segundo Silva (2011), as duas primeiras zonas, essencialista e generalista, correspondem, hierarquicamente, às concepções não científicas, e representam as formas ingênuas e intuitivas de pensar o conceito de substância. As concepções com significados metafísicos e filosóficos foram agrupadas na zona essencialista, enquanto as visões de substância como algo material e palpável e sem diferenciação entre elementos e materiais, foram agrupadas na zona generalista.

Já a zona substancialista corresponde a uma faixa de transição entre as zonas pré-científicas e as científicas. As concepções de substâncias se aproximam do conceito químico, nessa zona, pois se consideram as propriedades como *status* de uma característica intrínseca dos materiais e se tornam substâncias independentes. Nessa zona há a consciência da existência de diversas substâncias com propriedades específicas, temos uma ontologia física, sendo as substâncias químicas consideradas corpos materiais (Silva, 2011).

As duas últimas zonas representam as formas científicas do conceito de substância. As concepções em nível macro e atômico-molecular foram agrupadas na zona racionalista, com a diferenciação hierárquica na composição da matéria. Temos a substância como algo que pode ser isolado. A zona relacional se caracteriza com a compreensão mais complexa do conceito, cujas relações de substância entre si, substância e o meio, substância e energia são consideradas. Na visão ontológica, as concepções dessa zona são abstratas, e a substância é vista como algo que existe no mundo real. O conceito de substância parte de um nível concreto para um pensamento abstrato (Silva, 2013).

Os resultados da pesquisa de Silva (2011), revelaram que cada zona do perfil conceitual de substância representa modos de pensar específicos de cada contexto. Apresentam desde pensamentos mais ingênuos, comumente do senso comum, até os mais sofisticados da zona racionalista, presentes na cultura acadêmica e/ou escolar no ensino/aprendizagem de química. Alguns modos de pensar foram comuns a todos os níveis de ensino (Médio e Superior), porém com certas diferenças na frequência. As zonas essencialista, generalista e substancialista emergiram em todos os níveis de ensino, ratificando que as ideias são resistentes às mudanças. As visões racionalistas emergiram com maior frequência entre os licenciandos e estudantes de um Colégio de Aplicação, sinalizando o contexto do processo de ensino e aprendizagem.

É importante destacar que, na pesquisa de levantamento bibliográfico, encontramos um estudo desenvolvido nos Estados Unidos por Ngai, Sevan e Talanquer (2014), baseado na revisão de análises já existentes em Ensino de Ciências e Química, envolvendo questionamentos acerca da matéria e classificação de materiais. Os autores puderam observar padrões de pensamentos referentes aos conceitos químicos abordados, configurados em uma progressão hipotética, da seguinte forma:

Quadro 4: Graus de Sofisticação Conceitual para a Identidade Química

<i>Graus de Sofisticação Conceitual para a Identidade Química</i>	
1º Objetivação	tendência de usar as propriedades objetivamente para diferenciar materiais;
2º Principialismo	tendência para explicar as propriedades da matéria por referência a presença (ou ausência) de “princípios” que conduzem essas propriedades;
3º Composicionismo	tendência de pensar substâncias como misturas de átomos e elementos com propriedades características;
4º Interacionismo:	tendência para exibir as propriedades de matéria como emergentes das interações dinâmicas entre os componentes.

Fonte: Adaptado de Ngai, Sevan e Talanquer (2014, p. 2445, tradução nossa).

Logo, podemos observar uma certa correlação entre os graus de sofisticação conceitual para a identidade química apoiados por Ngai, Sevan e Talanquer (2014) e as categorias propostas a partir dos modos de pensar e zonas do perfil conceitual para substância, evidenciadas nos estudos de Silva (2011), corroborando a relevância de ambos os estudos.

A literatura mostra que, em diferentes momentos históricos e contextos socioculturais, emergiram concepções semelhantes de substância, com

adequações no nível de predominância entre os indivíduos. Portanto, a riqueza da proposta de um perfil conceitual está na possibilidade de estudantes adquirirem consciência da diversidade de concepções que podem envolver um determinado conceito químico (Silva, 2011).

Foi possível observar que a visão relacional de substância química é a zona que menos emergiu nos resultados do trabalho de Silva (2011), com emergências raras entre estudantes de nível superior, em especial. Já analisando a pesquisa de Sabino e Amaral (2018), em que realizaram as zonas de perfil conceitual entre estudantes do 9º ano do ensino fundamental, não foi possível evidenciar concepções da zona relacional. Nesse contexto de Ensino Fundamental, as ideias intuitivas e percepções construídas no meio sociocultural são predominantes.

Reconhecemos a necessidade de formação de professores que compreendem a dinâmica e os perfis dos conceitos científicos, pois como descrito por Mortimer (1997):

A tomada de consciência de seu próprio perfil pode ajudar um químico a ter um melhor entendimento das diferentes formas usadas pela ciência quando enfrenta problemas diferentes. Isso é particularmente importante quando pensamos no ensino de química, uma vez que o estudante dificilmente admite essa multiplicidade de significados como algo natural na ciência. Pelo contrário, influenciados por anos de convívio com uma cultura escolar que aponta para outra direção, os estudantes tendem a admitir que conceitos científicos são únicos e bem definidos. Isso pode levá-los a interpretar todas as entidades químicas como objetos reais. Os livros didáticos normalmente apresentam a química como povoada por orbitais, ligações e anéis, todos reais. Ao mostrar que o realismo sozinho não pode explicar todas as propriedades químicas nós poderemos ajudar os estudantes a terem a mente aberta para outras direções frutíferas (Mortimer, 1997, p. 206).

Acreditamos que uma formação docente, inicial ou continuada, voltada para os aspectos histórico-epistemológicos do conceito de Substância Química, conectados a CTS, por meio da Nanotecnologia, em específico os conhecimentos da química supramolecular e de nanomateriais, cujas propriedades estão relacionadas ao meio, à disposição das partículas e as interações eletrônicas, contribuirá para que professores possam desenvolver uma conscientização do aspecto polissêmico do conceito de substância e noção dos perfis conceituais, em especial quanto a visão relacional destacada por Silva (2011), Silva e Amaral (2013), ou a visão interacionista na perspectiva de Ngai, Sevan e Talanquer (2014).

5.2 PRESSUPOSTOS DA N&N — CTS NA FORMAÇÃO DO CONCEITO

Em continuidade aos estudos da evolução conceitual de substância na História da Química, consideramos a relevância dos conhecimentos da Nanociência e Nanotecnologia em uma abordagem CTS como potencial suporte didático para representar uma das mais importantes concepções de substância do século XXI, a visão interacionista das propriedades segundo Ngai, Sevian e Talanquer (2014) e a visão interacional segundo Silva (2011).

Mediante isto, o texto foi organizado para buscar, inicialmente, uma compreensão geral da Nanotecnologia, bem como, o seu desenvolvimento no Brasil e algumas implicações científico-tecnológico-sociais, com base em diferentes autores como Pyrrho e Schramm (2016), Hulla, Sahu e Hayes (2015), Brito e Castro (2012), Silva (2009), Fernandes e Figueiras (2008), Dias e colaboradores (2021), etc. A obra de Pyrrho e Schramm (2016), denominada “Nanotecnociência e Humanidade”, foi utilizada como referência para o texto por nos revelar implicações morais e éticas da chamada Revolução Nanotecnológicas que vão além dos riscos à saúde e ao ambiente e, portanto, de grande contribuição para uma abordagem CTS.

Na sequência, é introduzido a química de materiais com algumas explicações de conceitos básicos da Nanotecnologia, estratégias de produção de nanomateriais e a Química Supramolecular, fundamentadas em autores como Alves e colaboradores (2014), Schulz (2005), Zarkin (2007) e vários outros. A obra de Alves e colaboradores (2014), denominada “Química Supramolecular e Nanotecnologia” fundamentou o texto por nos permitir uma noção da Química supramolecular como ferramenta para o controle de interações intermoleculares e a produção de estruturas automontadas. Tais conhecimentos revelam propriedades, funções ou processos específicos, numa visão interdisciplinar, apresentando uma gama de aspectos relacionados a Nanotecnologia.

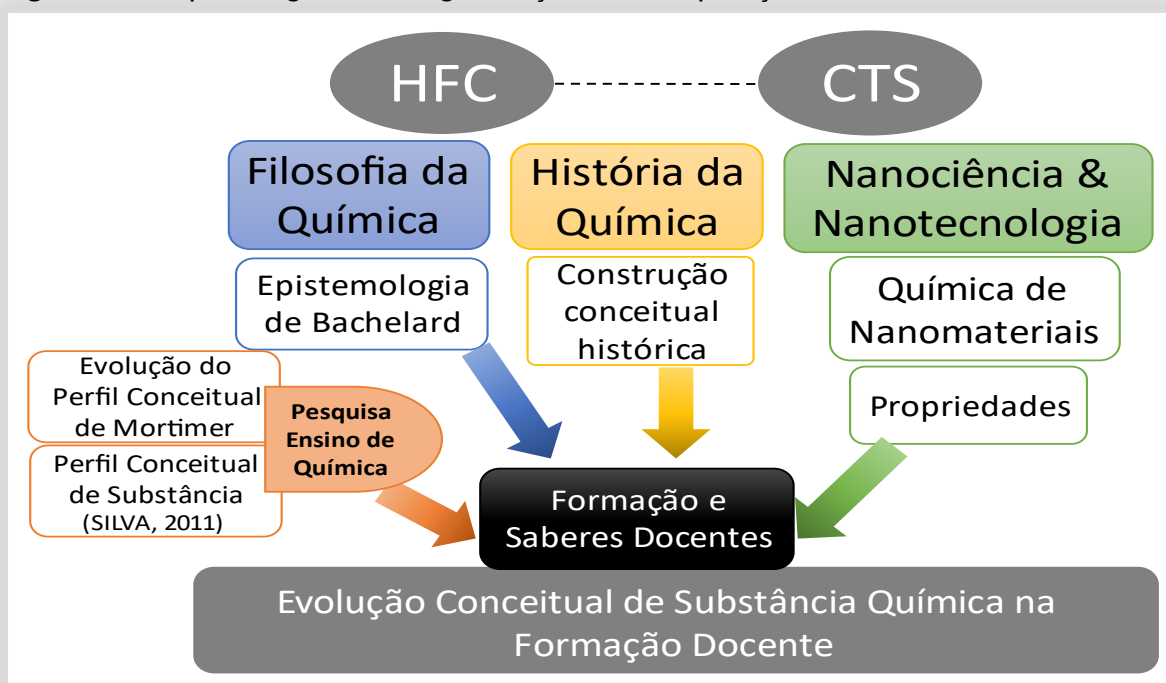
Por final, são apresentados alguns nanomateriais com propriedades e aplicações tecnológicas e industriais. O principal objetivo é elencar as propriedades desses nanomateriais correlacionando-as com a nanoescala, formas e possíveis interações eletrônicas e atômico-moleculares. Ou seja, almejamos mostrar como as propriedades das substâncias na Nanotecnologia são relacionais ou interacionais, e que, portanto, não são atributos da Substância em si, visão esta comum entre estudantes, segundo as pesquisas em ensino na área.

Cabe ressaltar que a finalidade desse texto não é esgotar todas as áreas da Nanotecnologia, métodos, instrumentações, etc., mas compor recortes com conhecimentos necessários e suficientes para o objetivo principal, referente ao conceito de substância. Alguns termos químicos utilizados no texto são de conhecimentos de nível de graduação, todavia como essa proposta textual é direcionada a Formação de Professores não nos ateremos a esclarecer tais conceitos. Portanto, esse texto deve ser adaptado, com seus devidos ajustes, para o uso no Ensino Médio.

5.3 ESQUEMA GERAL DA COMPOSIÇÃO TEXTUAL DA HFCTS

A figura a seguir representa um esquema contendo os principais caminhos trilhados para a elaboração da composição textual da HFCTS, com o intuito de promover a compreensão da evolução conceitual de substância química e a reflexão da prática docente na formação de professores.

Figura 2: Esquema geral da organização da composição textual da HFCTS



Fonte: A própria autora.

Mediante o exposto, foi elaborada uma proposta de composição textual de elementos históricos, epistemológicos, científicos e tecnológicos, como fundamentos para a evolução do perfil conceitual de substância química na formação

docente. Batista (2016) definiu o termo “Composição Textual” para se referir a alguma forma de comunicação que reúna elementos históricos e historiográficos, epistemológicos, sociológicos, axiológicos e científicos que propiciem clareza de um conceito científico articulada a objetivos pedagógico e de disseminação de acontecimentos históricos, epistemológicos e sociais.

Segundo Batista (2016), um dado conceito (fenômeno ou problema) na História da Ciência pode ter uma explicação problematizadora por meio de elementos conceituais de episódios histórico-epistemológicos, fidedignamente às fontes históricas, caracterizando o processo metodológico de elaboração de uma composição. Busca-se uma reconstrução histórica problematizadora que vai além do campo histórico, com articulação de enfoques e elementos epistemológicos, sociológicos, praxiológicos, pedagógicos, e outros que se mostrem necessários para atingir o entendimento, por um determinado público-alvo de cada composição, da construção de conhecimentos científicos ao longo da história da Humanidade.

Portanto, como mostra o esquema a seguir, a composição textual aqui construída articula elementos diversos, relacionados a aspectos da História e da Filosofia da Ciência, da Ciência, da Tecnologia e da Sociedade. Como já dito, após uma investigação das publicações científicas na área, identificamos que esses diferentes elementos/aspectos da HFCTS e da noção de perfis conceituais têm potencial para favorecer a Evolução do Conceito de Substância Química na Formação Docente destinada ao Ensino de Química. As possibilidades de subsídios para o ensino e a aprendizagem são amplas e destacamos algumas delas no Quadro 5:

Quadro 5: Elementos da Composição Textual da HFCTS e algumas possibilidades para evolução conceitual de substância química na formação docente

História e Filosofia da Química		Ciência, Tecnologia e Sociedade
A abordagem histórico-filosófica de um conhecimento científico no ensino permite a compreensão de como as teorias e os conceitos se desenvolvem na comunidade científica, com suas controvérsias e rupturas. Esse é um aspecto indispensável para a formação docente, visto que professores precisam estar cientes dos processos evolutivos que permeiam o fazer científico para, assim, terem condições de promover processos de ensino e de aprendizagem voltados à construção do conhecimento significativamente.		A abordagem científico-tecnológico-social de um conhecimento científico no ensino pode proporcionar maior significado dos conceitos e maior criticidade a respeito do desenvolvimento da ciência e tecnologia diante da sociedade. Para a formação docente, o campo da CTS traz uma diversidade de estratégias de ensino inter e multidisciplinares que podem subsidiar aspectos relevantes à formação humana integral.
História da Química	Epistemologia da Química	Nanociência e Nanotecnologia (N&N)
Um ensino baseado na HQ possibilita, dentre outros aspectos, o desenvolvimento de propostas didáticas embasadas na construção do conhecimento que enfatiza “erros” e “acertos” identificados no fazer científico, não privilegiando, no passado, apenas as teorias que permanecem aceitas na atualidade.	Aspectos da Epistemologia da Química são essenciais para que professores compreendam os principais questionamentos envolvidos no processo de formação do conhecimento científico. É indispensável que professores conheçam e compreendam, dentre outros aspectos, o realismo ingênuo e o substancialismo na HQ e do Ensino de Química.	O tema da N&N pode mediar a abordagem CTS no ensino ao fornecer os aspectos necessários da CTS e de implicações ao ambiente, além de possibilidades que ampliem a compreensão da N&N e suas dimensões éticas. A N&N pode ser utilizada por professores como elemento de estratégia de ensino que represente a noção de substância no século XXI.
Construção Conceitual Histórica	Evolução de Perfil Conceitual	Propriedades
A abordagem do conceito de substância química pela HQ permite a compreensão da polissemia desse conceito na evolução científica, com seus diferentes modos de pensar. Essa compreensão pode ser bastante relevante para que professores trabalhem esse conceito em sala de aula, considerando também as possibilidades de concepções de estudantes, que, muitas vezes, não reconhecem que na história o conceito de substância não surgiu pronto e acabado. Além disso, a HQ oferece vários momentos para elucidar os diferentes graus de sofisticação conceitual, inclusive as primeiras noções do interacionismo das substâncias químicas.	A noção de perfil epistemológico por Bachelard e a teoria de Perfil Conceitual de Mortimer permite a compreensão do pluralismo do conceito químico na HQ e no Ensino de Química apresentado em diferentes componentes filosóficos (realismo, empirismo e racionalismos...). A noção de Perfil Conceitual de Substância por Silva (2011) permite a conscientização de professores quanto aos seus próprios perfis conceituais de substância química que podem influenciar no ensino e aprendizagem em sala de aula. Um ensino com base na evolução conceitual possibilita uma visão mais abstrata e complexa do conceito de substância química e melhor compreensão de demais conceitos (elemento, molécula, átomo...).	Além das possibilidades de abordagem da visão relacional/interacionista das propriedades de substâncias na HFQ, os nanomateriais oferecem vários exemplos cujas aplicações tecnológicas dependem diretamente de suas propriedades. Contudo, essas propriedades dependem de diversos fatores (tamanho de partículas, energia, interações atômico-moleculares...) que podem favorecer a compreensão da visão relacional de substância química significativamente. É importante que professores em formação desenvolvam esses conhecimentos da N&N para poderem levar essa abordagem para salas de aulas.

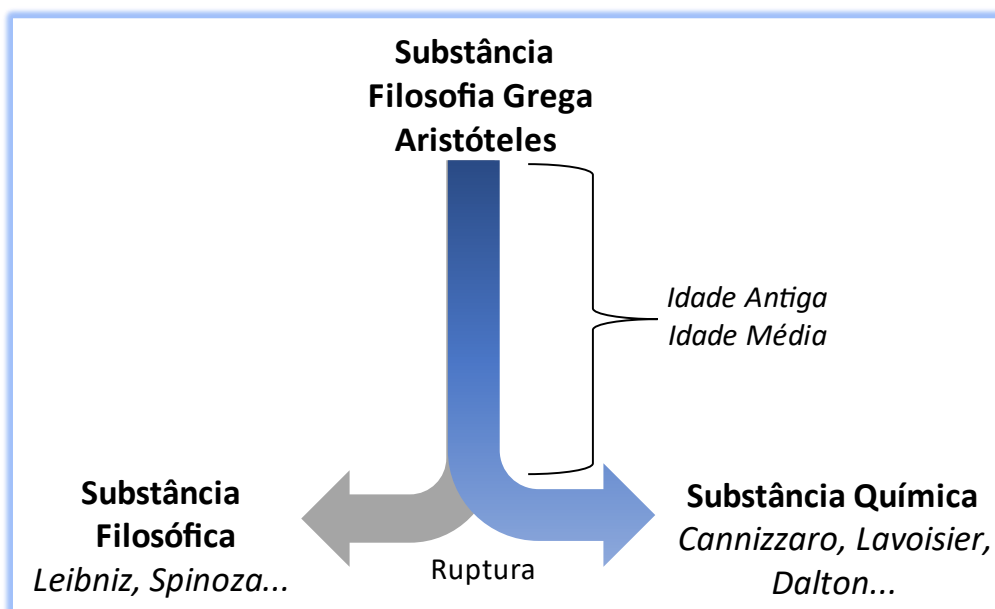
Fonte: A própria autora.

6 “DA SUBSTÂNCIA À NANOTECNOLOGIA”: uma proposta de composição textual na perspectiva da HFCTS para evolução do perfil conceitual de substância na formação docente

6.1 DA SUBSTÂNCIA À SUBSTÂNCIA QUÍMICA: CONTEXTO HISTÓRICO-FILOSÓFICO

Alguns historiadores como Partington (1989 *apud* Silva, 2011) consideram que as definições de elementos e substâncias foram construídas após séculos de muito esforços. Segundo os estudos de Silva (2011; 2017), partindo da Idade Antiga, transcorrendo pela Idade Média até o século XX, houve uma variação de estilos de pensamentos referentes à estrutura da matéria que influenciou como o conceito de substância era compreendido em cada época. A análise histórica permite a observação de um processo de ruptura que surge a partir da filosofia grega de Aristóteles, apresentando dois caminhos para o conceito de substância, conforme mostra a figura:

Figura 3: Dois caminhos distintos para o conceito de substância: a Filosofia e a Química



Fonte: Adaptado de Silva (2017, p.47).

Entretanto, segundo Silva (2017), é importante compreender que essa ruptura não representa a interrupção do conceito de substância na Filosofia, pois se trata de um conceito aristotélico que foi amplamente discutido por outros filósofos

como Leibniz e Spinoza e, ainda hoje, é discutido e problematizado. Isso pode ser observado nas ideias de Thompson (1918) que utiliza o conceito de “substância última” como um correlato da noção aristotélica de “substância primeira”. Nas palavras de Giusti, (2013), a filosofia do processo (de Alfred North Whitehead, 1996) não elimina a noção de substância, mas a considera como resultado de processos formativos e, portanto, fundamentais.

Entre os séculos XVIII e XIX, partindo de uma mesma raiz, de uma única epistemologia, ocorreu uma bifurcação que originou a formação de dois caminhos epistemológicos diferentes para o conceito de substância (Silva, 2017). Para ser possível construir uma visão de perfil epistemológico de substância no decorrer da História, com objetivos de inteligibilidade, problematização e clareza didática, situamos o conceito de substância na História da Ciência e sobretudo, na História da Química, seguindo o exemplo desenvolvido por Silva (2011). Nesse texto, em específico, abordaremos o conceito de substância na Idade Antiga, Idade Média, Idade Moderna e Idade Contemporânea, seguindo o caminho em azul representado pela figura de Silva (2017). Esta composição histórica textual se baseou em literatura primária e secundária, de modo a garantir a fidedignidade das informações históricas.

6.1.1 Substância na Idade Antiga (4000 a.C. – 476 d.C.)

Segundo Giusti (2013), qualquer tentativa de compreensão de Substância deve partir de estudo dos esforços de grandes filósofos do passado na caracterização desse conceito. Silva (2017) comenta que é no contexto, no qual os filósofos buscam explicar a origem de todas as coisas, que surge o início da construção do conceito de substância.

Os primeiros pensadores a fazerem especulações e explicações, por meio de princípios físicos e simples, referentes a origem do universo, foram os filósofos pré-socráticos, entre os séculos VII e V a.C. (Maar, 2019). No contexto científico, o que conhecemos por átomo, substância e elemento, tiveram suas origens nos pensamentos gregos. Assim como os cientistas atuais, os filósofos assumiam o papel de resolver problemas e explicar o mundo, porém, com métodos bem diferentes daqueles utilizados pela ciência moderna (Silva, 2017).

A evolução das ideias de elementos, substância e sua transformação, parte de Tales a Aristóteles, incluindo filósofos como Anaximandro, Anaxímenes,

Heráclito, Parmênides, Empédocles, Anaxágoras, Leucipo, Demócrito, Platão e outros. Podemos observar na história que, em princípio, a química tratou a concepção dos quatro elementos de duas formas. Uma como fator qualitativo para explicar a constituição dos corpos e suas mudanças, e a outra forma que considera o conceito de estrutura da matéria geométrica e atômica, como um fator mecânico e quantitativo (Vizguín, 1991).

6.1.1.1 Substância Filosófica: primórdios

A linguagem comum ou extra filosófica é a origem de muitos dos conceitos analisados pelos filósofos. Podemos citar exemplos como os termos percepção, conhecimento, causalidade e mente. Todavia, o termo filosófico de substância surge, essencialmente, da arte. Na linguagem cotidiana, o uso desse termo, muitas vezes, tende a derivar de uma maneira distorcida do seu sentido filosófico, como, por exemplo, as expressões; “substâncias ilegais”, “uma razão substancial”, dentre outras. Os filósofos, ao discutirem substância, tratam de um conceito comum, referente a objeto, ou coisa, quando isso é contrastado com propriedades ou eventos (Howard, 2018).

Segundo Howard (2018), o conceito filosófico de substância pode ser caracterizado de duas maneiras bastante diferentes. O primeiro e mais genérico, corresponde ao termo grego “ousia”, que significa “ser” transmitido do latim “substantia”, que significa “algo que está sob ou fundamenta as coisas”. Nesse sentido genérico, portanto, em um determinado sistema filosófico, as substâncias são as entidades fundamentais da realidade, são as coisas básicas a partir das quais tudo é construído. Por exemplo, para David Hume, impressões e ideias são substâncias; para um atomista, os átomos são as substâncias e, de um modo um pouco diferente, as formas são as substâncias de Platão, pelo fato de tudo derivar da existência das formas. Logo, pelo sistema filosófico realista, as substâncias existem. Porém, para as teorias filosóficas positivistas, que se aproximam do lógico, do pragmatismo e da ontologia como questão de convenção, nada é objetivamente substância, pois não há fatos relativos ao que é ontologicamente básico.

Howard (2018) argumenta que encontramos ao menos seis ideias justapostas que contribuem para o conceito filosófico de substância: a) no sentido ontológico básico, as substâncias são as coisas das quais tudo é feito ou pelas quais

é metafisicamente sustentado; *b*) em comparação com as outras coisas, a substância é relativamente independente e durável, talvez absoluta; *c*) são os sujeitos paradigmas da predicação e portadores de propriedades; *d*) sujeitos da mudança; *e*) coisas que normalmente classificamos como objetos, ou tipos de objetos; *f*) tipos de coisas. Mais tarde, a tradição Kantiana acrescenta uma sétima ideia de substância, como sendo particularidades duradouras num espaço-tempo que nos permitem nos localizar nessa estrutura.

No decorrer da História, diferentes filósofos enfatizaram diferentes critérios presentes nessa lista de ideias, cujas razões estavam relacionadas com o seu sistema de pensamento. Plausivelmente, a tradição aristotélica é a que mais abrange a lista de critérios, se tornando, intuitivamente, a mais atraente dentre as tradições filosóficas (Howard, 2018).

“Categorias” de Aristóteles apresentou a primeira articulação teórica da reflexão de conceito de objeto, no qual distingue entre objetos individuais e os vários tipos de propriedades que eles podem possuir (Howard, 2018). Na visão ontológica, as categorias representam as divisões originária do ser. Para Aristóteles, substância é a categoria principal que se estabelece como realidade ou identidade e representa o que há de mais importante. As demais categorias são secundárias, se prendem às substâncias e delas dependem (Xavier, 2008). Portanto, há uma distinção marcada pelos termos “substância primária” e “substância secundária”. Um exemplo, ao se referir ao nome do cão “Fido”, o cão — um indivíduo — é uma substância primária, porém, o cão como condição canina é uma substância secundária ou substância substancial (Howard, 2018).

“Mas o que é a substância para Aristóteles? Segundo o Mestre do Liceu de Aristóteles, a substância pode ser tomada em vários sentidos: como princípio (ἀρχή); causa (αἰτία); substrato (ὑποκείμενον) e essência (το τι εἶναι)” (Giusti, 2013). Para Aristóteles, a substância possui a capacidade de persistir às mudanças, constituindo a essência do ente. As categorias de Aristóteles nos permitem afirmar que a substância é o substrato sobre o qual as demais categorias operam. A substância permanece sempre idêntica a si mesma e torna-se o principal objeto da metafísica (Giusti, 2013). A inquietação de Aristóteles, em definir a substância, o levou a sintetizar algumas definições para o conceito de Substância-Ser-Essência (Silva, 2017), que podem ser resumidas no Quadro 6.

Quadro 6: Síntese de algumas definições dadas para substância por Aristóteles

Substância Significa...	
a)	Corpos simples, do que são exemplos a terra, o fogo, a água e similares; e, em geral, os corpos e as coisas deles compostas, animais e divinas, incluindo as partes destes. Todas essas coisas são chamadas substâncias porque não são predicadas de nenhum sujeito, embora tudo mais seja predicado delas.
b)	Aquilo que, estando presente em tais coisas, que não são predicadas de um sujeito, é causa de seu ser, como, por exemplo, no animal, a alma é a causa de seu ser.
c)	Todas as partes presentes nas coisas que são definidoras e indicadoras de sua individualidade, e cuja supressão do todo, como, por exemplo, segundo alguns, o plano. Alguns pensam que o número em geral também seja dessa natureza, sob o fundamento de que se ele fosse suprimido, nada existiria, sendo ele o que determina tudo.
d)	A essência, cuja fórmula é a definição, também é chamada substância de cada coisa particular.
Conclui-se, então, que substância, apresenta (fundamentalmente) dois sentidos: (1) o abstrato (sujeito) final, que não é mais predicado de nenhuma outra coisa mais; (2) tudo o que possua existência individual e independente. A aparência ou a forma de cada coisa particular possui essa natureza.	

Fonte: Adaptado de Silva (2017, p. 32).

A partir dessas definições é possível destacar algumas características atribuídas à substância por Aristóteles, tais como: imutável; algo absoluto; representa o ser, a individualidade do corpo; a existência das coisas depende dela; não é predicada de nenhum sujeito, é elementar; pode ser material ou imaterial, e sempre representa a essência de um corpo maior (Silva, 2017).

O conceito aristotélico de substância teve desdobramentos e outros grandes filósofos deram suas contribuições à substância filosófica (Silva, 2017). Para Woolhouse (1993 *apud* Garber, 1996), Descartes, Spinoza e Leibniz caracterizam um grupo de filósofos naturais com foco na noção de substância, preocupados com a compreensão do mundo material, a partir das escolas aristotélicas, e com a compreensão dos fundamentos metafísicos deste mundo, e como o ser humano pode ser integrado ao mundo.

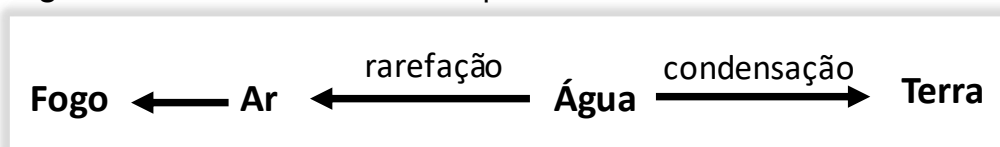
Essa associação de substância com espécies talvez possibilite o uso mais científico do que filosófico, em especial os termos químicos, como, por exemplo: água, hidrogênio, cobre, granito. Essa concepção remete aos tipos de coisas, pois não são objetos individuais nem tipos de objetos individuais. A palavra substância está refletida no sentido substancial, que significa durabilidade, permanência. Por esse aspecto, deuses ou entidades abstratas, formas platônicas ou números, tipos fundamentais de coisas, ou mesmo átomos podem ser considerados substanciais a ponto de serem indestrutíveis, ou eternos (Howard, 2018).

Em síntese, as especulações dos pré-socráticos compreendem: a origem da matéria; sua natureza; suas transformações; e suas relações com o divino. O mais antigo dentre eles foi o grego Tales de Mileto (624 a.C. – 544 a.C.), cuja obra

é uma experiência de um primeiro delineamento de “filosofia da natureza”, citada por Aristóteles (384 a.C. – 322 a.C.), Platão (c.347 a.C. – c.347 a.C.) e outros (Maar, 2019).

Portanto, a partir do próprio testemunho de Aristóteles e de demais fontes antigas, conclui-se que as teorias alternativas para substância remota à metafísica de Mileto, cuja alegação de “substância elementar” subentende que tudo o que vemos é água (Bogaard, 2012). Tales procurava intuitivamente uma “umidade” da natureza, um princípio úmido e primordial da natureza viva, responsável pela multiplicidade dos seres. Os demais elementos são derivados da água, como simplificado no esquema abaixo (Maar, 2019):

Figura 4: Elementos da matéria, por Tales



Fonte: Maar (2019, p. 26)

Alguns filósofos naturais, companheiros de Mileto, especulavam a concepção de ar ou mesmo como um substrato indefinido subjacente. A partir do sexto século e final do século V a.C., entre os relatos de pré-socráticos, os nomes de Pitágoras (c.571 a.C. – c.500 a.C.), Heráclito (c.540 a.C. – c.480 a.C.) e Parmênides (c.530 a.C. – c.460 a.C.) surgem proeminentemente. Tais teorias culminam em alternativas associadas a Anaxágoras (610 a.C. – 546 a.C.), Empédocles (c.490 a.C. – c.430 a.C.) e os primeiros atomistas, Leucipo (c.500 a.C.) e Demócrito (c.460 a.C. – c.360 a.C.), caracterizados como pluralistas, que fornecem três maneiras diferentes de interpretar uma combinação de substâncias (Bogaard, 2012).

A história, frequentemente contada, apresenta a experiência acumulativa de observação da água, do ar, da terra e do fogo, como elementos mais elementares e tipos de substância material. A história, também, apresenta percepção autoconsciente de que o discurso racional precisa eliminar reivindicações contraditórias, ter atenção às narrativas causais e caracterizar componentes básicos (Bogaard, 2012).

É importante ressaltar que os filósofos gregos como Tales, Parmênides, Anaxágoras, Demócrito e demais, foram os primeiros materialistas que

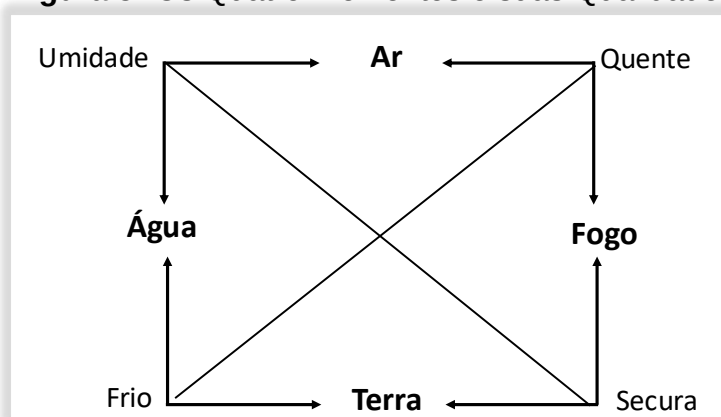
influenciaram os materialistas posteriores e a formulação clássica do materialismo. O materialismo é a tese naturalista e realista que afirma que tudo o que existe são entidades materiais. A matéria é desprovida de alma ou de uma racionalidade intrínseca, não haveria uma finalidade ou propósito na natureza, resultando numa valorização de causa e ação eficiente, uma concepção de mundo conhecida como “mecanicismo” (Pessoa Júnior, 2006).

6.1.1.2 Os Quatro Elementos de Empédocles e Aristóteles

Quanto ao conceito de elemento, é possível ter origens mais remotas do que os pensadores gregos, envolvendo misticismo e magia. Entretanto, na história do pensamento grego, a ideia de cosmos era fundamentada na composição de quatro elementos, cuja definição foi desenvolvida por filósofos jônicos e Empédocles. Diferentemente de Tales, que propôs a água como um princípio único e primordial, Empédocles propôs um número limitado de elementos que constituem, em proporções diferentes, todos os objetos e seres: Terra — Água — Ar — Fogo. Essa foi, sem dúvida, uma das contribuições duradouras da ciência grega na Química para o conceito de elemento e, conseqüentemente, para o conceito de substância. Pois, a teoria dos quatro elementos prevê que todas as substâncias são formadas por esses quatro elementos e nada mais pode existir sem eles na esfera sublunar (Maar, 2019).

Contudo, vale ressaltar que, Empédocles não usa o termo “elementos”, mas fala de “raízes”. Ao que tudo indica, pela história, Platão foi o pioneiro em utilizar o termo elemento, influenciado pela ideia de “duas forças” (amor e ódio), uma concepção antropomórfica de Heráclito (540 a.C. – 470 a.C.) que concebe que os elementos são mantidos separados pelo “ódio” e unidos pelo “amor”. Essa ideia deu início a uma das mais longas discussões da História da Química: “o que mantém unidos ou separados os componentes de uma substância?” (Maar, 2019).

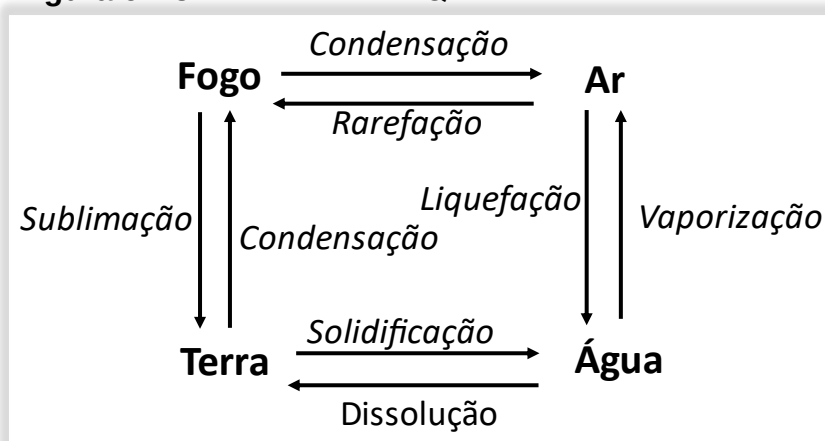
Aristóteles adotou a teoria dos quatro elementos como modelo para explicar a natureza, adicionando um quinto elemento, a “quintessência”, o éter. Esse elemento foi considerado, pelos pensadores da natureza, necessário a compreensão de muitos fenômenos até o século XIX. Os quatro elementos da Antiguidade são caracterizados, individualmente, por meio de duas qualidades (Maar, 2019), conforme a Figura 5:

Figura 5: Os Quatro Elementos e suas Qualidades

Fonte: Maar (2019, p. 31).

O conceito de elemento para Aristóteles se baseia na “matéria primordial”, na qual os demais corpos podem ser decompostos, mas o elemento não pode ser dividido em outro. Ao substituir uma qualidade pela oposta, por exemplo: frio por secura, a secura por umidade, é possível converter um elemento em outro, ou uma substância em outra. Esse raciocínio constitui a base teórica para a *transmutação* buscada pelos alquimistas. Ou seja, a transmutação possui uma explicação teórica e por isso não deve ser vista apenas como um tipo de misticismo da época (Maar, 2019).

Na ciência antiga, teoria e prática não caminhavam juntas, mas paralelamente. Os experimentos executados não eram planejados para a confirmação de hipóteses ou teorizações, e estas não explicavam o que realmente ocorria. Por isso, a teoria dos quatro elementos não é fruto de experimentação, e consequentemente, a transmutação não poderia ser explicada. Os antigos e alquimistas, utilizavam uma série de procedimentos, denominados “chaves”, a fim de substituir uma qualidade por outra, e assim converter um elemento em outro. Esses procedimentos, grosso modo, podem ser comparados as operações unitárias da Química Moderna (Maar, 2019), exemplificado na Figura 6.

Figura 6: “Chaves” entre os Quatro Elementos

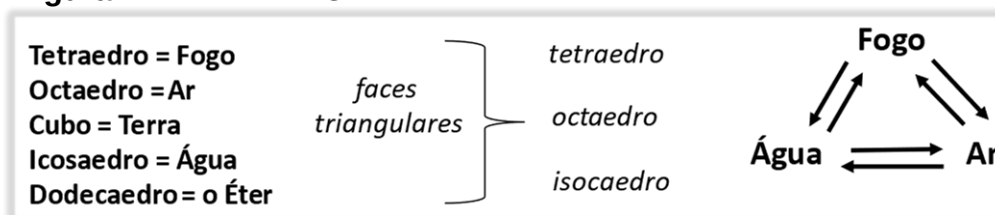
Fonte: Maar (2019, p. 32).

Embora alguns alquimistas árabes tivessem proposto variantes no período entre a síntese de Aristóteles até o período alquímico da Idade Média europeia, como, por exemplo, a teoria enxofre-mercúrio de Jabir (1493 – 1541), estas não foram unanimidades. Assim, a teoria dos quatro/cinco elementos perdurou entre os cientistas por quase 2000 anos (Maar, 2019).

As ideias propostas pela filosofia grega a respeito da substância se replicaram e se reconstruíram ao longo das centenas de anos e se articularam com os conhecimentos de outros povos. Na cidade de Alexandria, as concepções dos filósofos gregos se uniram as ideias de outros povos, surgindo avanços no manuseio de substâncias e matérias, dando forma à Alquimia europeia. É importante lembrar que, as práticas alquímicas surgiram e progrediram em diferentes povos da Ásia e Mesopotâmia antes de chegar ao Ocidente (Silva, 2017).

6.1.1.3 “Atomismo Geométrico”

Um modelo que não prosperou foi o “atomismo geométrico” de Platão, considerado a primeira “teoria molecular” da História da Química. Caso tivesse sido aceito, poderia ter influenciado a História da Química para uma perspectiva quantitativa desde cedo, ao invés da base qualitativa que perdurou até o século XVIII. Filolau (c.475 a.C.), discípulo de Platão, influenciado por Pitágoras, associou os cinco elementos de Aristóteles com cinco sólidos geométricos, cuja representação permite explicar as transformações dos elementos água, ar e fogo entre si, reagrupando em faces triangulares (Maar, 2019).

Figura 7: “Atomismo Geométrico”

Fonte: Adaptado de Maar (2010, p.38,39).

Ao considerar o número de faces triangulares de cada sólido é possível fazer inferências quantitativas nas conversões, por exemplo: *10 Fogo (10 tetraedros) = 5 Ar (5 octaedros) = 2 Água (2 icosaedros)*. Decompondo o cubo e o pentágono em triângulos, estes podem ser incluídos nas “transformações”. O “atomismo” de Platão não possui relação com o atomismo de Demócrito, pois a escola platônica não admitia o vácuo na esfera sublunar, de modo que o espaço entre os “elementos” é preenchido por outros “elementos” (Maar, 2019).

Para René Taton (1959 *apud* Maar, 2019), as especulações dos gregos referente a matéria e suas transformações esgotaram todas as possibilidades, partindo de uma única espécie primordial (Tales, Anaxímenes, Heráclito, Anaximandro), até um número infinito de substâncias (Demócrito, Anaxágoras), perpassando pelas especulações numérico-geométricas de Pitágoras e por um número limitado de substâncias (Empédocles, Aristóteles). Portanto, a história nos revela a pluralidade de concepções e ideias divergentes que envolveram a ideia de matéria, elementos e substâncias.

6.1.1.4 O Atomismo de Leucipo e Demócrito

O Atomismo se tornou uma criação permanente do pensamento científico grego. Quanto a Leucipo (c.500 a.C. – c.440 a.C.), teria sido o mestre de Demócrito (c.460 a.C. – c.370 a.C.) que viveu na região considerada hoje como Turquia (Maar, 2019). O atomismo de Leucipo e Demócrito sintetizou a tradição jônica com as tradições das Escolas Eleiana e Pitagórica (Vizguín, 1991).

Um enfoque mecânico estrutural da substância e de suas transformações influenciaram grandemente o desenvolvimento do atomismo. Apesar de haver divergências entre os filósofos, os testemunhos mais confiáveis dos enunciados básicos do atomismo concordam em uma coisa: “todos os processos e coisas no mundo visível obedecem à forma, ordem e posição dos átomos”. Aristóteles,

ao expor a doutrina de Demócrito, diz que as causas de todas as coisas são determinadas pelas diferenças de forma, ordem e posição dos átomos (Vizguín, 1991).

Átomo significa sem subdivisões. Demócrito, em consonância com Parmênides e filósofos eleáticos, acreditava que o Ser é eterno e indiferenciado, porém sem mobilidade e sem caráter contínuo, envolto em vácuo, espaço infinito em que se move um número infinito de átomos, partículas mínimas da matéria. A partir de ideias anteriores de Leucipo, Demócrito idealizou uma “teoria atômica” (Maar, 2019).

Notemos que Maar (2019) se refere à “teoria atômica” entre aspas. O fato é que, segundo Lopes (1996), as proposições de Demócrito, Leucipo e Epicuro não compõem uma teoria atômica e nem visam explicar as transformações químicas, pois suas percepções de mundo são bem deferentes das concepções dos cientistas modernos. Os atomistas gregos se baseiam em uma filosofia explicará a natureza a partir da relação homem-natureza, bem diferente das ideias de Dalton que deram origem a sua teoria atômica com objetivo de construir um modelo de átomo capaz de esclarecer as relações de massa em transformações químicas. Nesse contexto, observamos o porquê da ênfase de Bachelard na descontinuidade da cultura científica, com recorrências históricas de racionalismos setoriais e rupturas.

Quadro 7: Atomismo de Leucipo e Demócrito

Características do Átomo Grego
• Toda matéria se subdivide em átomos eternos e indestrutíveis, que não tem causa.
• Cada espécie de matéria é constituída por átomos qualitativamente iguais (há, pois, um número infinito de tipos de átomos).
• Os átomos estão em contínuo movimento no vácuo.
• Os diferentes tipos de átomos diferem em forma, tamanho e massa.

Fonte: Adaptado de Maar (2019, p. 34).

Na interpretação de Hooykaas, apesar dos atomistas rejeitarem quaisquer princípios racionais, distanciando-se da tradição religiosa dos filósofos naturais, os atomistas deificam a natureza ao propor um número infinito de átomos inalteráveis e indivisíveis, em formas e tamanhos infinitos, movendo-se num espaço vazio infinito. Essas ideias estabelecem a “pulverização” ou “atomização” do divino, fragmentado em átomos. Para os atomistas, todas as coisas acontecem segundo a “lei da necessidade”, com causa eficiente, apoiada em propriedades inerentes aos

átomos (Maar, 2010). Nessa visão materialista, apenas teriam realidade os átomos e o espaço vazio, cada átomo com forma e tamanho imutável e imperceptível aos nossos sentidos (Pessoa Junior, 2006).

Esse esquema abstrato soa bastante moderno e convincente aos nossos olhos, porém não era essa a visão dos gregos-plenistas na época. O Ser e o Não-ser regia a filosofia eleática, de modo que o Ser É, e o Não-ser não é. Para eles o átomo de Demócrito é Não-ser, não existe, pois o vácuo é inconcebível a tal ponto que Aristóteles sugere o éter para preencher eventuais vazios entre os quatro elementos da matéria (Maar, 2010).

O filósofo grego Epicuro (c.341 a.C. – c.271 a.C.) buscou por respostas aos questionamentos de Aristóteles ao atomismo. Epicuro concebia a ideia de que a realidade material seria constituída de unidades indivisíveis, permanentes, que se movem através do vazio. Porém, além das propriedades de forma e tamanho do átomo adotadas pelos primeiros atomistas, Epicuro atribuiu uma propriedade essencial ao átomo: o peso. Segundo ele, o peso permitiria a explicação do movimento incessante a que os átomos são submetidos (Porto, 2013).

Por muitos séculos, a aceitação da teoria dos quatro elementos e a recusa do átomo por Aristóteles, traçaram uma linha de atuação para a Alquimia e a Química, assim como a evolução da Ciência até o Renascimento foi direcionado pelo pensamento aristotélico (Maar, 2010).

Quanto as influências à construção de noção de substância, observamos que, claramente, no eleatismo havia um conflito fundamental entre a percepção empírica e a compreensão racional. Isso levava a uma negação da confiabilidade dos nossos sentidos ao analisar a realidade, ou seja, o mundo dos fenômenos seria uma ilusão contrária a razão, mediante aos nossos sentidos. A solução proposta por Leucipo e, posteriormente, por Demócrito foi a conciliação entre a possibilidade das mudanças perceptíveis aos nossos sentidos com a existência de algo que permaneceria inalterado, fazendo jus a designação do ser. Nessa perspectiva, os objetos colocados diante de nossos sentidos são formados pela combinação de muitos átomos. Sendo assim, “as características como, por exemplo cor, sabor e cheiro correspondem à maneira pela qual os nossos sentidos percebem as estruturas formadas pelas combinações dos átomos” (Porto, 2013, p. 2).

Numa linguagem moderna, não há propriedades intrínsecas dos objetos, mas representação subjetivas que fazemos deles. A diversidade de

características desses objetos está relacionada apenas à existência de diferentes tipos de átomos em diferentes organizações. Portanto, o doce, o amargo, o quente, o frio, a cor, é convenção; os átomos e o vazio é a realidade (Diels, 2011; Porto, 2013).

6.1.1.5 Protoquímica: artes práticas primitivas

De acordo com Oki (2009), a protoquímica é uma química primeira subdividida em dois períodos: das artes práticas e a química especulativa. O mais comum é encontrarmos textos com ênfase apenas na química especulativa, a partir da hipótese atômico grega. Porém, há um importante legado químico ancestral, sem referência temporal ou local. As artes práticas da protoquímica remete a uma noção artesanal-tecnológica da época (Pinheiro, 2021). Constituem um amplo acúmulo de informações referentes as habilidades adquiridas pela humanidade ao longo de um período que vai do ano 4500 a.C. até aproximadamente o início da nossa era (Maar, 2019).

Existem várias interpretações para a origem histórica da protoquímica. Aaron Ihde (1909 – 2000) observou que, a partir da descoberta do fogo, e com o passar das Idades Pedra — Cobre — Bronze — Ferro, a humanidade passou a adquirir domínio sobre uma variedade de “processos químicos” com preparo de alimentos, cerâmica e metalurgia. Esses conhecimentos foram transmitidos por gerações, permanecendo num nível empírico. Outros conhecimentos foram perdidos, por exemplo, as técnicas de obtenção de alguns pigmentos, fabricação de azulejos da cor azul-turquesa, argamassa ou cal hidráulica dos romanos do início do Império Bizantino e outros. O pigmento “azul maia”, um azul vivo e brilhante, foi recentemente recuperado por uma estrutura sugerida, em 1967, por Kleber e confirmada nos anos de 1990 por Yacamán, do Instituto Nacional de Investigações Nucleares – México e químicos e físicos da Universidade do Texas — El Paso (Maar, 2019).

De modo geral, a protoquímica pode ser dividida nas seguintes artes práticas: 1 – Metais e metalurgia; 2 – Vidros e cerâmica; 3 – Corantes e pigmentos; 4 – Drogas e medicamentos. Os antigos metalurgistas e alquimistas conheciam, inicialmente, sete metais e os relacionavam com os astros (Maar, 2019), conforme citado no Quadro 8:

Quadro 8: Primeiros Metais conhecidos na Protoquímica

Metal	Período	Primeiras evidências	Astro
Ouro	Pré-história	Bulgária	Sol
Prata	5000 a.C.	Índia, Mar Egeu, Grécia	Lua
Cobre	8000 a.C.	Ásia Menor, América pré-cambriana - Incas, Equador	Vênus
Ferro	2900 a.C.	Egito	Marte
Mercúrio	1600 a.C.	Egito	Mercúrio
Estanho	3000 a.C.	Inglaterra - Fenícios	Júpiter
Chumbo	3.800 a.C.	Grécia, China	Saturno

Fonte: Baseado em Maar (2019).

A esses metais eram acrescentados o bronze e o *asem* ou *electrum* (mistura de ouro e prata). O conhecimento do zinco, antimônio e níquel não pode ser confirmado. As ligas metálicas, como o bronze (cobre e estanho principalmente — quarto milênio a.C. — Suméria e China) e latão (cobre e zinco — primeiro milênio a.C. — Ásia Menor), também foram desenvolvidas pelos protoquímicos. Os metais, considerados tão importantes, eram associados a divindades. Os astrólogos utilizavam os mesmos símbolos criados pelos alquimistas para se referirem aos planetas. A crença dos astrólogos na forte influência dos astros na vida humana, também levou alquimistas e metalúrgicos a acreditarem no sucesso da transmutação pela posição favorável dos astros (Maar, 2019).

A indústria extrativa mineral da Antiguidade, além da obtenção de metais e ligas, obteve betume, sal e óleo. Essa extração de minerais não metálicos, pelos antigos, é anterior à dos minérios dos metais (30.000 a.C.), inclusive com prática de mineração subterrânea. Nos escritos de Heródoto (c.484 a.C. – c.430 a.C.) aparecem, além do betume, produtos como asfalto natural, frações do petróleo (obtidos, quase sempre, na superfície da terra e usados em iluminação, na medicina e na mumificação). A mumificação foi praticada pelos egípcios e envolvia asfalto, resinas e agentes secantes como soda cristalina, cujas técnicas de embalsamamento são descritas por Heródoto (Maar, 2019).

Outros minerais extraídos eram alúmenes (2200 a.C. — Mesopotâmia, 2000 a.C. — Egito), vitríolos (sulfatos que passariam a ter grande importância na Alquimia para a preparação do Elixir), amianto, álcalis, salitre, óxidos, sulfetos, cloretos de diversos metais, utilizados como pigmentos (Maar, 2019).

No que diz respeito à substância química, podemos considerar que o conhecimento dos metais e seus processos de manipulação da protoquímica nos

remetem as primeiras noções de propriedades das substâncias e de quantidade. Segundo Maar (2019), na época, a filosofia natural, ou ciência dos antigos, não possuía hipóteses que sugerissem os métodos analíticos quantitativos para identificar esses metais.

Desse modo, não havia a caracterização das diferentes substâncias por meio de proporções invariáveis e constantes. Entretanto, sabia-se que as propriedades de todas as substâncias podiam variar dependendo da “quantidade” de cada elemento participante de sua “composição”. Portanto, havia diferentes espécies de ouro ou de prata. Diante do exposto, a transmutação, que posteriormente os alquimistas almejavam, teve sua base racional e lógica, mesmo que distante da realidade concreta (Maar, 2019).

Os protoquímicos consideravam os metais como “compostos” e não possuíam uma natureza elementar. Os métodos de identificação se baseavam em observações sensoriais, como, por exemplo, a cor, ou propriedades físicas como a densidade (relembremos a banheira de Arquimedes) (Maar, 2019).

6.1.1.6 Alquimia Greco-Egípcia ou Alexandrina: início (século III a.C.)

Segundo Berthelot (1885 *apud* Maar, 2019), a história da alquimia é um tanto obscura. Ela se perpetua como uma ciência sem raiz aparente, envolta em mistérios e símbolos, vista como doutrina oculta e perseguida. Os sábios e os filósofos misturam-se nela e se confundem com mágicos, alucinados e até charlatões, envenenadores, falsos, moedeiros e outros. Porém, como indaga Maar (2019) — Qual a relação entre a Alquimia e a Química na evolução do conhecimento químico? Será mesmo importante que a História da Química se ocupe da Alquimia? — Não cabe aqui respostas e nem definições simplistas. Embora para muitos historiadores a Alquimia seja laconicamente uma pseudociência antiga preocupada com a transmutação de metais, com a busca pela cura para todas as doenças, de modo a prolongar a vida, essa é, sim, uma definição simplista. Sheppard sugere uma definição mais além:

A Alquimia é a arte de liberar partes do Cosmos de sua existência temporal e alcançar a perfeição, que para o metal é o ouro, e para o homem temporal a longevidade; e a seguir, a imortalidade, e por fim a redenção. A perfeição material era buscada através de um preparo (a Pedra Filosofal para os metais, o Elixir da vida para os homens), enquanto que o enobrecimento espiritual resultava de alguma forma de revelação interna ou iluminação (no Ocidente, por exemplo, a Gnose) (Sheppard, 1970, tradução de Maar, 2019,

p. 86).

Claramente que essa definição não é autoexplicativa. Consideramos outra definição, mais abrangente e acentuada por muitos historiadores: a Alquimia é uma forma de conhecimento da natureza que possui várias facetas, mas apenas uma delas, envolvendo matérias e operações, interessa à Química (Maar, 2019). Weyer (1992) insiste que dois aspectos em relação aos objetivos da Alquimia devem ser levados a sério; o “aperfeiçoamento dos metais não-nobres”, usados na busca da transmutação, e o “aperfeiçoamento espiritual do alquimista” durante seu trabalho.

Vale destacar que outros povos de outras culturas como os árabes, chineses, islâmicos, hindus, também desenvolveram a alquimia, bem semelhante à alquimia alexandrina. Por exemplo, os alquimistas chineses acreditavam que as substâncias eram compostas por cinco elementos — terra — água — fogo — madeira — metal, cujas concepções como esta adquiriram grande desenvolvimento na filosofia taoísta, séculos antes de Cristo (Silva, 2011; Maar, 2019; Farias, 2010).

Entre alguns historiadores, a ideia aceita é que o termo árabe *el-kimyâ*, com raiz grega, significa “a terra negra”, seria uma antiga designação para o Egito, às margens do Rio Nilo, pois suas margens possuem uma terra fértil e negra. Contudo, outros historiadores afirmam que a palavra *kimia* deriva do grego *chymia*, que significa moldar ou fundir um metal. Um ponto de congruência entre os historiadores é de que o desenvolvimento da alquimia se iniciou no Egito, sobretudo em Alexandria (332 a.C.), sob influência grega (Farias, 2010).

A alquimia greco-egípcia, ou alexandrina, teve sua origem entre os séculos III a.C. e I a.C. na cidade de Alexandria, por meio de uma combinação de artes práticas antigas, filosofia e misticismo (Maar, 2019). Nessa cidade, havia uma miscigenação na população com nativos egípcios, gregos, sírios, judeus e hebreus, essencialmente influenciados pela cultura grega (Silva, 2017). A filosofia grega trouxe à prática química a consistência de uma doutrina que se desenvolveu em duas direções: a alquimia prática (devido às artes práticas cultivadas nos templos egípcios) e a alquimia espiritual ou simbólica (derivada das práticas religiosas dos sacerdotes dos templos alexandrinos) (Maar, 2019).

Os propósitos dos alquimistas eram, então, divididos em caráter exotérico e caráter esotérico. Os propósitos de caráter exotérico eram: — a Pedra Filosofal (conseguiria transmutar metais menos nobres em ouro) — o Elixir da Vida

(conseguiria curar e prolongar a vida). O propósito de caráter esotérico seria o aperfeiçoamento espiritual. Cada origem de alquimia, seja chinesa, grega, islâmica ou outra, possui uma ênfase a uma característica do que a outra (Farias, 2010).

A alquimia alexandrina se estendeu até a Idade Média. Alguns alquimistas alexandrinos foram; o grego Zózimo de Panópolis (c.350 – c.420); o egípcio Bolos de Mede (Pseudo-Demócrito) (300 a.C.); a grega Maria, a Judia (Maria a Copta, a mais antiga mulher alquimista)(300 a.C.); a egípcia Cleópatra (Pseudo-Cleópatra) (69 – 30 a.C.), o grego Sinésio da Cirenaica (c.370 – 413); o grego Olimpíodoro (século V) e, provavelmente, o último dos alquimistas alexandrinos, o grego Estéfano de Alexandria – século VI (Maar, 2019).

Os alquimistas utilizavam uma abundância de equipamentos, em que o núcleo do laboratório era o forno. Embora haja históricos de um frasco para destilação de c.3500 a.C., encontrado na Mesopotâmia, usualmente, a destilação é atribuída aos alquimistas alexandrinos. A alquimista Maria a Judia usava um aparelho interessante de cerâmica para reações entre sólidos e vapores de matérias voláteis, denominado *Kerotakis*. Portanto, os alexandrinos se adiantaram no uso de gás reagente (Maar, 2019).

Segundo Maar (2019), o processo de transmutação ocorria em etapas, em que se observava mudança de coloração, liberação de vapores, preparo de soluções, dentre outros. Os alexandrinos classificavam as substâncias, conhecidas até então, em três grupos, conforme mostra o Quadro 9:

Quadro 9: Classificação das Substâncias pelos Alquimistas Alexandrinos

Classificação das Substâncias	
Somata	— Ouro, prata, cobre, ferro, estanho, chumbo, e as ligas metálicas (os corpos verdadeiros).
Asomata	— Substâncias minerais sem aspecto “metálico” — arsênio (óxido de arsênio) - auripigmento (As_2S_3) — realgar (As_4S_4) — cinábrio (HgS) — minio (Pb_3O_4) — nítron (Na_2CO_3) — pirites (as piritas) — cadmia (óxido misto de Sn, Cu, As), magnésia (não a magnésia de épocas posteriores, mas uma liga de Cu, Fe, Pb e Sn), cianos (provavelmente a zurita), crisola (provavelmente a malaquita) — “álcali das cinzas” (KOH).
Pneumata	— Substâncias voláteis: enxofre, mercúrio e sulfetos de arsênio. Até então desconheciam os gases como entidades químicas. Os árabes, mais tarde, incluíram uma quarta substância volátil, o sal amoníaco.

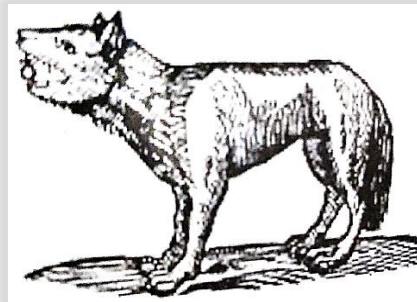
Fonte: Baseado em Maar (2019).

Uma mistura inflamável secreta, denominada de Fogo Grego, também foi uma contribuição notável da era bizantina da Alquimia grega, cuja invenção é atribuída a Calínico de Heliópolis (c.675). Anteriormente ao fogo grego, Júlio Africano (c.160 – 235) preparou um “fogo automático”, uma mistura contendo enxofre, resinas, petróleo, carvão vegetal, sal óxido de cálcio, piritas e estibinita, que se inflamava em contato com a luz solar. Na idade Média houve até o “Livro dos Fogos” de Marcus Graecus, comentando os preparos (Maar, 2019).

O simbolismo na Alquimia decorre de um profundo envolvimento pessoal, espiritual e religioso do experimento realizado. Uma mesma substância é citada de autor para autor com nomes diferentes, por exemplo, o mercúrio era chamado pelos alquimistas alexandrinos como “água dourada”, “eterno fugitivo”, “água divina”, “orvalho divino”, “água da lua”, “leite de vaca-preta”, etc. (Maar, 2019).

Embora a simbologia alquimista fosse hermética e ininteligível para os não iniciados, ela se constituía uma espécie de consenso entre os alquímicos de diferentes épocas e regiões. Vale lembrar que alguns desses símbolos são utilizados até os dias de hoje, por exemplo o símbolo para representar aquecimento (Maar, 2019).

Figura 8: Um dos símbolos do Antimônio



Fonte: Farias (2010, p. 45).

Figura 9: Alguns Símbolos da Alquimia

Os quatro elementos: △ Ar ▽ Terra △* Fogo* ▽* Água Os sete metais: ☉ Ouro (o Sol) ☾ Prata (a Lua) ♂ Cobre (Vênus) ♂ Ferro (Marte) ☿ Mercúrio (Mercúrio) ♄ Chumbo (Saturno) ♃ Estanho (Júpiter)	Outras Substâncias: ⊕ Sal** □ Sal comum (NaCl) ⬆+ Enxofre ⚗ Sublimado de mercúrio ⚗ Realgar ⚗ Vitríolo * Sal amoníaco ⚗ <i>Aqua fortis</i> (ácido nítrico) Outros: ⚗ Sublimação ⚗ Calcinação ⚗ Destilação ⚗ Fermentação ⚗ Retorta
--	--

Fonte: Maar (2019, p. 208).

Desde então, foi possível notar uma ressignificação das ideias difundidas na Grécia Antiga que se deu a partir de um diálogo com a astrologia, religião e misticismo. Nesse contexto há predominância de ideias animistas que surgem e irão perdurar, posteriormente, por toda a Idade Média (Silva, 2017).

6.1.1.7 Alquimia Chinesa (século I a.C.)

Apesar de haver registros históricos que apontavam o início da alquimia chinesa por volta do século IV a.C., seu marco se deu posteriormente. Um imperador chinês foi o primeiro a mencionar a prática da alquimia, em um documento histórico datado de 144 a.C. Neste documento, o imperador especificava punições públicas àqueles que falsificassem o ouro. No ano seguinte, um alquimista foi recebido pelo imperador afirmando haver descoberto o segredo da imortalidade. Segundo o alquimista, mediante a adoração de uma certa deusa, o cinábrio (HgS) poderia ser convertido em ouro, que por sua vez seria usado na fabricação de taças e utensílios para bebidas ou comida. O uso desses utensílios conferiria uma vida mais longa (Farias, 2010).

A alquimia chinesa é subdividida em: exotérica (operações químicas) e esotérica (aspectos místicos/ simbologia química). O dualismo simbólico *Yin/Yang* do I Ching (“Livro das Transmutações”) é associado aos aspectos esotéricos da alquimia chinesa. *Yin/Yang* representavam “fluidos materiais”, “forças cósmicas” ou a teoria dos “cinco materiais” (terra — água — fogo — madeira — metal) ou “elementos” chineses. Seu maior objetivo não era a transmutação de metais, como a alquimia ocidental, mas a busca pela longa vida. Gradualmente, seu aspecto místico foi ficando cada vez mais proeminente e obscuro (Maar, 2019; Silva, 2011).

Alguns nomes concretos da alquímica chinesa são, Liu Hsiang (alquimista da corte imperial, 79 a.C.), Wei Po Yang (preparou o elixir no século III d. C); Ko Hung (284 – 343), considerado o mais importante alquimista chinês (autor do “Pao-Po-Tsu” — “Mestre que guarda a Simplicidade”), cujo conteúdo descreve medicações, operações práticas e matérias mágicas. As ideias alquímicas de Ko Hung se assemelham as dos hindus, ao relacionar a transmutação com o cinábrio e com o mercúrio. Adiante na história, se destaca o alquimista Chang Po Tuan (983–1032), contemporâneo do filosófico alquimista persa Avicena, é visto como o último alquimista chinês de considerável importância (autor de “Wu chen Pien” — “Ensaio

sobre a Compreensão da Verdade”) (Maar, 2019).

Segundo Maar (2019), os chineses conheceram o bronze por volta de 1300 a.C., o ferro em 500 a.C., mercúrio e enxofre são citados em 150 a.C., o zinco em 1637 d.C., o papel no ano 100 d.C., a porcelana no ano 600 d.C., salitre, pólvora, fogos de artifício em 1150 d.C. Na interpretação de Needhan e Gwei-Djen (1974 *apud* Maar, 2019), a filosofia com base no Taoísmo, que influenciou a etapa da pré-alquimia chinesa, seria o único sistema místico que não é profundamente anticientífico. Além disso, os estudos de Rex (1987), revelaram que muitos dos aspectos da alquimia árabe que influenciaram a alquimia europeia e a Química Moderna não seriam de origem grega, mas muito possivelmente chinesa.

6.1.2 Substância na Idade Média (século V – século XV)

O contexto histórico-econômico-cultural da Idade Média se desenvolveu num longo período de aproximadamente 1000 anos de duração, com o início por volta de 400 ou 476, depois do último Imperador Romano do Ocidente. Perpassando até a queda de Constantinopla (1453), a Guerra dos Cem Anos (1492), ou até mesmo até o início da Reforma Protestante (1517). Com o início da Idade Média houve uma formação de uma nova cultura que fundiu elementos romanos, germânicos, eslavos e celtas, cujos domínios foram divididos em: — Alta Idade Média, marcada pelo sistema escravista na economia e início do feudalismo (até o século X) e a Baixa Idade Média, marcada pelo sistema feudal, crescimento das cidades, expansão territorial e do comércio (XI – XIII) (Maar, 2019; Farias, 2010).

A ciência da idade Média sofreu a supremacia da Igreja Católica sobre o pensamento científico. A igreja impunha a sua verdade como inquestionável e os escritores antigos, como Aristóteles, sofriam a autoridade da Igreja. Mesmo assim, alguns sábios como Roger Bacon (XIII) ousavam a divulgar algumas ideias e descobertas novas, até ser condenado pela Igreja, por ensinar que a experiência e a matemática eram a base da verdadeira ciência. Desse modo, a ciência acumulou pouco conhecimento nesse período (Primon *et al.*, 2000).

Proveniente dos árabes, herdeiros do conhecimento filosófico, científico e médico da Antiguidade grega egípcia, a ciência moderna ingressou na Europa no final do século X. Antes da introdução da Alquimia (1144), já havia metalúrgicos, ferreiros, tintureiros, curtidores, droguitas e uma infinidade de

profissões que lidavam com produtos químicos e “operações” e “processos químicos”. Entretanto, como eram atividades exclusivamente práticas, não se enquadravam na Alquimia. Porém, deixaram manuscritos com notável conhecimento prático com referências à destilação do álcool, refino do açúcar, fabricação de salitre, explosivos, pólvora, classe de minerais, fabricação de papel, técnicas de pintura a óleo, etc. (Maar, 2019).

De modo simplificado, é possível dizer que a Idade Média herdou, dos antigos, dois modos opostos de pensar a natureza: um herdado de Platão e dos neoplatônicos — o *realismo absoluto* (considera as ideias como o real e os objetos particulares como representações do real); o outro herdado de Aristóteles — o *nominalismo moderado*, posteriormente *conceitualismo* (o conceito é autônomo, mas formado depois da realidade dos seres). O nominalismo permitiu à Ciência ser experimental e utilizar dados sensíveis para a abordagem indutiva do conhecimento, pois o real são os objetos particulares da investigação, ao passo que no realismo, o universal é o real, sujeito a abstração e de tratamento dedutivo (Maar, 2019).

Apesar da Idade Média ficar conhecida como um período de trevas para a Ciência, houve vários processos positivos, por ser a época em que surgiram as primeiras Universidades, foram realizadas as primeiras viagens geográficas, nasceu a economia moderna e o poder representativo, surge o Humanismo que se volta contra o mundo antigo. A arte e a ciência medievais mostram o predomínio do sentido acerca da razão, muito valorizado, posteriormente, pelo Romantismo. A mentalidade medieval participa de uma construção da imaginação e do subjetivo, propícia à aceitação da Alquimia Europeia (Maar, 2019).

6.1.2.1 Alquimia Islâmica (século VIII – século XIV)

A religião islâmica foi fundada entre os séculos VII e VIII, estabelecendo o império dos califas (sucessores). A morte de Maomé, em 632 d.C., foi seguida por guerras expansionistas que marcaram uma era de conquistas islâmicas, como a conquista da Península Ibérica. Com isso foi determinado que o árabe seria a língua culta oficial dos países conquistados, motivo pelo qual muitos manuscritos alquímicos do período são escritos em árabe. Como descreve Chassot (2014), o mundo muçulmano e o Islã passaram por extraordinárias modificações. A partir disso, o Islã passou por um período de calma fértil para o desenvolvimento

da cultura em geral e se tornou herdeiro da cultura helênica (Farias, 2010).

Quanto ao grande prestígio que a Ciência recebeu do mundo islâmico, vale ressaltar que, enquanto a Filosofia Grega não era utilizada no mundo cristão, a partir do século IV, ela continuou sendo estudada na África, com a irradiação de Alexandria, especialmente. Nesse aspecto, os filósofos islâmicos foram responsáveis por transplantar toda uma riqueza que quase se perdia. Assim, ao Islã foram incorporadas as obras gregas, persas, hindus e de outros povos (Chassot, 2014). Entre os séculos DCCC(800) a.C. e 1100 a.C., os árabes eram os povos mais desenvolvidos na cultura e na tecnologia, superando os europeus do mesmo período (Goldfarb, 1987; Moreno; Martins; Rajagopal, 2015).

A maioria dos historiadores da ciência concordam que os islâmicos tiveram contato com a alquimia a partir de Alexandria, assimilando em sua totalidade a Alquimia Alexandrina, incluindo influências culturais de outros centros da Mesopotâmia (Harran, Edessa, Nisibis). A Ciência árabe (astronomia, medicina, farmacologia) obteve importantes influências da Índia e da China (Maar, 2019). Segundo Ibn al-Dabim, um biógrafo da segunda metade do século X, o príncipe Khalid ibn Yazid, que morreu em 704 d.C., foi o primeiro mulçumano a se interessar pela alquimia. Seu grande interesse o fez trazer alguns filósofos gregos do Egito para que lhe ensinassem a traduzir textos alquímicos escritos em grego ou línguas góticas (Farias, 2010).

A obra de Jabir ibn Hayyan (conhecido por Geber, 720 d.C. – 815 d.C.) permitiu que a alquimia islâmica atingisse seu ponto alto. Os registros históricos apresentam Jabir como um alquimista estabelecido na corte de Harun al-Rashid e como um dos precursores da Iatroquímica (química medicinal), além de conhecedor de sínteses de poções e elixires, característica marcante na alquimia islâmica (Farias, 2010). Assim como muitos outros alquimistas árabes, Jabir fazia bastante uso de sal amoníaco (NH_4Cl), uma substância não conhecida pelos gregos. A Jabir foi creditado a descoberta de uma série de ácidos, como o ácido acético a partir da destilação do vinagre, além do ácido cítrico, do ácido tartárico, de uma solução mais forte contendo nítrico e o ácido hidrocloreídrico (ácido clorídrico diluído) (Goldfarb, 1987; Moreno; Martins; Rajagopal, 2015).

Uma das contribuições das teorias islâmicas à Alquimia é a “Teoria dos Balanços” de Jabir, na qual os balanços se referem a um equilíbrio de qualidades ou de propriedades. Apesar de Jabir aceitar a teoria dos quatro elementos, ela a

concebe de maneira diferente (Maar, 2019):

-considera a existência inicial dos quatro elementos “qualidades elementares”, ou “naturezas”: o calor, o frio, o seco, o úmido;
 -quando estas “qualidades” se combinam com a “substância” formam os “compostos de primeiro grau”: quente, frio, seco, úmido;
 -a união de dois “compostos de primeiro grau” da origem aos quatro elementos:
 fogo = calor + seco + substância
 ar = calor + úmido + substância
 água = frio + úmido + substância
 terra = frio + seco + substância (Maar, 2019, p. 113).

A teoria do “enxofre-mercúrio” dos metais, influenciada pela alquimia chinesa, está relacionada diretamente a essa teoria de Jabir. Na teoria enxofre-mercúrio todos os metais apresentam duas propriedades externas e duas internas: o chumbo é frio e seco, e externamente quente e úmido internamente, já as propriedades do ouro são inversas. De acordo com Jabir, os metais, por influência dos elixires, se formavam a partir da combinação de enxofre e mercúrio (Lambach; Marques, 2011). Assim, é possível imaginar diferentes combinações para diferentes metais, como também a transmutação de metais menos nobres em ouro, com combinações de qualidades perfeitas (Maar, 2019).

As “explicações” dadas a “teoria enxofre-mercúrio” fazem um certo sentido à luz de conhecimentos da atualidade: “a participação do enxofre nos metais explica-se pela presença de enxofre nos minérios do grupo dos sulfetos; o mercúrio era tido como intermediário na fusão dos metais” (Maar, 2019, p.114).

O segundo grande nome da alquimia islâmica é Rases (Ar Razi, 865 d.C. – 932 d.C.), filósofo considerado o Sócrates islâmico e o maior nome da medicina islâmica. Adepto da transmutação e da “teoria mercúrio-enxofre”, porém não acreditava na “teoria do balanço” de Jabir. Além dos “três espíritos” alexandrinos, ele acrescenta um quarto, o sal amoníaco que, no início, era obtido do esterco de camelo. Em suas reações, Rases denomina as substâncias ácidas como “águas fortes”. Dele, surge a primeira classificação dos materiais usados pelos alquimistas, uma das tarefas dos cientistas (Maar, 2019).

Maar (2019) menciona que o declínio da Ciência islâmica se deu a partir do final do século XI e início do século XII. Segundo Sarton (1988 *apud* Maar, 2019), a Cultura islâmica do século XIV continua sendo uma grande cultura, mas que repousa no passado. Nesse período, os europeus ocidentais e do Mediterrâneo

desenvolveram sua criatividade e persistência após receberem as influências da ciência muçulmana, grega e helenística.

6.1.2.2 Alquimia na Europa Medieval (século XII – século XVI)

Como apresentado acima, aparentemente, a Idade Média foi o cenário ideal para o desenvolvimento da Alquimia Europeia. O par perfeito entre a “Idade das Trevas” e a “Arte Negra” (Maar, 2019). A partir das primeiras Universidades, as ciências naturais começaram a mostrar-se independentes, mesmo que, num papel particularmente ambíguo com a ciência escolástica, cuja principal função era demonstrar a verdade da doutrina da Igreja Católica. Nesse contexto, aqueles ou aquelas que se interessavam em investigar a natureza por meio de experiências, estavam sujeitos a associação com os mágicos, feiticeiros e alquimistas (Primon *et al.*, 2000).

Conforme Heer (1968 *apud* Primon *et al.*, 2000), o objetivo da Alquimia Medieval era transformar elementos da natureza em alguma coisa melhor, divina. Para os franciscanos radicais, a alquimia tinha um aspecto político-religioso, como necessidade para a redenção do mundo. Os monges da época acreditavam que estariam contribuindo com a obra de Cristo na transformação e na transmutação do mundo

Por meio das influências do conhecimento científico antigo, os europeus deram origem a moderna Ciência no século XIII, o “Grande Século”, em que surge a consolidação da Alquimia Medieval, cujos maiores representantes foram: Roger Bacon (1220 – 1292) e Alberto Magno (1193 – 1280). É possível prever algumas posturas para um filósofo, estudioso e religioso medieval, como: a volta a Aristóteles, a ênfase na experimentação e o desenvolvimento de um método científico, características observáveis entre as contribuições de Bacon (Maar, 2019).

Roger Bacon classificou as ciências em: perspectiva (a nossa óptica); astronomia (operativa e judicial); ciência dos pesos (a nossa mecânica); alquimia; medicina; agricultura; ciência experimental (uma ideia original de Bacon). Com especial apreço pela Alquimia, Bacon a dividia em: especulativa (trata da formação das coisas a partir dos elementos) e prática (ensina a produzir metais, cores e pigmentos, medicamentos, etc.) (Maar, 2019).

Considerada por Bacon como a mais importante das ciências, a

Alquimia era praticada por meio das “Chaves da Alquimia” (operações), descritas no “Opus Tertius”, tais como: purificação, destilação, abdução, calcinação, ustulação, moagem, mortificação, sublimação, proporção, decomposição, solidificação, fixação, liquefação, projeção e depuração. Apesar de Bacon não ter inventado a pólvora, ele foi o primeiro a descrevê-la com riqueza de detalhes, em 1242 (Maar, 2019).

Alberto Magno, cuja postura diante do conhecimento alquímico foi notável, também era um adepto da experimentação. Para ele, o experimentar é um acautelado processo de observação, descrição e elucidação. Magno propõe dois caminhos para o conhecimento: revelação e fé; filosofia e ciência. Os dois caminhos não são opostos e nem excludentes (Maar, 2019).

No início do século XIV, a Alquimia estava um pouco mais organizada, com o surgimento da metodologia de trabalho. Foi um período de produção de textos, praticamente dos mesmos assuntos, gerando uma multiplicidade de obras. Como descreve Bachelard, o cientista continua, o alquimista recomeça. O fracasso da transmutação fica mais visível a partir do século XV, em que surgem, ao lado dos alquimistas, os “sinceros” charlatões e falsificadores, difamando a imagem alquímica. Alguns alquimistas desse período foram: Geber, Petrus Bonus, Nicolas Flamel, Jordanus Nemorarius, Nicolau de Cusa, dentre outros (Maar, 2019).

Partington (1989 *apud* Maar, 2019) descreve que, apesar dos alquimistas fracassarem em seus principais objetivos, os métodos de transmutação e a pedra filosofal contribuíram para a descoberta de novas substâncias como álcool, ácidos minerais e alguns sais metálicos, colaborando para que, no futuro, se desenvolvesse a Iatroquímica (química dos medicamentos) fundada, principalmente, por Paracelsus (1493 – 1541).

Materiais, equipamentos e teorias alquímicas nos trouxeram contribuições à aquisição do conhecimento da natureza, no contexto filosófico e ideológico da época. Equipamentos de banho-maria, destiladores, substâncias como ácidos, álcool e minerais diversos, continuam a ser usados, embora em diferentes contextos. Diante do exposto, fica claro que a Alquimia prática merece atenção da História da Química, como uma das contribuições à Química Moderna (Maar, 2019).

Quadro 10: No que diferem Química e Alquimia

ALQUIMIA	QUÍMICA
Interpretação subjetiva de dados empíricos (observador integra-se ao observado).	Interpretação objetiva de dados empíricos (observador à distância do observado).
É possível a revelação como forma de aquisição de conhecimento.	Aquisição de conhecimento só por indução ou dedução .
Imaginação (no sentido de especulação sem confirmação empírica) tem lugar na teoria.	A imaginação está excluída como procedimento metodológico de aquisição de conhecimento.
Visão unificadora do conhecimento da natureza.	Visão diferenciadora na tarefa de definir, conceituar e classificar.
Definição de objetivos amplos e permanentes.	Definição de objetivos concretos e limitados, pontos de partida de novos objetivos ("o cientista continua").

Fonte: Adaptado de Maar (2019, p. 92).

Porém, segundo Lopes (1996), precisamos nos atentar para a crítica que Bachelard faz à ideia de continuísmo na História da Química. Há uma tendência a considerar o atomismo grego como o precursor das formulações dos atomistas modernos e a Química como uma derivação da Alquimia, sem considerar as concepções de mundo completamente diversas envolvidos nesses campos de conhecimentos. A Alquimia não investiga as propriedades e transformações das substâncias para conhecer melhor a natureza e construir teorias acerca da matéria, como a Química. Segundo Lopes (1990), o objetivo central do alquimista é alcançar os segredos divinos, autoconhecimento, etc.

Em resumo, no que diz respeito ao conceito de substância na Idade Média, encontram-se ideias bastante semelhantes àquelas desenvolvidas na filosofia grega, com acréscimo de outros elementos. Por um olhar epistemológico, observa-se o reflexo de ideias animistas nos pensamentos alquímicos, por exemplo: a crença de que metais podiam gerar a manter a vida, ou tentativa em obter a matéria "morta" para, a partir dela, gerar vida. Nesse processo, o material morto perderia a maioria de suas propriedades metálicas, se tornando preto, passaria posteriormente por clareamento (cura das doenças) (Silva, 2017).

6.1.3 Substância na Idade Moderna (1453 – 1789)

No século XVI, a Química foi eminentemente prática, com o retorno aos fatos experimentais e abandono das autoridades científicas clássicas. A consolidação da Revolução Científica, normalizada por Francis Bacon (1561 – 1626)

tornaria as Ciências objetivas e materialistas, fornecendo instrumentos necessários a humanidade para dominar a Natureza. O período de Renascença dividiu as Ciências em Humanas e Naturais, cujos campos de estudo tradicionais das universidades eram quatro: tecnologia, direito, filosofia, medicina (Maar, 2019)

As Ciências Naturais eram enquadradas, inicialmente, ora na Filosofia, como foi o caso da Física, ora na Medicina, no caso da Química. Essas divisões de origens da Química e da Física retardou, por muito tempo, a aplicação da Física na interpretação dos fenômenos químicos. Mesmo que hoje admitimos como óbvias as fortes interações entre campos da Física e da Química, a interpretação de fenômenos químicos com recursos provenientes da Física só foi concretizada com a Físico-Química, institucionalizada no século XIX (Maar, 2019).

Na atualidade, alguns historiadores acrescentam as Ciências Tecnológicas, com a exploração da visão de ser a tecnologia uma ciência aplicada, ou aplicação da ciência, cujo desenvolvimento possui sua própria filosofia, metodologia e dimensão social. O renascentista Georg Agricola (1494 – 1555) propôs a primeira ciência tecnológica aos moldes de ciência aplicada: a Ciência da Mineração (Maar, 2019).

6.1.3.1 Século XVI: Paracelso e uma nova revolução

Mais de 250 anos antes de Paracelso, Roger Bacon foi o autor da “primeira revolução” na Química, ao sugerir que os intérpretes e comentadores de Aristóteles fossem substituídos pelo próprio Aristóteles. Todavia, Paracelso suscita a “segunda revolução”, ao propor o abandono a Aristóteles e a todas as autoridades antigas, com o retorno aos próprios fatos e à própria natureza. Nessa perspectiva, o pensamento químico e médico do século XVI está sob as influências de Paracelso (Maar, 2019).

Sem dúvida, Paracelso é o personagem mais controverso da História da Química. Paracelso foi um alquimista e acreditava na transmutação, personificando a bipolaridade da Alquimia: o lado prático e empírico e o lado simbólico e místico. Sua crença na transmutação para preparo de medicamentos. Acreditava na teoria dos quatro elementos, porém, devido as três fases: sólido — líquido — gasoso, Paracelso agrupava os elementos a partir de três princípios: os *tria prima* — sal (corpo) — mercúrio (alma) — enxofre (espírito). Essas três substâncias não são as mesmas

conhecidas atualmente, pois se referem a três princípios, no qual cada corpo tem sua própria espécie de sal, mercúrio e enxofre. A teoria dos princípios (mercúrio — enxofre) é atribuída ao alquimista árabe Jabir ibn Hayyan (721 d.C. – 815 d.C.), que viveu muito antes de Paracelso. Para Hayyan, todos os corpos seriam formados, em diferentes proporções, pelos princípios enxofre (com propriedades combustíveis) e mercúrio (com propriedades metálicas) (Silva, 2017).

Portanto, apesar de seu esforço em abandonar as teorias dos antigos, Paracelso desenvolveu uma teoria com base nos quatro elementos de Aristóteles e na “teoria enxofre-mercúrio” dos árabes, para atender suas finalidades na medicina (Maar, 2019):



De certa forma, os *tria prima* não representa uma ruptura ou quebra de paradigma no sentido kuhniano, mas uma sequência evolutiva, como sugerido por Allen Debus (1926 – 2009). Um desequilíbrio entre os três princípios (sal, mercúrio, enxofre) era a causa das doenças. Os remédios que continham arsênio, antimônio e mercúrio, obrigaram Paracelso a se preocupar com a pureza das substâncias usadas e cuidados analíticos qualitativos e quantitativos, pois “o limite entre o veneno e o remédio é a dose” (Maar, 2019).

Segundo Eric Holmyard (1891 – 1959), Paracelso estabeleceu, inconscientemente, a “Lei Básica da Química”: todas as espécies de um dado indivíduo químico (o mesmo que denominamos de substância química na linguagem de hoje) possuem as mesmas propriedades. Esse pensamento na época de Paracelso não era nem um pouco obvio como nos parece atualmente, até mesmo a teoria das *tria prima* era inconsistente com essa ideia. Entretanto, Paracelso priorizou o fato empírico, num século que ficou conhecido como o século da Química Prática (Maar, 2019).

Nesse período, vários nomes de substâncias são criados, um exemplo é de Jean Baptista Van Helmont (1579 – 1644) que atribuiu ao ácido nítrico o nome de *Ignis Aqua*. Van Helmont também criou a Água-régia (mistura entre ácido clorídrico e ácido nítrico), considerada uma substância distinta, como se fosse o produto de uma reação entre dois ácidos. Van Helmont rejeitava a teoria filosófica dos

quatro elementos e a dos três princípios de Paracelso, porque os verdadeiros elementos primordiais eram a água e o ar, que não poderiam ser convertidos entre si e nem reduzidos a um simples estado. No caso dos elementos fogo e terra, ele não os considerava como princípios, pois o fogo não era matéria como um todo e a terra poderia ser formada a partir da água (Silva, 2017).

Algumas das substâncias eram vistas como forças motrizes da natureza, vida e alma, semelhantemente aos três princípios de Paracelso (sal, enxofre e mercúrio, os quais atribuíam qualidades aos materiais). Uma abundância de substâncias foi sintetizada por diferentes processos. Os processos que utilizavam metais ainda eram considerados transmutação, o que indica que ainda faltava a distinção entre os conceitos de elemento, substância e mistura (Silva, 2017).

Apesar de haver embates entre adeptos e opositores de Paracelso, ele obteve muitos discípulos, paracelsianos de vários países, e influenciou mineralo-metalurgistas, o estudo das plantas, farmácia e química. Seus ensinamentos da medicina química permitiram o uso e preparo de medicamentos, segundo princípios determinados. Seus ensinamentos chegaram ao Oriente Médio, onde era desenvolvida a “Iatroquímica” ou “Química Médica”, considerada a última etapa da Alquimia Islâmica. A Iatroquímica apresentava aspectos mecanicistas que foram reforçados na Química do século XVIII (Maar, 2019).

Basicamente, o século XVI corresponde a um século de transição da Química Antiga para a Química Moderna, com um enfoque empírico e observacional, sobrepondo-se as especulações sem base experimental (Maar, 2019).

6.1.3.2 Século XVII: A Química como Ciência Independente

A Química, como Ciência independente, nasce da feliz fusão, não imediata, de três fatores: da Alquimia Prática; da Filosofia Natural e das “artes” práticas químicas (Maar, 2019). Essa fusão, segundo Weyer (1992), ocorreu, gradativamente, por 200 anos (1550 – 1750). Maar (2019) comenta que algumas obras testemunham o surgimento da Química autônoma, como, por exemplo: a “Alquimia” de Libavius (1597); “Carruagem Triunfal do Antimônio” de Johann Thölde (1604) e a criação do primeiro curso universitário de química, denominado de Quimiatria, por Maurício de Hessen-Kassel da Universidade de Marburg, cuja cátedra foi confiada a Johannes Hartmann em 1609. Esses foram ponto de partida de alguns

aspectos que acompanharam a Química, tais como: a apresentação, em livros-textos, do conjunto dos conhecimentos químicos, sistematizados e organizados; o levantamento dos dados empíricos e das referências literárias dos temas no campo da Química; o ensino universitário de química (ou Quimiatria).

Mas, o que ocorreu com a Química nesse novo século? Num olhar geográfico, a ciência moderna, após Revolução Científica, frutificou em apenas parte da Europa, sobretudo na Inglaterra, França, Alemanha, Países Baixos, norte da Itália e, posteriormente, em meados do século XVII, na Escandinávia. Apesar de Portugal e Espanha terem compartilhado da Ciência renascentista, a Ciência cessou após o século XVI, também no mundo ibero-americano, até o Iluminismo (século XVIII) (Maar, 2019).

Diversos pesquisadores das atividades científicas tentam explicar o motivo da Revolução Científica ter se estabelecido em alguns países apenas. Citaremos dois deles. Para Robert Merton (1910 – 2003), o comportamento ético dos indivíduos e sociedades devem ter influenciado, pois diversos aspectos da ética protestante têm um importante papel no trabalho científico. Por outro lado, o sociólogo Max Weber (1864 – 1920) sugere uma explicação com base em aspectos econômicos. Segundo ele, as nações ocidentais, nas quais a Ciência e Tecnologia se desenvolveram, foram justamente aquelas que possuíam pressupostos econômicos e políticos suficientes para garantir a manutenção da Ciência e Tecnologia e reciprocamente; estas forneciam instrumentos para que o poder político e econômico as sustentassem (Maar, 2019).

A Química do século XVII buscava o que só foi evidenciado no século seguinte, um princípio unificador que permitisse avaliar, de acordo com uma mesma teoria geral, fenômenos diversos como; combustão, fermentação, calcinação, respiração, conversão de minérios em metais e obtenção de substâncias químicas. Atualmente esses fenômenos são considerados claramente químicos, porém na época eram associados a medicina, técnicas práticas e à filosofia natural. (Maar, 2019).

Nesse século, o número de fatos empíricos é maior que o número de dados experimentais dos alquimistas e há uma busca por uma teoria geral que os explique. É uma época de um certo ceticismo e racionalismo, de modo que é possível prever as teorias que podem ou não explicar os fenômenos químicos. Nesse contexto se destaca o “Químico Cético” (1661), obra de Robert Boyle, composta por assuntos

como: conceito de elemento, a lei de Boyle e estudo dos gases, experimentos de combustão, calcinação, etc. O livro é escrito na forma de um diálogo entre defensores das velhas teorias e o químico cético Carneades (que se trata do próprio Boyle) (Ceroni, 2011; Maar, 2019).

Compete destacar que, nessa época, os experimentos alquímicos, continuaram a ser desenvolvidos por outros cientistas de destaque, além de Boyle, como, por exemplo, Isaac Newton que realizou experimentos alquímicos durante os anos de 1669 e 1711. Um incêndio em sua residência, ocorrido em 1668, queimou seus manuscritos alquímicos dos últimos vinte anos, juntamente com sua obra inédita acerca da Luz (Farias, 2010).

6.1.3.2.1 Robert Boyle e o Elemento Químico

Robert Boyle, químico irlandês de formação religiosa, foi escritor no campo moral, da filosofia e da religião. Em meados do século XVII, ele constrói um laboratório em sua casa, tornando-se um entusiasta da prática química experimental. Era um fiel seguidor do empirismo baconiano, por isso acreditava que a experiência deveria ter um lugar de destaque e fundamento em qualquer iniciativa epistemológica. Boyle não apoiava qualquer prática científica que utilizasse experimentos de difícil reprodutibilidade e que não priorizasse a prática empírica no processo de formulação de ideias (Anunciação; Messeder Neto; Moradillo, 2014).

Dois modelos antagônicos compunham a busca dos químicos ao elaborar teorias, nessa época: o modelo da matéria continua e o da matéria descontinua (invocam corpúsculos de natureza diversas, átomos, “moléculas”, corpúsculos sem maiores qualificações, a transmutação passa a ser vista neste prisma). Ressurge um atomismo com nova roupagem, o atomismo científico ao lado do atomismo filosófico. O conceito de elemento por Boyle está inserido nesse atomismo ou descontinuidade ressurgente (Maar, 2019).

Robert Boyle é considerado o mais importante químico teórico e um dos grandes experimentadores do século XVII. Apesar de não chegar a uma teoria satisfatória para explicação dos fenômenos (Maar, 2019), as concepções de Boyle foram marco entre a passagem da Alquimia para a Química. Assim como Van Helmont, Boyle não aceitava a teoria dos princípios filosóficos, ao ponto de fornecer uma definição para o conceito de elemento e mostrar, experimentalmente, que os

quatro elementos de Empédocles (água, terra, ar, fogo) e os três princípios de Paracelso (sal, enxofre e mercúrio) não existiam e nem poderiam ser chamadas de “elementos” ou “princípio de tudo”, haja vista que nenhum deles poderia ser extraído de um corpo ou de metais, por exemplo (Silva, 2017).

Bassalo (2023) descreve que o elemento químico de Boyle representa a forma mais simples da matéria, um componente concreto de uma substância, acabando com o mistério que envolvia o átomo dos gregos antigos, por ser considerado impalpável e imaterial. Boyle concebia a ideia de que os elementos seriam corpos primitivos e simples, sem mistura, que não se originam de outros corpos e nem uns dos outros, mas seriam ingredientes dos demais corpos na Natureza.

Segundo Silva (2017), nessa visão de Boyle, percebe-se um certo distanciamento das ideias filosóficas, que, futuramente, contribuirão para uma nova definição do conceito de substância. Maar (2019) apresenta que Boyle era adepto a teoria atômica e considerada que as partículas elementares se combinavam a partir de afinidades químicas. A formulação de Boyle referente aos elementos como partículas mínimas se aproxima muito das ideias do alemão, um atomista mecanicista Jungius (1587 – 1657).

Conforme as discussões de Carneades, o próprio Boyle não conhecia nenhuma das substâncias ou espécies, na sua época, que atenderiam às características de elemento por ele definida (Cunha Filho, 1984; Maar, 2019). De certo modo, os químicos da época não sabiam o que fazer com o conceito de elemento de Boyle, pois a manipulação racional com esse conceito seria inviabilizada pela crença deles nas demais teorias. Lidar com substâncias realmente elementares só foi possível após a teoria química de Lavoisier (1789). Uma questão que permanece em aberto é o atomismo de John Dalton (1766 – 1844), como fruto ou não dessa evolução (Maar, 2019).

Em sua obra “Químico Cético”, Boyle também reprovava os conceitos de “ácido” e “álcali” como princípios constituintes antagônicos da matéria, proposto por Otto Tachenius (1644 – 1699), cuja teoria afirmava que as propriedades e comportamento das substâncias estariam relacionadas a sua acidez ou alcalinidade. Boyle criticava os métodos experimentais, pois para ele não era possível se obter uma definição satisfatória de um ácido e de uma base, restringindo-se apenas ao fato de haver a evidência de efervescência no contato entre o ácido e uma substância alcalina (Kousathana; Demerouti; Tsaparlis, 2005).

Segundo Partington (1989 *apud* Maar, 2019), há três razões para que Boyle seja considerado “fundador da Química Moderna”: — ele percebeu que a Química deveria ser estudada a parte, independente da Medicina ou da Alquimia (apesar de acreditar na transmutação); — estabeleceu um método experimental e rigoroso na Química; — apresentou uma definição clara de elemento, mostrando experimentalmente que os quatro elementos e os princípios dos alquimistas paracelsianos não são elementos. Maar (2019) lembra que Boyle trabalhou com gases em seus primeiros estudos científicos sistemáticos, dando origem a diversas publicações e conhecimentos importantes da Física e da Química, como, por exemplo, a lei dos gases — $P.V. = \text{constante}$, precursora da termodinâmica, o que chamamos de Lei de Boyle (1662).

Nesse contexto, fica evidente que, gradualmente, a Alquimia vai dando espaço à Química, por meio de várias rupturas com ideias, até então, consolidadas. O conceito de elemento começa a ter suas próprias definições, considerado como “algo que forma as substâncias”, numa visão submicroscópica. Por essa ideia, temos o início da separação entre os conceitos de elemento e substância. Todavia, o ar atmosférico, por exemplo, ainda era visto como substância, por ainda não ter se identificado os diferentes gases que o compõe. Portanto, um limite conceitual claro entre elemento e substância ainda não existia (Silva, 2017).

6.1.4 Substância na Idade Contemporânea (1789 – atualmente)

Como já esperado, este subitem é o mais extenso do texto, pois a Idade Contemporânea compreende vários séculos de desenvolvimento científico e tecnológico racional até os dias atuais. As investigações científicas evoluíram em maior número e velocidade, originando uma variedade de conhecimentos que influenciaram direta ou indiretamente à conceituação de substância química e de demais conceitos científicos.

6.1.4.1 Século XVIII: A Química como Ciência Racional

No século XVIII, as ideias de elementos primordiais estavam perdendo força e o conceito de substância ainda não havia sido formado totalmente na perspectiva química. Por exemplo, a luz e o calor ainda eram entendidos como

substâncias materiais e elementares, como mostra a classificação de Lavoisier. Nessa época observamos uma ruptura epistemológica referente ao desenvolvimento do conceito de substância, saindo de uma visão metafísica, essencialista e generalista, passando para uma visão mais concreta, de substância palpável e manipulável, com seus próprios limites e conceitos, se separando dos conceitos de elemento e mistura. Podemos considerar o início de uma fase empirista-relacional do conceito de substância (Silva, 2017).

Num panorama, a química atingiu sua independência no início do século XVII e sua maioridade no século XVIII. Com a formulação da teoria do Flogístico e a codificação final da teoria das afinidades, a busca de uma teoria geral é recompensada neste novo século, contrariando olhares pessimistas, possibilitando uma teoria geral numa ciência tão diversificada e heterogênea como a Química (Maar, 2019).

6.1.4.1.1 A Afinidade

Por muito tempo o conceito de afinidade foi um dos mais fundamentais conceitos da química, não como uma ideia, por não haver uma concordância do significado do termo, mas como uma pluralidade de significados. A existência de afinidade entre os reagentes é uma concepção espontânea acerca das reações químicas. Segundo Mierzecki (1991), as primeiras explicações para a ocorrência de interações entre substâncias foram propostas por filósofos gregos como Empédocles e Hipócrates (V a.C.). Também, Aristóteles (IV a.C.) abordou fatores que poderiam influenciar na ocorrência das transformações, identificando diferenças e similaridades entre os materiais envolvidos e a interação física de um material com outro (Juisti, 1998).

Desde os primórdios da Grécia antiga, o mistério do motivo de determinadas espécies químicas reagirem entre si, ou formarem compostos, e outras não, foi tema central da ciência da matéria até o século XX, quando se obteve uma explicação racional, matemática e demonstrável, por meio da Termodinâmica. Todavia, um dos pontos altos da teorização e experimentação em torno da afinidade ocorreu no século XVIII. Para Isaac Newton (1642 – 1727), a Química é uma Ciência que se ocupa em separar o que antes estava unido e combinar o que antes estava separado (Maar, 2019).

Segundo Maar (2019), o conceito de afinidade química foi sendo construído no decorrer da História da Ciência, adquirindo diferentes atribuições na antiguidade, na Idade Média e no período mecanicista (séculos XVII – XIX), que podemos resumir em algumas das noções no Quadro 11:

Quadro 11: Síntese do Conceito de Afinidade na História da Ciência

Conceito de Afinidade entre Substâncias	
Antiguidade	Antigos Gregos • Conceito místico e simbólico, quase intuitivo • Ideias de oposição entre “amor” e “ódio”, com variação predominantemente qualitativa • A atividade química poderia ser enérgica ou fraca/parcial • Existem certas forças peculiares que definem estes graus de atração Leucipo e Demócrito • Renuncia a conceitos não naturais ou sobrenaturais • A formação de todas as espécies materiais (as nossas reações químicas) se estabelecem em termos de variações na forma e tamanho dos átomos envolvidos Alquimista Zóximo (limiar da Idade Média) • Os “espíritos” invisíveis, de características próprias do enxofre, arsênico e mercúrio, exercem uma acentuada ação sobre os metais, podendo ligar-se a esses “corpos” (metais) em razão de sua afinidade com estes.
Idade Média	Comentadores de Aristóteles • Aristóteles considera três etapas na transformação dos corpos: o contato, a ação e a transformação propriamente (um estado intermediário no qual se observa a atuação dos corpos elementos de um corpo sobre os elementos de outros corpos, originando novos estados da matéria) • As ideias de tempo e de velocidade são cruciais para os graus de atração na atividade química (Kritsman, 1994 <i>apud</i> Maar, 2019). Alberto Magno • “Afinidade” implica em uma ideia de “semelhança” ente os corpos que reagem (Stillman, 1960 <i>apud</i> Maar, 2019). • “O enxofre destrói os metais devido à sua afinidade por eles” Alquimista Geber • Série de atividades dos mentais: ordem decrescente de reatividade (afinidade) com o mercúrio (reação de amalgamação) $Au > Sn > Pb > Ag > Cu > Fe$ Teófilo o Monge • Dizia que um metal mais “forte” deslocava um metal mais “fraco” de seus compostos (ideia implícita de afinidade) Johann Rudolf Glauber (séc. XVII) • A ideia de afinidade nasce da caracterização do HCl com ácido e do ZnO com um composto alcalino, ou seja, da afinidade entre ácidos e bases.
Período Mecanicista	Robert Boyle (século XVII) • Oposição a noção mística e simbólica de “amor” e “ódio” para a afinidade • Início de uma explicação mecanicista para a noção de afinidade • Segundo Partington (1969), Boyle entendia a afinidade como resultado de formas apropriadas das partículas que lhes permitiam aderirem umas às outras (Justi, 1998) Isaac Newton (séculos XVII-XVIII) • À luz da teoria corpuscular: as partículas, muito pequenas, constituem os corpos e são dotadas de certas forças para atuarem, à distância, umas sobre as outras. • Há entre os “entes” corpusculares “químicos” uma atração semelhante ao que ocorre na Gravidade, na Eletricidade e no Magnetismo. Etienne François Geoffroy (séculos XVII-XVIII) • Afinidade é considerada como sendo determinada pela natureza da substância • Primeiro avanço significativo no estudo empírico da afinidade química • Tentativa de buscar uma lei geral e explicações para a afinidade • Primeira Tabela de Afinidades Químicas (1718), demasiadamente simbólica para a ciência mecanicista. Pierre Joseph Marcquer (século XVIII) • Classificou diferentes tipos de Afinidades: de agregação, de composição, complexas, de meio, de decomposição, recíproca e dupla. Torben Olof Bergman (século XVIII) • Considera a afinidade entre substâncias como sendo fixa, podendo ser expressa por números relativo, conceito que passou a ser universal desde 1775.

Fonte: Com base em Maar (2019) e Justi (1998).

Diferentes tabelas para afinidade foram elaboradas, sendo vistas com

bons olhos pelos químicos da época, como uma tentativa de racionalizar a ocorrência ou não de determinadas reações. Antoine Laurent de Lavoisier (1743 – 1794), apesar de não discutir afinidades em sua obra “Tratado Elementar de Química”, aceitou a tabela proposta por Bergman, com algumas ressalvas referentes, por exemplo, a necessidade de se considerar o fator temperatura, dentre outros apontamentos. Posteriormente, Vicente Teles (1764 – 1804), apresenta em “Elemento de Química” (1788), uma visão da Química moderna, sob a óptica de Lavoisier, mencionando tabelas de afinidades entre ácidos e bases, com valores relativos às afinidades entre eles, e prevendo a ocorrência ou não das reações (Maar, 2019).

Na opinião de historiadores, a última manifestação da “teoria da Afinidade” é o “dualismo eletroquímico” (1810) de Berzelius. a última manifestação da “teoria da Afinidade” é o “dualismo eletroquímico” (1810) de Berzelius. Blondel-Mégrelis (1990), num artigo mais recente, argumenta a respeito das limitações do conceito de Afinidade. Uma reflexão que permanece em aberto é “até que ponto o conceito de Afinidade é ou não obsoleto no século XIX, o século do desenvolvimento das estruturas na Química” (Maar, 2019, p.467). Com o desenvolvimento da Físico-Química surgiram novas formas de ver a reatividades entre reações químicas, superando a ideia de afinidade cultivada no século XVIII (Maar, 2019).

Mas, por que a teoria polêmica Flogístico — Lavoisier obteve mais holofotes que a teoria da afinidade do século XVIII? A forte personalidade de Lavoisier, juntamente com as conotações, até extra científicas, da polêmica Flogístico, conseguiram manter sua publicidade, ao passo que a teoria da Afinidade, simplesmente, saiu de cena, mesmo com sua inegável importância para o entendimento do porquê das reações químicas (Maar, 2019). Na visão de Giuseppe del Re (1997 *apud* Maar, 2019), tanto a Química quanto a Físico-Química confirmaram existência das “Afinidades” propostas pela Alquimia.

Podemos concluir que, o conceito de Afinidade evoluiu a ideia de uma “substância” em combinação com outra, revisitando a noção de que quando duas substâncias se combinam, combinam-se de alguma forma, exibem algum tipo de ligação entre elas. Essa forma de combinação, embora primitivamente, foi sugerida pelos defensores dos modelos atomísticos como Leucipo, Demócrito e Lucrecio (Maar, 2019).

A questão das forças repulsivas e atrativas envolvidas no estudo da Afinidade aponta para os conceitos da termodinâmica, em termos de energia. Assim,

uma forma abstrata do conceito de substância química, como a que conhecemos hoje, começa se formar (Silva, 2011).

6.1.4.1.2 Da Combustão à Teoria do Flogístico

O fogo é considerado a primeira grande descoberta da humanidade, que possibilitou a modificação da sobrevivência e qualidade de vida (Maar, 2019). Segundo Bachelard (2006), por muito tempo os cientistas, ao longo do processo histórico, acreditavam que ao resolverem o enigma do fogo estariam também resolvendo o enigma central do Universo. Maar (2019) explica que a combustão, ou calcinação, é um dos fenômenos centrais da Química moderna ou antiga, acompanhada por muitas interpretações na história. No entendimento do autor, a combustão é um fenômeno precursor da tecnologia:

A combustão, junto com a luz e o calor ao mesmo tempo liberados, são como que “fenômenos primários”, que mesmo difíceis de entender com o intelecto, e por isso explicados inicialmente pelo homem em termos místicos e mágicos, estão na base do que entendemos como desenvolvimento tecnológico (Maar, 2019, p. 469).

A grande relevância da ligação entre o fogo e a química (na combustão, na forma de calor ou energia) é evidente na simbologia do triângulo, utilizada pelos alquimistas para o elemento fogo. Na indicação de aquecimento em reações química, o triângulo é um vestígio da antiga simbologia químico-alquímica que sobrevive até a atualidade (Maar, 2019). Dentre as diversas explicações dadas ao fenômeno da combustão durante a evolução da Química estão: — “liberação do elemento fogo”; — “queima do conteúdo em enxofre”; — “combinação com o elemento ou princípio fogo”; — “combinação com um componente do ar e de outros materiais comburentes”; — “participação simultânea de fogo e ar”; — “combinação com o oxigênio” (Maar, 2019, p. 470).

Vimos que, para os filósofos naturais da antiguidade, que concebiam a teoria dos quatro elementos, a combustão era considerada, simplesmente, a liberação do elemento fogo. Heráclito dizia que o fogo seria o princípio último de todas as coisas, e, ao mesmo tempo, agente de transformação da matéria. No período medieval alquimista, o enxofre é o único princípio que queima, dentre os três princípios (enxofre, mercúrio, sal). Porém, entre os químicos e alquimistas posteriores, o fogo é

conjeturado na combinação de “partículas” (Maar, 2019).

Num parentesco entre a respiração, a combustão e diferentes formas de queima, do papel ao ar, no fenômeno da combustão, foi sendo trabalhado intuitivamente e muitas hipóteses vigoraram simultaneamente. Desde Leonardo da Vinci (1452 – 1519), Gerônimo Cardano (1501 – 1576), Julius Caesar Scaliero (1484 – 1558), Pierre Bayen (1725 – 1798) até Robert Boyle, dentre outros nomes, diferentes teorias foram sugeridas para a questão da combustão (Maar, 2019).

Segundo Maar (2019), o aumento de peso na calcinação de metais foi observado por diferentes cientistas como, por exemplo, Eck von Sulzbah (1489), Jean Rey (1630), cujas publicações ficaram no esquecimento por quase meio século, até que em 1775, Pierre Bayen republicou as conclusões de Jean Rey, em meio à polêmica sugerida com a publicação de Lavoisier, referente ao aumento do peso na calcinação, em 1774. Além disso, Boyle foi o autor da proposta da combinação do metal com partículas de fogo (natureza corpuscular), como consequência de seus experimentos, resultado em conclusões empíricas com: “o metal aumenta de peso com a calcinação”; “a cal (*calx*) formada tem densidade menor do que a do metal” (Maar, 2019, p. 476).

Maar (2019) apresenta alguns experimentadores mecanicistas (físicos, médicos, iatroquímicos) de Oxford obtiveram papel de destaque na história da combustão, como mostra o quadro a seguir:

Quadro 12: A evolução do fenômeno da “Combustão”

Autor	Processo	Provoca a queima	O que queima
Robert Hooke (1665)	Dissolução	Salitre (ou um princípio nele presente)	Compostos “sulfurados”*
Thomas Willis (1671)	Combinação	<i>Pabulum nitrosum</i> (partículas nitrosas)	Partículas “Sulfuradas”*
John Mayow (1674)	Reação	Espírito nitrato (25% do ar)	Partículas “Sulfuradas”*
Hoje	Reação	O ₂ do ar como comburente	Materiais combustíveis

*Sulfurado: entende-se como contendo o “princípio” enxofre e não a substância elementar enxofre.

Fonte: Maar (2019, p. 484).

Historiadores consideram que essas ideias de Hooke, Willis e Mayow vislumbraram os aspectos reais envolvidos na combustão, pela primeira vez. Mayow confirmou efetiva e empiricamente o papel do “oxigênio” na combustão e na respiração. Após seus trabalhos, a teoria do Flogístico foi firmada com os alemães

Johann Joachim Becher (1635 – 1682) e Georg Ernst Stahl (1660 – 1734), por uma interpretação de combustão bem diferente, que representa a aceitação geral da teoria do Flogístico, como um modelo integrado ao modo de pensar da época (Maar, 2019).

Dentre os conhecimentos químicos históricos atribuídos a Becher destacam-se: — o gás eteno (1669, pela desidratação do álcool em meio ácido e a quente); — o alcatrão da hulha (1665); — obtenção do álcool a partir de batatas; entendeu que a fermentação necessita de “substâncias doces”. Quanto a sua teoria do Flogístico, alguns historiadores acreditam que esta bloqueou o desenvolvimento da Química ao contribuir para que as ideias de Hooke, Willis e Mayow deixassem de ter continuidade. Por outro lado, a grande maioria dos historiadores a consideram benéfica em suas influências, como um passo importante no desenvolvimento da Química moderna, ao sugerir uma primeira generalização teórica, que mesmo que errônea, estava à frente do pensamento químico por cem anos (Maar, 2019).

Para Becher, na teoria da matéria, as substâncias são constituídas por ar, água e terra (três tipos de terra: verificável = sal, mercurial = mercúrio, combustível = enxofre = *terra pinguis*). *Terra pinguis* foi mais tarde denominada por Becher de Flogístico (do grego: “inflamar-se”), com peso e propriedades definidas. Stahl foi um vitalista que deu continuidade as ideias de Becher. Além da teoria do Flogístico, forneceu contribuições teóricas e práticas como, por exemplo, a obtenção do ácido acético concentrado pela primeira vez (por meio da destilação do acetato de cobre) e desenvolveu um método para obtenção da soda a partir de sal de cozinha (não viável economicamente) (Maar, 2019).

Para a teoria do Flogístico, Stahl se fundamentou em Paracelso e substituiu o enxofre da “teoria dos três princípios” (sal, enxofre e mercúrio) por uma substância hipotética denominada “flogisto”, que causaria o fogo. Essa substância hipotética seria constituída por minúsculas partículas que constituíam todo o mundo animal, mineral e vegetal. Essas partículas não impressionavam os sentidos quando em estado puro, isolado de outras matérias. De modo que a combustão acontecia quanto havia a separação do flogisto da sua matéria de origem. Assim, por exemplo, na queima da madeira ou do carvão restam as cinzas, logo, a soma do flogisto liberado na combustão com as cinzas seria a madeira, ou carvão. Essa teoria também, aos químicos da época, conseguia explicar convincentemente o fenômeno de redução dos metais (Motoyama, 1974).

É importante destacar que a teoria do Flogístico não foi formulada por

mentes nebulosas, numa confusão de ideias sugeridas do improviso e do acaso, mas sim como um produto do século XVIII. Esse entendimento requer a exposição das hipóteses e linhas de raciocínio, sua coerência interna, suas falhas e consequências e a destruição de uma série de preconceitos a respeito. Assim, o Flogístico é uma generalização teórica herdeira dos princípios químicos que surgiram com Paracelso, ou antes dele (Maar, 2019).

A teoria do Flogístico se difundiu, a partir das terras germânicas, para outros centros europeus como França e Inglaterra. Em meados do século XVIII o Flogístico seria aceito pela grande maioria dos químicos da época, sofrendo inúmeras modificações e adições, posteriormente com a incorporação de dados experimentais, compatibilizando-o com demais correntes do pensamento químico (Ferraz, 1991).

Os desenvolvimentos da Química como racional experimental continuaram por todo o século XVIII, trazendo novos elementos, reações e substâncias, que omitimos nesse texto. Partiremos para a Química dos gases, cujo marco do conceito de substância começa a ser evidenciado.

6.1.4.1.3 Química Pneumática: o “surgimento” da Substância Química

Consideremos aqui, a “Química Pneumática” ou química dos gases, por seus aspectos descritivos e não a partir do comportamento físico ou mecânico, expresso na lei de Boyle, na bomba de vácuo de Guericke ou nos estudos da pressão de Blaise Pascal. Vale ressaltar que, ainda que os helenísticos utilizassem o *Kerotakis* para reações com gases, os alquimistas e os iatroquímicos, de certo modo, até os químicos, deixaram de lado o estudo dos gases, talvez por se tratar de algo sem “corporalidade” ou “substancialidade” como demais materiais e pelos equipamentos primitivos (Maar, 2019).

Jan Baptist van Helmont (1577 – 1644) foi quem elaborou o conceito e termo “gás”, diferenciou “gases” de “vapores”, obteve o “gás silvestre” (gás carbônico). Apesar das suas conclusões serem precárias e precipitadas, com Helmont, o gás passou a integrar a Química como um produto de reações, despertando, entre os cientistas, maior interesse e seriedade (Maar, 2019).

Segundo Maar (2019), a ciência inglesa foi marcada pelo empirismo do século XVIII, cujo auge se deu nas investigações dos químicos pneumaticistas, com vários representantes, dentre eles estão: Stephen Hales (1677 – 1761), Joseph

Black (1728 – 1799), Henry Cavendish (1731 – 1810) e Joseph Priestley (1733 – 1804), Daniel Rutherford (1749 – 1819) e David Macbride (1726 – 1778). Destacaremos Hales, Black, Cavendish, Scheele (alemão) e Priestley, cujas contribuições ao conceito de substância são bastante relevantes.

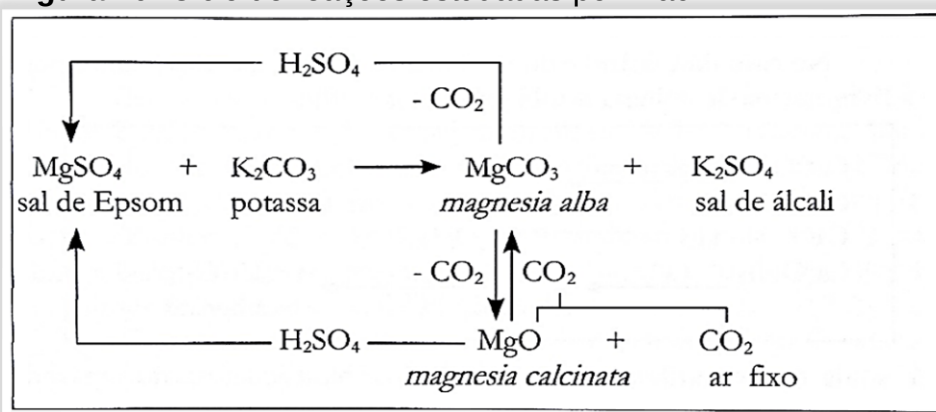
➤ *Contribuições de Hales, Black, Cavendish, Scheele e Priestley*

Hales estudou Teologia e Ciências, principalmente Botânica e Química e poderia ser hoje enquadrado na interdisciplinaridade. O estudo dos gases de Hales, baseado na química quantitativa, estabeleceu um elo entre os estudos não sistematizados de Helmont e os já sistematizados, posteriormente, de Black e Priestley (Maar, 2019).

Hales considerava o ar como um elemento e submeteu diversos materiais vegetais e minerais à destilação, para verificar o quanto de ar havia na composição das substâncias (Maar, 2019). Nessa época, ainda não havia uma ideia formada de substância, portanto a generalização prevalecia no pensamento científico e para Hales, todos os gases que se formavam a partir do aquecimento dos materiais eram “ar”. (Partington, 1989 *apud* Silva, 2011). Segundo Partington (1989 *apud* Maar, 2019), os estudos de Hales fracassaram por ele não se preocupar com a diferenciação química qualitativa dos gases liberados.

Hales foi o pioneiro em entender que as plantas retiravam parte de seu alimento do ar, que perdem água pelas folhas na “transpiração” e percebeu a importância da luz nesse processo de assimilação, influenciando diretamente Jan Ingenhousz (1730 – 1799), na teorização da fotossíntese. Hales desenvolveu equipamento importante que, até então, não existia, para coleta de gases, a cuba pneumática, que foi fundamental para os trabalhos posteriores de Black, Cavendish, Priestley e outros (Maar, 2019).

Black era médico e químico, também, um dos grandes cientistas do século XVIII. Alguns historiadores mais otimistas o consideram como o verdadeiro “descobridor” do gás carbônico em 1755, ao identificar e caracterizar devidamente o gás, denominando-o de “ar fixo”, diferentemente de Helmont, que confundia o “gás silvestre” com outros gases. Black, além dos estudos com álcalis e sua relação com o gás carbônico, também desenvolveu experimentos com magnésia, cujo ciclo de reações, com simbologia atual (Maar, 2019), apresentado na Figura 10.

Figura 10: Ciclo de reações estudadas por Black

Fonte: Maar (2019, p. 623).

A partir dos trabalhos de Black e de demais contemporâneos, observa-se o início da valorização da determinação das propriedades físicas e químicas dos sólidos, experimentalmente, com base em um pensamento mais racionalizado, em comparação com as ideias anteriores (Silva, 2011). Leicester (1967 *apud* Silva, 2011) destaca que o trabalho de Black permitiu novos caminhos para o estudo das substâncias, ao superar a ideia de que os gases não interferiam nas reações químicas.

Cavendish, que descendia de alta nobreza inglesa e possuía uma personalidade excêntrica e misógina, vivia fora do círculo social e só se pronunciava em reuniões científicas. Sua notória capacidade intelectual o tornou um excepcional experimentador, superior até mesmo que Lavoisier, neste aspecto. A maioria de seus experimentos químicos se referem ao estudo dos gases, do ar atmosférico e da água, cujos principais destaques se deram na evidência do hidrogênio, na compreensão da composição do ar atmosférico e na síntese e composição da água (Maar, 2019).

A História da Ciência nos deixa suspeitas de que os alquimistas, em seus experimentos com ácidos minerais em reação com metais, obtendo diversos “ares” não caracterizados, poderiam estar produzindo o hidrogênio. Assim como demais experimentos de Theodore Turque de Mayerne (1575 – 1655), Boyle (1627 – 1692) e Nicolas de Lémery (1645 – 1715), que estudaram gases. Contudo, a caracterização, identificação e diferenciação do hidrogênio de outros gases, deve-se, indiscutivelmente, a Henry Cavendish em 1766 (Maar, 2019).

Cavendish continuou as pesquisas com o “ar fixo” de Black, porém com uma natureza mais física. Desenvolveu técnicas e equipamentos de manipulação de gases, cubas pneumáticas mais sofisticadas, podendo determinar a quantidade de

gás liberada por calcário ou por carbonato de potássio. Observou que, em um ar contendo 11% de CO_2 , a chama se apaga. Ao tratar metais com soluções diluídas de ácidos, obteve um “ar” altamente inflamável, aceitando a seguinte hipótese: “ar inflamável” = [hidrogênio] = flogístico. Posteriormente, Priestley e o irlandês Richard Kirwan (1733 – 1812) defenderam essa ideia, após o experimento de Priestley, que resultou no uso do hidrogênio como agente redutor (Maar, 2019).

A partir daí, surgiram diferentes interpretações que levaram muitos críticos da teoria do Flogístico a considerarem desnecessária. Como exemplo, temos o flogistonista alemão Friedrich Albert Carl Gren (1760 – 1798) que dizia que o “ar inflamável metálico” não seria o mesmo com os metais e não concordava com a equipartição flogístico = “ar inflamável” (Maar, 2019).

Cavendish foi o primeiro químico a realizar experimentos quantitativos com gases, determinando suas densidades em relação ao ar, entusiasmando físicos e aventureiros do século XVII ao vôo em balões, no “mais leve que o ar”. Vários métodos de obtenção de gás hidrogênio foram propostos por diferentes cientistas e estudos se desenvolveram a respeito, por Lavoisier e colaboradores. Em 1781, Cavendish, em paralelo com os experimentos da determinação da composição do ácido nítrico, evidenciou a composição do ar atmosférico por meio de descargas elétricas, cujas influências contribuíram muito para os estudos dos efeitos de faíscas em reações químicas, da corrente elétrica, da polaridade, invenção do para-raios, etc. (Maar, 2019).

Da interpretação de seus resultados empíricos, Cavendish concluiu que o ar atmosférico era composto por uma mistura de “ar desflogisticado” (O_2) e “ar mefítico” (N_2), sendo o “ácido nítrico” (NO_2) um composto formado por esses gases (Maar, 2019). É importante ressaltar que, essas descobertas sempre foram acompanhadas pelo estudo das propriedades dos gases, o que permitia uma caracterização de cada substância. Consideramos, aqui, o “nascimento” das primeiras definições da “substância química”. A noção de substância começa a se distanciar da ideia de “essência de todas as coisas” e se aproximar do racional (Silva, 2011).

Os experimentos de Cavendish acerca da água foram realizados por volta de 1782 e 1783. Porém, muitos físicos e químicos do último quartel do século XVIII investigavam a água, o que seria decisivo para a formulação da nova teoria química de Lavoisier. Esses cientistas foram envolvidos em uma grande polêmica da “prioridade da descoberta”, que ficou conhecida como “Controvérsia da Água” (1782

– 1785), fomentada pela demora na divulgação das pesquisas e dificuldade na comunicação entre os cientistas. A “Controvérsia da Água” revela o quanto certos desenvolvimentos científicos são alcançados quando a comunidade científica está madura e que, para a Ciência, o que importa é a interpretação mais correta possível dos resultados, em detrimento da patente de “grandes homens” (Maar, 2019).

Priestley parece ter sido o primeiro a obter dados de natureza composta e não elementar da água. Com sua autorização, Cavendish repetiu os experimentos de Priestley e conseguiu examinar as proporções, em volumes, em que se combinava os “ares”. Observa-se que a natureza composta da água fica cada vez mais evidente com a possibilidade de sua decomposição (Maar, 2019). Em síntese, como destacado por Partington (1989 *apud* Maar, 2019), Cavendish forneceu à ciência da época os melhores dados empíricos referentes a composição da água, ao passo que Lavoisier forneceu a melhor explicação teórica.

Quanto ao alemão Scheele, que era de origem pobre, sempre trabalhou com poucos recursos e grande parte de seus resultados foram publicados por Priestley (Silva, 2011). Com educação formal e científica mínima, se tornou um dos mais famosos químicos experimentais de todos os tempos ao observar, isolar e caracterizar uma abundância de elementos e compostos orgânicos, de cujas interpretações partiram da teoria do flogístico. Seus estudos com gases o levam a provar que o ar consistia em dois fluidos elásticos, nos quais um deles suporta a combustão e calcinação (ar de fogo, oxigênio) e o outro (ar impuro ou viciado, nitrogênio) não (Wisniak, 2009).

Muito da discussão literária em torno do verdadeiro “descobridor” do oxigênio (se Scheele ou Priestley) se originou após um infeliz incidente no processo de publicação do livro de Scheele entre 1775 e 1777. O fato é que muitos de seus trabalhos relatados no livro foram realizados no início de sua carreira química. Nessa época da publicação, o oxigênio já era conhecido na comunidade científica e muitas das observações contidas no livro de Scheele haviam sido publicadas primeiro (Wisniak, 2009).

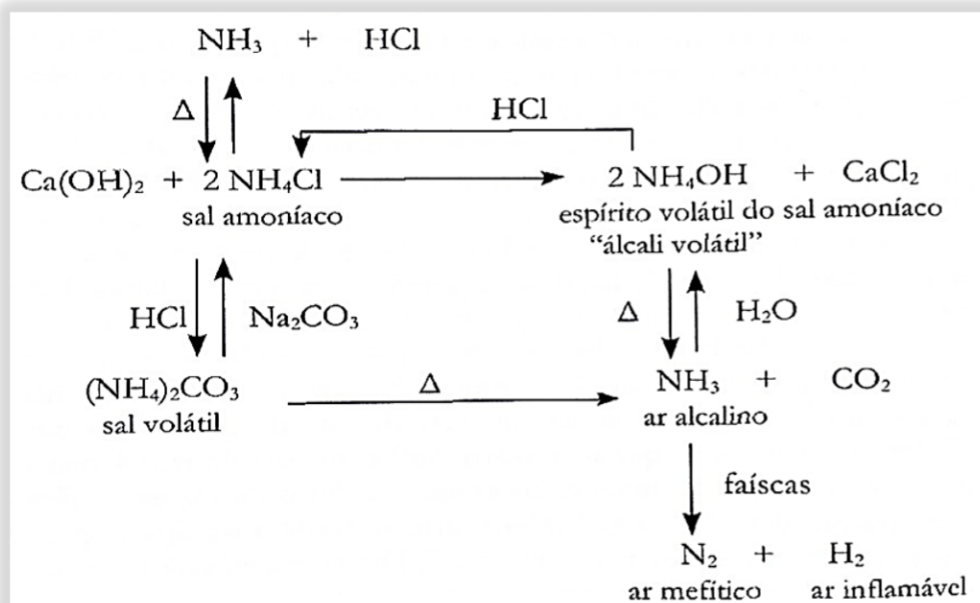
Priestley, em 1774, havia informado Lavoisier acerca de sua “descoberta” de um novo e notável gás. Entretanto, Priestley começou a trabalhar com gases mais ou menos entre 1768 e 1770 e nessa época, Scheele preparou, coletou em bexiga e examinou algumas propriedades do “ar fixo” (dióxido de carbono) e estudou vapores (óxidos de nitrogênio) emitidos por ácido volátil de nitro (ácido

nitroso). Os manuscritos de Scheele revelam que ele isolou oxigênio de várias substâncias, incluindo cal de mercúrio vermelho (óxido de mercúrio) há pelo menos dois anos antes do famoso experimento de Priestley de 1774 (Wisniak, 2009). Há, portanto, um consenso de que Scheele identificou e caracterizou o oxigênio em 1771, e Pierre Bayen em 1773, portanto, antes mesmo de Priestley. De qualquer forma, em primeiro de agosto de 1974, os norte-americanos comemoraram o bicentenário da Química, referindo-se aos 200 anos de descoberta do oxigênio por Priestley (Maar, 2019).

Priestley foi um inglês, também de origem pobre, um poliglota autodidata, admirador da revolução francesa e inimigo da ordem política e religiosa estabelecida. Apesar de eleito para a Royal Society em 1766 pela comunidade científica, Priestley não era muito bem-quisto por todos os acadêmicos. Mais tarde, Cavendish passou a evitá-lo, devido a sua hostilidade com ele e em virtude da sua postura religiosa de “livre-pensador” (Maar, 2019).

Priestley isolou e caracterizou um número incomparável de gases, em comparação aos seus contemporâneos. Por morar próximo a uma cervejaria, tinha acesso a bastante gás carbônico para utilizar em seus experimentos. Dentre eles criou a água com gás, que Priestley acreditava possuir propriedades medicinais. Em seus experimentos com gases, ele utilizava cuba pneumática com mercúrio ao invés de água, permitindo a identificação de gases não solúveis em água (Silva, 2017).

Os experimentos de Priestley com gases envolveram, além do isolamento e preparação, a caracterização de suas propriedades, que foram publicadas em sua obra “Experiments and Observations on Different Kinds of Air” (Londres, 1774), contemplando os dez “ares” de Priestley: óxidos de nitrogênio (NO , NO_2 , N_2O), “ar do ácido marinho” (HCl), “ar alcalino” (NH_3), “ácido vitriólico volátil” (SO_2), “ar fluoro-ácido” (SiF_4) “ar inflamável pesado” (CO). Em carta ao amigo Lindsay, em 1770, Priestley reconhece que seus estudos partem das investigações de Stephen Hales (Maar, 2019). As reações químicas com a amônia podem ser representadas, na simbologia de hoje, pela Figura 11:

Figura 11: Reações envolvendo a amônia conhecidas no tempo de Priestley (c.1775)

Fonte: Maar (2019, p. 658).

Priestley identificou o gás oxigênio, em 1774, a partir de um experimento com o aquecimento do óxido de mercúrio. Adepto a teoria do flogístico, ele deduziu que uma vela acesa libera flogisto e o fogo se apaga quando se coloca um copo em cima pelo fato de que o ar fica saturado de flogisto. O novo gás (oxigênio) deixa a chama mais viva, portanto, essa nova substância possui pouquíssimo ou quase nada de flogisto. Assim, Priestley concluiu que: ar flogisticado (nitrogênio) = ar + flogístico (*foul air* descoberto por Scheele); ar desflogisticado (oxigênio) = ar – flogístico (*fire air* descoberto por Scheele) (Silva, 2017).

Podemos considerar que o auge dos estudos dos gases, antes de culminar na construção das definições formais para substância química, se deu com os trabalhos de Priestley. (Silva, 2017). Como destaca Silveira (2003), a identificação do oxigênio é um marco importante para determinação de propriedades que antes eram fruto da visão elementar da matéria. O fogo característico da teoria do flogístico, a partir de agora, poderá ser interpretado a partir das relações entre matérias, como a combustão, por exemplo.

Observamos, nos trabalhos dos químicos pneumaticistas, que para cada substância nova identificada, havia uma caracterização com base em estudos das propriedades físicas e químicas, manifestas macroscopicamente. Desse modo, o conceito de substância química emerge em meio a um pensamento empírico que passaria a ser formalizado, posteriormente, com as definições de átomo, molécula,

elemento químico e substância, por olhares submicroscópicos da matéria (Silva, 2017).

6.1.4.1.4 *Química Moderna e Lavoisier*

Dentre as inúmeras transformações ocorridas na Química no final do século XVIII, com uma revisão e renovação de teorias e conceitos vigentes, o nome do químico Antoine Laurent Lavoisier (1743 – 1794) foi o mais citado. As transformações foram tão significativas que não apenas a estrutura lógica do conhecimento químico foi reformulada, como também a sua estrutura linguística, o que se convencionou chamar de “Revolução Química” (termo utilizado pelo próprio Lavoisier), um dos episódios mais marcantes da História da Ciência, até comparado com a Revolução Copernicana, ou ao Evolucionismo de Darwin, Wallece, Bates (Maar, 2019).

Alvo de atenção e de muitos estudos recentes, a “Revolução Química” passa por uma revisão do trabalho do próprio Lavoisier e de seus colaboradores, deixados em segundo plano por muito tempo, e de outros cientistas do período, apontando uma visão de “Evolução Química”, vista num contexto geral, considerando aspectos político-sociológicos, filosóficos, econômicos, psicológicos, ideológicos, nacionalistas e demais contextos. O êxito final da Química de Lavoisier não pode ser resumido na vitória da ciência empírica, mecanicista, materialista e racionalmente organizada. Trata-se de um conflito de visões de mundo, na fusão da simplicidade, da racionalidade e da objetividade, apresentando uma Química organizada, sistematizada, capaz de ser entendida (Maar, 2019).

Lavoisier nasceu em 1743, em Paris, com origem de família de advogados. Pode ter boa qualidade de ensino, devido às posses de seu pai, e cursou direito, vindo a se tornar funcionário público, por isso ele nunca foi um cientista em tempo integral. Digamos que sua formação científica foi autodidata, como alguns outros cientistas notáveis. Quanto à conhecida personalidade polêmica de Lavoisier, a história o descreve como orgulhoso, ambicioso, quase arrogante, sem muitos escrúpulos ao se apropriar de trabalhos de outros, deixando de citar fontes e referências, com necessidade extrema de estar sempre em evidência (Maar, 2019).

Porém, independentemente do julgamento feito acerca de seu caráter e de sua personalidade, não altera em nada o fato de Lavoisier ser uma das maiores

expressões da Ciência do século XVIII. Segundo Poirier (2004), Lavoisier está para Química assim como Newton para a Física, Bohr para a Mecânica Quântica e Einstein para a Relatividade (Maar, 2019). Mas, o ditado que diz “atrás de um grande homem há sempre uma grande mulher”, nunca foi tão apropriado a Lavoisier. A tarefa extraordinária de Lavoisier não teria sido possível sem contar com sua principal colaboradora e esposa Marie-Anne Pierrette Paulze (1758 – 1836), que participava de seus experimentos, era encarregada de todo o laboratório e montagem de aparelhos, aperfeiçoava técnicas quando Lavoisier não estava presente, gravando e ilustrando graficamente os resultados, atuando como tradutora e intérprete, escrevendo os relatórios, etc. (Katz, 2011).

Após o casamento, Lavoisier instruiu a esposa Marie-Anne com conhecimentos de Física e de Química e gestão dos recursos de laboratório e, gradualmente, ela se tornou a responsável pelo laboratório de Lavoisier. Mas na época, as mulheres não eram bem-vistas na ciência e Lavoisier frequentemente apresentava trabalhos na Academia de Sciences de Paris, sem sequer mencionar a esposa como colaboradora. Todavia, nos últimos anos, podemos encontrar vários autores encarregados de investigar e analisar a importância que Marie-Anne teve na produção científica de Lavoisier (Katz, 2011).

Figura 12: Marie-Anny e Lavoisier (Óleo sobre tela). *The Metropolitan Museum of Art in New York*



Fonte: Katz (2011).

A quantidade de documentos, manuscritos e livros lidos, traduzidos ou sintetizados em anotações por Marie-Anny passam de três mil. Sua superior capacidade linguística era incomparável a de seu esposo Lavoisier. Há ainda uma dúvida que persiste, a nomenclatura da Química Moderna, atribuída a Lavoisier, não seria, ao menos em parte, também de autoria de Marie-Anny? (Patiño *et al.*, 2014).

Além de Marie-Anny, Lavoisier contou com outros colaboradores como: os estudos do russo Michail Vasilievitch Lomonossov (1711 – 1765), pioneiro da físico-química, os contemporâneos que compunham sua “equipe”, Marquês de Laplace (1749 – 1827), Claude Louis Berthollet (1748 – 1822), Louis Bernard Guyton de Morveau (17337 – 1816), Antoine François Fourcroy (1755 – 1809), Jean Henri Hassenfratz (1755 – 1827), Pierre Auguste Adet (1763 – 1832). Armand Séguin (1765–1835), que elaboraram muitas das ideias da “equipe” de Lavoisier. Vale ressaltar que muitos de seus amigos e colaboradores o abandonaram próximo ao seu julgamento e morte pela corte francesa, em 1794 (Maar, 2019).

Segundo Lavoisier (1789), as ideias só devem surgir como resultado imediato de uma experiência ou de uma observação, assim como na infância, cujas ideias aparecem das necessidades:

Quando nos dedicamos pela primeira vez ao estudo de uma ciência estamos em relação a ela em um estado muito análogo àquele em que se encontram as crianças, e o caminho que temos que percorrer é precisamente o que segue a natureza na formação das suas ideias (Lavoisier, 1789/2007, p.18).

Lavoisier traz um “recomeço” à Ciência Química, pois, a “nova” química de Lavoisier necessita dos fatos de Paracelso, de Helmont, de Boyle, de Cavendish do Stahl, porém não precisa de suas explicações. Nesse sentido, Lavoisier se refere a *tabula rasa*, na introdução de seu “Tratado Elementar de Química” (1789) (Maar, 2019). Thomas Kuhn (1923 – 1997), filósofo e historiador da ciência, acredita que o “Tratado” de Lavoisier está entre os livro-chave da Ciência, como aqueles que definem os problemas e a metodologia de determinadas áreas de estudo, constituindo um paradigma que serve de base para o desenvolvimento da Ciência normal. Todavia, entender a passagem da velha para nova Química “apenas” como mudança de paradigma não é tarefa fácil para todos os historiadores, visto que ambas as Químicas abordaram conjuntos de problemas completamente diferentes (Kuhn, 1975; Oldrpyd, 1972; Maar, 2019).

Vale ressaltar o “Lavoisier Pedagogo” de Chassot (1993). Quase duzentos anos após a morte de Lavoisier, em 1990, surgiu a publicação de um artigo de Bernadette Bensaude-Vicente com um texto intitulado “Sobre a maneira de Ensinar Química” atribuído a Lavoisier. Nesse manuscrito, inédito, Lavoisier expõe suas impressões acerca de quando foi estudante de Química. Segundo ele, os conceitos nas primeiras aulas são obscuros, de início há suposição ao invés de comprovação, diferente do rigor de raciocínio utilizado pelos matemáticos. Os questionamentos ao professor eram consolados com a possibilidade de estudar mais adiante o assunto. Segundo Chassot (1993), após séculos essas reclamações podem ser vistas entre estudantes atualmente. Quanto ao professor senhor de *la Planche*, com toda certeza ele marcou a iniciação em Química de Lavoisier, por tratar a Química como uma ciência experimental, uma situação de exceção na época, devido à precariedade na profissão de professor.

A história científica de Lavoisier é bastante longa e claro, digna de espaço. Entretanto, para esse trabalho, sem comprometer o entendimento do contexto histórico, precisamos nos focar ao máximo possível nas contribuições referentes a substância química.

➤ *Noção de Substância por Lavoisier*

Vimos que não é nenhuma novidade de que o nome de Lavoisier está relacionado, com frequência, na História da Ciência como um agente de Revolução da Química Moderna. Sem dúvida, muitos de seus trabalhos colaboraram para o processo de evolução do conceito de substância, rompendo com várias visões do passado (Silva, 2017).

Os primeiros trabalhos científicos de Lavoisier foram relacionados aos cargos públicos que ele ocupava na época: a produção de salitre, alimentos sólidos para marinheiros, relatórios de agricultura, minas e mineração, relatórios de hospitais de Paris e muitos outros. Posteriormente, surgiram as apresentações de trabalhos em academias científicas e as premiações. Um dos trabalhos mais chamativos foi com a “experiência do pelicano”, referente a inexistência da transmutação água-terra (1770) por meio de um conceito que há séculos fazia parte do patrimônio do químico, com os quatro elementos aristotélicos (água, ar, terra, fogo) (Maar, 2019).

A teoria do oxigênio de Lavoisier foi descrita em “Sobre a Combustão

em Geral” (1777) destacando as seguintes observações:

- (1) numa combustão, há liberação de ‘matéria do fogo’ ou de luz;
- (2) um corpo só pode queimar em ar puro;
- (3) há na combustão ‘destruição ou decomposição do ar puro’ e o aumento de peso do corpo que queimou é exatamente igual ao peso do ar ‘destruído ou decomposto’;
- (4) a substância que aumenta o peso dos corpos converte-os em ácidos;
- (5) o ar puro é composto da matéria do fogo ou da luz combinada com uma base. Na combustão, o corpo que queima remove a base, atraindo-a mais fortemente do que a matéria do calor que aparece, como chama, calor e luz (Partington, 1989, *apud* Maar, 2019, p.768).

Em seguida, na mesma publicação, Lavoisier esclarece que a calcinação dos metais obedece às mesmas leis. É importante ressaltar que a “Revolução Química” de Lavoisier ocorreu gradualmente e em várias etapas: 1ª fase (1772/1774) — primeira contestação da Teoria do Flogístico, com uma nova teoria para a calcinação e a combustão; 2ª fase (1774/1775) — publicação de “Da Natureza do Princípio que se combina com os Metais na Calcinação e que aumenta seu peso”, o estudo do HgO por Priestley e a “redescoberta” do oxigênio; 3ª fase (1775/1777) — refinamento das ideias de Lavoisier e contribuições de Cavendish à investigação da composição do ar atmosférico; 4ª fase (1777/1785) — ‘controvérsia da água’ (porém Lavoisier não descobriu a composição da água), evidências acerca da oxidação e redução por Cavendish, Priestley e outros; 5ª fase (1785/1789) — aspectos linguísticos associados a Nomenclatura Química e as finalizações do “Tratado Elementar de Química” (Maar, 2019).

As propriedades físicas e químicas das substâncias foram bastante estudadas por Lavoisier e por seus colaboradores em seus experimentos como, por exemplo, a combustão do diamante e do CO₂. Observavam que o diamante era indestrutível, desde que em ausência de ar. Boyle, Giuseppe Averani (1662 – 1738), Cipriano Targioni (1672 – 1748) já haviam feito experimentos que mostravam o “desaparecimento” do diamante quando aquecido, porém, não sabiam explicar se isso ocorria devido à evaporação, sublimação ou queima. Dez anos depois da evidência do oxigênio, Lavoisier propôs uma explicação concluindo que a queima do carbono ou diamante produz exclusivamente “ar fixo” (CO₂), constituído de carbono e oxigênio apenas. Outras combustões estudadas foram com fósforo, enxofre e aquecimento de metais (Maar, 2019).

Lavoisier se muniu de muitos dados empíricos antes de atacar de

frente o Flogístico. Dentre esses dados, a síntese da água ocupa um papel central, ao esclarecer a natureza composta da água, que definitivamente deixa de ser um elemento, e sua relação com o “ar desflogisticado” (oxigênio) e o “ar inflamável” (hidrogênio, para muitos o Flogístico quase puro) (Maar, 2019). Em carta enviada a Benjamin Franklin em 1790, Lavoisier descreve:

Juntamente com um grande número de cientistas, acredito que a hipótese colocada por Stahl e subsequentemente desenvolvida por outros, está errada. O flogístico como Stahl o propôs não existe, e é principalmente para desenvolver minhas próprias ideias sobre o assunto que empreendi o tratado que tenho a honra de lhe encaminhar (Lavoisier, 1790 *apud* Maar, 2019, p. 778).

A principal crítica de Lavoisier às ideias de Stahl se refere a impossibilidade de demonstrar a existência do Flogístico. Na visão de Grimaux, para Lavoisier, calórico e luz são elementos “matérias”, entretanto não o eram para Scheele, por exemplo. Assim, ao eliminar tudo o que é simbólico e puramente conceitual da teoria química, induz a ideia extrema em que tudo se “materializa”. Para Lavoisier, a natureza do calórico e da luz ainda não era suficientemente esclarecida: azoto (substância) = azoto (elemento) + calórico. Azoto ou gás azoto é, atualmente, o Nitrogênio. Ao estudar a reação, Lavoisier pode, pela primeira vez, comprovar que uma mesma substância pode existir nos três estados físicos (sólido, líquido e gasoso) (Maar, 2019).

Lavoisier é considerado um pioneiro na moderna Química Orgânica, não como foi Scheele em suas “descobertas” de muitos novos compostos orgânicos, mas um pioneiro como químico teórico, pois via os compostos orgânicos (vegetais e animais) como parte integrante da Química, submetidos as mesmas leis e princípios. Ele defendia que todos os compostos orgânicos continham carbono, hidrogênio e oxigênio. Porém, essa “errônea” definição provavelmente se deu pelo fato de que em seus experimentos com combustão de matéria orgânica, ele obtinha, como resultado, água e gás carbônico (Maar, 2019).

Quanto aos elementos químicos, é relevante lembrar que Boyle havia proposto uma definição em 1661, alertando que nenhum dos “elementos” ou “substâncias” conhecidas na época atendiam ao seu conceito. Contudo, a teoria de Lavoisier permitiu uma listagem de elementos conforme as definições de Boyle. Das 33 substâncias e elementos listados na tabela, 26 são igualmente nomeados

atualmente, 5 deles são óxidos de elementos atuais (cálcio, magnésio, bário, alumínio e silício), cujos recursos disponíveis na época não eram suficientes para sua decomposição (Maar, 2019). Lavoisier denominou a listagem de tabela de substâncias simples e disse: “Não relacionei nessa tabela os álcalis fixos, tais como a potassa e a soda, porque essas substâncias são evidentemente compostas, embora se ignore, entretanto, ainda a natureza dos princípios que entram na sua combinação.” (Lavoisier, 1789, p. 119).

Figura 13: Tabela de Substâncias Simples de Lavoisier

	Nomes novos	Nomes antigos correspondentes
Substâncias simples que pertencem aos três reinos e que podem ser vistas como os elementos dos corpos	Luz	Luz
	Calórico	Calor
		Princípio do calor
		Fluido ígneo
		Fogo
		Matéria do fogo e do calor
	Oxigênio	Ar deflogisticado
		Ar empyreal
		Ar vital
		Base de ar vital
	Azoto	Gás flogisticado
		Mofeta
		Base da mofeta
	Hidrogênio	Gás inflamável
		Base do gás inflamável
Substâncias simples não metálicas oxidáveis e acidificáveis	Enxofre	Enxofre
	Fósforo	Fósforo
	Carbono	Carvão puro
	Radical muriático	Desconhecido
	Radical fluórico	Desconhecido
	Radical borácico	Desconhecido
Substâncias simples metálicas oxidáveis e acidificáveis	Antimônio	Antimônio
	Prata	Prata
	Arsênico	Arsênico
	Bismuto	Bismuto
	Cobalto	Cobalto
	Cobre	Cobre
	Estanho	Estanho
	Ferro	Ferro
	Manganês	Manganês
	Mercúrio	Mercúrio
	Molibdênio	Molibdênio
	Níquel	Níquel
	Ouro	Ouro
	Platina	Platina
	Chumbo	Chumbo
	Tungstênio	Tungstênio
	Zinco	Zinco
Substâncias simples salificáveis e terrosas	Cal	Terra calcária, cal
	Magnésia	Magnésia, base do sal de Epsom
	Barita	Barita, terra pesada
	Alumina	Argila, terra de alúmen, base de alúmen
	Silício	Terra siliciosa, terra vidrificável

Fonte: Lavoisier (1789, p. 116,117).

Como expressa Silva (2017), a Química, a partir do século XVIII, sai da ideia do elementar e parti para a ideia de decomposição. O “Tratado” de Lavoisier nos permite essa compressão de suas ideias. Nas palavras de Lavoisier, “A Química, ao submeter a experiências os diferentes corpos da natureza, tem por objetivo decompô-los para examinar separadamente as diferentes substâncias que entram na sua composição” (Lavoisier, 1789, p. 118). Quanto à tabela de substâncias simples elaborada por Lavoisier, ele alerta que não pode assegurar que o que se vê como simples em sua época, o seja de fato. Mas pode se dizer que tal substância é o limite

ao que foi possível se chegar pela análise química e que não pode ser subdividida mediante aos conhecimentos da sua época (Lavoisier, 1789).

D’Arcet e Berthollet (1789) ressaltam que Lavoisier não cita a respeito das partes constituintes e elementares dos corpos em seu “Tratado”, pelo fato de que ele vê como hipotético tudo o que se refere aos quatro elementos: “é provável que não conhecemos as moléculas simples e indivisíveis que compõem os corpos; mas é um termo ao qual nos conduzem as nossas análises, as quais são, para nós, substâncias simples ou, se desejarem, elementos” (Lavoisier, 1789, p. 356).

A tão conhecida “Conservação da Massa”, se configura um aspecto marginal da obra de Lavoisier, justamente por não ser uma ideia nova. Desde os gregos pré-socráticos era dito que a matéria é eterna e indestrutível, o que, de fato, significa uma conservação da massa. Também, Lucrécio escreveu um poema citando “que nada pode ser criado do nada e que nada do que surgiu pode voltar ao nada, nem ser de matéria imperecível os elementos a que tem, no fim de tudo, de voltar a matéria para que possa bastar à renovação das coisas” (Maar, 2019, p.784). Lomonossov, anterior a Lavoisier, trabalhou a conservação da massa como uma noção intuitiva e a novidade introduzida por Lavoisier foi a constatação experimental com o uso da balança analítica, muito associada a Lavoisier na História da Ciência.

Segundo D’Arcet e Berthollet (1789), Lavoisier apresenta, em seu “Tratado”, com muita precisão, a análise do ar atmosférico, a decomposição do gás oxigênio pelo enxofre, o fósforo e o carvão, a formação dos ácidos em geral, a decomposição do gás oxigênio pelos metais, a formação dos óxidos metálicos, o princípio radical da água e sua decomposição pelo carvão e pelo ferro, a quantidade de calórico liberado das diferentes espécies de combustão e a formação de ácido nítrico, dentre muitas outras explicações. Conhecimentos que correspondem ao sucesso da Química Moderna, preenchendo o imenso vazio que os antigos químicos tentavam ocultar com algumas suposições (Lavoisier, 1789).

Lavoisier, além evidenciar novas substâncias, desenvolveu novos instrumentos de laboratório, novos métodos e novas definições, contribuindo para que seus predecessores dessem continuidade a seus trabalhos, essenciais ao conceito de substância (Silva, 2017). Ao examinar a combinação das substâncias combustíveis, Lavoisier observa que o enxofre, o fósforo e o carvão possuem a propriedade de se ligar com outros metais, formando os sulfetos, fosfetos e carburetos. No caso do hidrogênio, esse pode se combinar com muitas substâncias

combustíveis. Enquanto gás, dissolve o carbono ou o carvão puro, o enxofre, o fosforo, originando diferentes espécies de gás inflamável (D'arcet; Berthollet, 1789).

Em resumo do “Tratado Elementar de Química”, fica notável que os raciocínios de Lavoisier são sempre bem fundados em experiências rigorosas, fornecendo um princípio da Arte das experiências que podem guiar os químicos. Lavoisier nos conduz, sucessivamente, às combinações mais complexas partindo das noções mais simples e de assuntos mais elementares (D'arcet; Berthollet, 1789).

Podemos considerar que, a partir dos trabalhos de Priestley, Cavendish e Lavoisier, principalmente, houve uma ruptura de uma visão metafísica de substância para o surgimento de uma forma operacional e materialista. Em outras palavras, os elementos primordiais e princípios abstratos predominantes na Antiguidade e Idade Média começam a dar espaço as substâncias tratadas como entidades concretas, passíveis de manipulação, no século XVIII (Silva, 2017).

A geração de Lavoisier encerrou um período na História da Química, um “grande século” para a ciência da matéria. O resultado dos trabalhos dessa geração de químicos levou a um novo período, sem uma quebra abrupta, mas por meio de uma transição para novos caminhos (Maar, 2019).

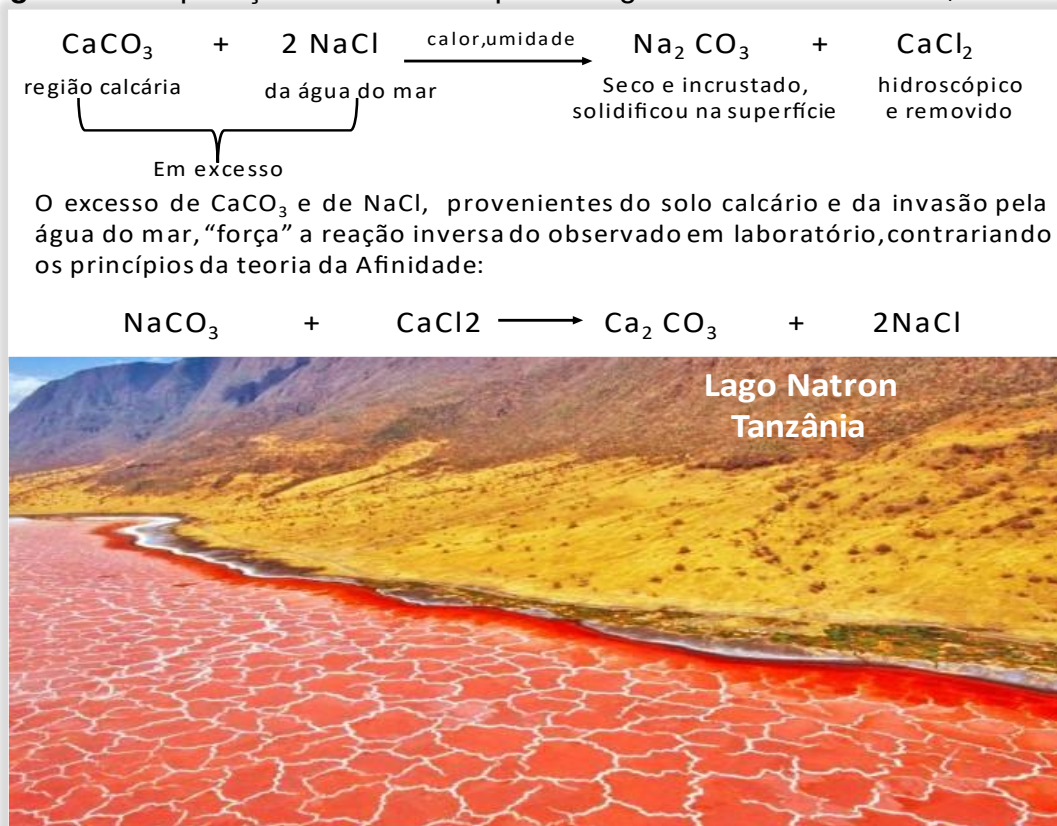
➤ *Algumas repercussões após Lavoisier*

Veremos nesse item, como o conceito de substância passou por mais uma ruptura até chegar ao século XX. Como já citado acima, com os estudos de Lavoisier e de seus colaboradores, ocorreu um período de transição. A partir daí vários químicos deram continuidade às pesquisas, possibilitando desdobramentos à ideia de elemento e de substância química, no contexto científico vigente na época. Cientistas como Dalton, Berzelius, Avogadro e vários outros, apresentaram suas contribuições acerca da matéria, gerando um consenso de que esta seria formada por átomos, conforme o modelo proposto por Dalton em 1803 (Silva, 2011, 2017).

Maar (2011) ressaltar que o período revolucionário francês e a Era Napoleônica estabeleceram uma nova relação entre a Ciência e o Poder, cujo melhor exemplo seria a expedição científica de Napoleão ao Egito em 1798, em que 151 cientistas, médicos, engenheiros e matemáticos participaram. Para a Química, essa expedição foi de grande valor devido aos lagos secos de soda nas regiões entre Alexandria e o Cairo que despertaram a atenção de Claude Louis Berthollet (1748 –

1822) e o fez propor uma explicação para o fenômeno:

Figura 14: Explicação de Berthollet para o lago salino de soda seca, Natron



Obs: a coloração avermelhada é devido a proliferação de cianobactérias adaptadas a ambientes salinos de alto pH (Eichler; Guterres; Del Pino, 2008).

Fonte: Maar (2011, p. 27,28) e Imagem de Igui Ecologia (2023).

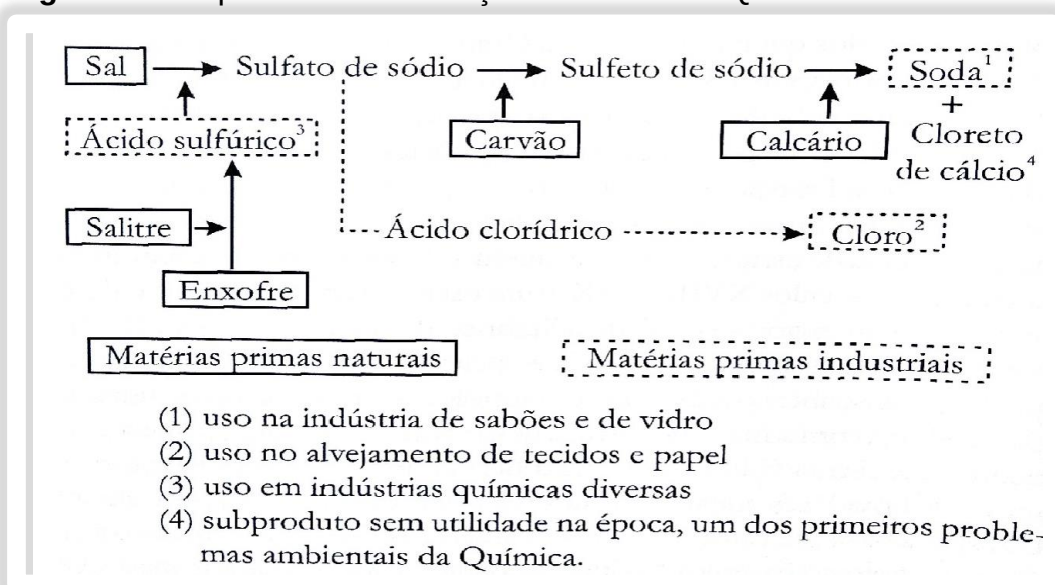
Maar (2011) descreve que na Era Napoleônica havia maior ênfase na produção de artigos barrados pelo bloqueio econômico, como, por exemplo, o açúcar de beterraba. A fabricação de produtos químicos de base do século XVIII se concentrava na Inglaterra e Holanda, porém era incipiente na França.

Figura 15: Conexão Química Teórica-Tecnológica

Lavoisier	explosivos de boa qualidade e fabricação de salitre
Berthollet	diversos problemas técnicos (iluminação)
Gay-Lussac	tingimento e alvejamento de tecidos
Davy	“torres de Gay-Lussac” na indústria de ácido sulfúrico
Chaptal	lâmpada dos mineiros
A. Seguin	processo de obtenção de alúmen (mordente)
Achard	novo método de curtimento
Döbereiner	açúcar de beterraba em escala industrial
Thenard	acendedor de Döbereiner
C. G. Gmelin	Azul de Thenard (pigmento para porcelana)
N. Appert	ultramar sintético (pigmento)
	conservas alimentícias

Fonte: Maar (2011, p.31).

Na transição entre os séculos XVIII e XIX houve um crescente desenvolvimento da Ciência com a Tecnologia, embora com variações nos contextos históricos e geográficos, havia características constantes na utilização da Ciência na solução de problemas práticos, como destacado no esquema a seguir:

Figura 16: As primeiras Interrelações da Indústria Química

Fonte: Maar (2011, p.32).

Após Lavoisier, a Química francesa manteve a liderança europeia com Berthollet, e após sua morte em 1822, com Gay-Lussac e Dumas. Após a

Revolução, o padrão de instituição para a pesquisa química passou a ser a Escola Politécnica, fundada em 1794. Não apenas na França, mas na Inglaterra e na Alemanha, muitos químicos desenvolveram novas teorias e técnicas para análise e preparação de substâncias (Maar, 2011). Entre 1790 e 1805 vários elementos químicos foram identificados, conforme o Quadro 13.

Quadro 13: Elementos “descobertos” entre 1780 e 1805

Ano	Elemento	Cientista
1790	Estrôncio	A. Crawford, independentemente de W. Cruikshank (1)
1791	Titânio	William Gregor (2)
1794	Ítrio	Johan Gadolin
1797	Berílio	L. N. Vauquelin
1797	Cromo	L. N. Vauquelin (3)
1802	Tântalo	A.G. Ekeberg
1802	Nióbio	C. Hatchett (chamou-o de Colúmbio) (4)
1803	Vanádio	A.M.del Rio (Pancrômio ou Eritrônio) (5)
1803	Cério	Klaproth, e independentemente de Berzelius
1804	Ródio	William Wollaston
1804	Paládio	William Wollaston
1804	Iridio	Smithson Tennant (6)
1804	Ósmio	Smithson Tennant

(1) “redescoberto” independentemente em 1793 por Klaproth e também por T. C. Hope

(2) “redescoberto” independentemente em 1793 por Klaproth

(3) “descoberta” confirmada no mesmo ano por Klaproth

(4) H. Rose “redescobre” em 1846 o Nióbio e verifica que Nióbio = Colúmbio

(5) “redescoberto” em 1831 por N. G. Sefström, tido por muito tempo como seu “descobridor”

(6) “descoberta” simultânea e independente de Collet-Descotils, Fourcroy e Vauquelin

Fonte: Maar (2011, p. 118).

Mais onze elementos foram identificados entre 1805 e 1830. A história de cada um dos elementos é riquíssima em detalhes e procedimentos de separação/purificação, eletrólise e demais processos usuais de análise cada vez mais aperfeiçoados que não nos cabe aqui descrever. Mas podemos observar que mais de um cientista esteve envolvido na identificação de um mesmo elemento, o que, mais uma vez, corrobora para a ideia de que a ciência não é feita por um “gênio” apenas, mas por uma comunidade científica (Maar, 2011).

De acordo com Maar (2011), surgiram muitos relatos de identificação de elementos, porém, vale ressaltar que nem todos os relatos químicos da época correspondem realmente a “corpos simples”. Um exemplo é o caso dos estudos do italiano Matteo Tondi (1762 – 1835) que tratou terra calcária, terra amarga e terra pesada, em aquecimento num cadinho de ferro, com carvão e óleo de linhaça, obtendo um produto que posteriormente ele aqueceu com cinzas de ossos. Ao final, ele acreditou obter régulo (metal, no contexto do flogisto), mas, de fato, era fosfeto de ferro, obtido pela reação entre o ferro do cadinho e o fósforo das cinzas dos ossos.

Muitos nomes conhecidos atualmente marcaram essa época,

principalmente para a classificação periódica dos elementos. Também, uma maior atenção à estrutura da matéria estava sendo evoluída. Entretanto, para chegarmos mais especificamente ao contexto de substância química numa abordagem submicroscópica, faremos um recorte com os conhecimentos e contribuições de alguns nomes como: Dalton, Berzelius e Avogadro, que mais influenciaram os estudos de Cannizzaro, tratado mais adiante (Maar, 2011).

6.1.4.1.5 Da Química Quantitativa ao Átomo de Dalton

Primeiramente, é importante destacar que a explicação quantitativa das transformações químicas constitui a base da Química Moderna, juntamente com os aspectos da racionalidade, empirismo, matematização e quantificação, cuja valorização de um desses aspectos pode criar alguns conflitos com os demais. A Química matematizada é estruturada em torno do “composto químico”, entidade capaz de definir diferentes espécies de matéria, mas que exigiu uma série de etapas preliminares para seu estabelecimento (Maar, 2011).

Abrindo um parêntese para lembrar que o termo “composto”, traduzido do inglês “compound” possui diferentes origens, mas iremos considerar a significação do dicionário de Oxford (Cambridge Dictionary) para composto químico como “uma substância química que combina dois ou mais elementos”. Para Klein (1994), o estudo da origem do conceito de composto químico se fundamenta em três conceitos básicos, descritos no quadro a seguir:

Quadro 14: Características para o novo conceito de composto químico, por Klein (1994)

1	As entidades do moderno conceito de composto químico são substâncias químicas puras.
2	O moderno conceito de composto químico está relacionado às noções de síntese e análises químicas, e supõe a conservação de partes físicas de características “substanciais” nessas transformações químicas.
3	O moderno conceito de composto químico implica na existência de relações determináveis empiricamente entre as substâncias químicas, relações que expliquem as sínteses e análises químicas, bem como a composição e homogeneidade dos compostos químicos.

Fonte: Adaptado de Maar (2011, 146).

Assim, ao considerar que o conceito de composto químico é a “espinha dorsal” da Química Moderna, Maar (2011) relembra os principais tópicos da história da evolução da Química, necessários para a formulação do conceito em questão, da seguinte forma:

Quadro 15: Constatações experimentais anteriores, durante a Evolução Química

• A “lei básica da Química”, constante dos textos de Paracelso: todos os espécimes de uma espécie química (= substância química) são qualitativamente iguais.
• A ideia de que os metais conservam suas propriedades em solução (Helmont), que permitiu o desenvolvimento da Química Analítica.
• A ideia de que reagrupamentos de corpúsculos são responsáveis pelas transformações químicas observadas (Angelo Sala, Jungius); as teorias corpusculares acabaram evoluindo para um “atomismo”, como o de Dalton, que só se tornou útil quando Dalton atribuiu pesos relativos a seus átomos.
• A ideia de que é necessário conhecer todos os produtos formados numa reação, inclusive o <i>caput mortuum</i> , o resíduo, tendo em vista uma possível reversibilidade da reação (Boyle).
• A possibilidade de sintetizar em laboratório substâncias idênticas às encontradas na natureza (Angelo Sala).
• O desenvolvimento de métodos analíticos empíricos, inicialmente por comparação com compostos conhecidos (Fr. Hoffmann, Marggraf, Bergman), e finalmente por decomposição simples elementar (Klaproth, Lavoisier).

Fonte: Adaptado de Maar (2011, p. 146,147).

A Química evoluiu para uma quantificação, na qual a teoria de Lavoisier trouxe racionalidade para esta quantificação. O pleno desenvolvimento de leis ponderais exigiu um contexto teórico frente a realidade empírica que permitiu a sua matematização com base em dados reais. Podemos considerar que as leis ponderais propriamente ditas não conduziram às concepções de Dalton, mas ele conseguiu fornecer ótimas explicações para tais leis que, explicitamente formuladas, levaram à caracterização definitiva de composto químico (Maar, 2011).

Não esmiuçamos aqui cada uma das leis ponderais das combinações químicas, mas cabe ressaltar a sua cronologia que, como descrito por Maar (2011), diferentemente do que se imagina, não evoluíram da mais simples para a mais complexa:

Quadro 16: Sequência cronológica das Leis Ponderais

1792	1799	1803
<i>Proporções Recíprocas de Richter</i>	<i>Proporções Constantes de Proust</i>	<i>Proporções Múltiplas de Dalton</i>
— Esta lei não é fruto apenas do empirismo, mas também de considerações matemáticas derivadas de Kant, e de uma postura filosófico-teológica característica da Filosofia Natural alemã. A lei da conservação da massa é pressuposto da lei de Richter, que na realidade expressa também as proporções constantes.	— Proust saiu vitorioso da “controvérsia Proust-Berthollet” acerca das proporções constantes e variáveis, respectivamente, nos compostos químicos. Tanto a posição de Proust como a de Berthollet são empíricas, mais indutiva em Proust, mais dedutiva em Berthollet. Antes dos experimentos de Proust, Carl Friedrich Wenzel já havia determinado empiricamente proporções constantes em várias situações.	— Testada experimentalmente por Wollaston e Thomas Thomson, é como que um corolário da teoria atômica de Dalton.

Fonte: Com base em Maar (2011).

Diante de várias versões diferentes quanto à origem de suas teorias, em uma delas, Dalton confessa que suas ideias são especulativas e derivadas do pensamento newtoniano acerca do Universo. Mas o que é destacável é que a teoria de Dalton e as leis ponderais são os fundamentos da Química Moderna,

independentemente das formas de relacioná-las. Várias “teorias corpusculares” da matéria (de Newton, Lémery, Boyle, Nicholas Hill, Walter Charleton) surgiram no século XVII. Todavia, a origem teórico-filosófica do atomismo inglês, personificado essencialmente por Dalton (também Higgins, Thomson e outros) é a teoria corpuscular da matéria de Newton (Maar, 2011).

Mas como Newton vê a matéria? Nas sínteses de Goehring (1976), para Newton toda a matéria visível é formada por “partículas primitivas”, não observáveis, imutáveis, de diferentes formas e tamanhos, sólidas, sem poros, com forças associadas ou inerentes a estas partículas. As “partículas primitivas” não se somam simplesmente, mas por força de coesão, originam as partículas maiores, sucessivamente, até chegar finalmente à matéria visível, em um processo de agregação, como uma pilha de pedras, porém altamente regulares. A variedade de maneiras de agregação das partículas determina a variedade de substâncias encontradas na natureza. Os corpos maiores, aparentemente sólidos, contêm poros transparentes, dispostos entre as partículas. As forças que atuam por meio dos espaços vazios mantêm a união das partículas que compõem os corpos. As diferentes propriedades visíveis da matéria são resultados do reagrupamento de partículas provocado pelas interações dessas forças.

Desse modo, a maior importância da teoria de Newton está nas forças associadas às partículas de matéria que explicam várias propriedades visíveis da matéria. Apesar da teoria de Newton fornecer explicações para fenômenos químicos, sua teoria falhou na quantificação química, cabendo a Dalton iniciar uma nova abordagem para a teoria química moderna. Goehring (1976). Quanto à natureza dessas forças de afinidade, Newton faz comparação a força da gravidade, uma simplificação grosseira, porém, já uma antecipação da ideia de hoje (Maar, 2011).

William Higgins (1763 – 1825), químico irlandês, autor de concepções atomísticas no contexto da evolução da moderna teoria atômica, era adepto da teoria da matéria de Newton. Foi o primeiro químico a empregar letras (as iniciais dos nomes) para designar os elementos e obteve papel importante nas discussões da composição de substâncias. Envolto em polêmicas controversas, Higgins acusou Dalton de plágio e Thomson de parcial e preconceituoso. Defendeu sua prioridade em relação à Teoria Atômica ao publicar, em 1814, *“Experiments and Observations on the Atomic Theory and Electrical Phenomena”*. Em base, a teoria atômica de Higgins não é quantitativa e decorre de comparações empíricas que defendem a Química

Antiflogística. Não se trata de uma teoria abrangente como a de Dalton (Maar, 2011).

John Dalton (1766 – 1844), inglês de origem simples, foi professor de Matemática, Química e Filosofia Natural. Suas pesquisas científicas se concentram em torno da Teoria Atômica, estudo dos gases, daltonismo e meteorologia. Por meio dos estudos acerca dos gases, Dalton estabeleceu o conceito de pressão de vapor, a composição do ar atmosférico, a lei das pressões parciais, a difusão dos gases, o coeficiente da expansão térmica dos gases (inferências à lei de Charles) e a solubilidade de gases em líquidos (inferências à lei de Henry). Os estudos dos gases, por Dalton, juntamente com a consequência dedutiva do modelo material-mecanicista de Newton, deram origem a Teoria Atômica, base sobre qual se edificou a Química Moderna (Maar, 2011). John Dalton contribuiu também com um novo simbolismo para a representação das substâncias químicas, utilizando círculos, traços e pontos (Oki, 2009).

Segundo Maar (2011), os textos originais de Dalton foram bem esclarecedores e deixaram poucas dúvidas com relação a sua visão da origem da Teoria Atômica. Em outubro de 1803, numa palestra “Sobre a Absorção de Gases por Água”, Dalton apresenta sua Teoria Atômica. Em outro artigo de 1805, Dalton mostra seus resultados experimentais para densidades de diferentes gases em comparação aos valores de Kirwan, Lavoisier e Davy. Por final, Dalton determinou a composição em peso do ar atmosférico, demonstrando rigor empírico e lançou as bases teóricas e práticas da química e da física dos gases, em termos quantitativos, numa nova etapa da seguinte sequência:

Helmont* ➡ *Hales* ➡ *Black* ➡ *Pneumaticistas* ➡ *Dalton

Após considerar os pesos relativos das partículas últimas e o volume dos gases, Dalton estabelece algumas das considerações que podemos resumir no Quadro 17.

Quadro 17: Considerações de Dalton para a Teoria Atômica e a “Síntese Química”

A nova Teoria Atômica		Observações de Maar (2011)
1. Todo elemento é subdividido em partículas últimas qualitativamente iguais, e diferentes das de qualquer outro elemento.		- Esses princípios foram formulados anteriormente por Demócrito, Lucrécio, Angelo Sala ou Newton. Todavia, Dalton forneceu novas evidências experimentais, transparecendo a influência de relações matemáticas do que vem antes.
2. As reações químicas são explicadas em termos de transferências ou transposições de átomos.		
3. Quando os átomos de dois elementos se combinam, formam “átomos compostos” de um “elemento” mais complexo.		
4. Quando os “átomos” de diferentes elementos se combinam entre si, o fazem segundo relações numéricas simples: uma partícula de A combina-se com uma partícula de B, ou de A com 2 de B, e assim por diante.		- Este quarto princípio foi estabelecido para chegar ao peso relativo e número de partículas últimas. - Esta hipótese apriorística errada de Dalton originou os problemas futuros com a Teoria Atômica e a rejeição do atomismo pelos pensadores e cientistas positivistas.
Regras gerais para a “Síntese Química”		
Quando dois corpos A e B se combinam, as combinações devem ocorrer na seguinte sequência: - 1 átomo de A + 1 átomo de B = 1 átomo de C (binário) - 1 átomo de A + 2 átomos de B = 1 átomo de D (ternário) - 2 átomos de A + 1 átomo de B = 1 átomo de E (ternário) - 1 átomo de A + 3 átomos de B = 1 átomo de F (quaternário) - 3 átomos de A + 1 átomo de B = 1 átomo de G (quaternário)	1. Quando só é possível uma combinação entre dois corpos, deve ser presumida uma combinação binária, exceto que outra causa exija o contrário. 2. Quando são possíveis duas combinações, uma será binária e a outra ternária. 3. Quando são possíveis três combinações, uma será binária, as outras ternárias. 4. Quando são possíveis quatro combinações, uma será binária, duas ternárias e uma quaternária. 5. Um composto binário é sempre mais denso do que a simples mistura dos dois ingredientes. 6. Um composto ternário será mais denso do que a mistura do composto binário e do composto simples que o formariam. 7. As regras e observações acima também se aplicam quando dois corpos, como C e D, D e E, etc., se combinam.	
Exemplo: a água é um composto binário de hidrogênio e oxigênio, cujos pesos relativos dos dois átomos são aproximadamente 1:7		

Fonte: Adaptado de Maar (2011, p. 199, 202).

As proporções múltiplas de Dalton estavam implícitas nos experimentos de Proust, porém este não chegou à lei por usar resultados em porcentagem (na visão de Ihde e Szabadváry), por não raciocinar em termos atomísticos (na visão de Greenaway). Em 1808, William, Wollaston e Thomson conseguiram comprovar as proporções múltiplas ao analisarem oxalatos de potássio e de estrôncio (Maar, 2011).

6.1.4.1.6 Dalton visto por Thomson

Thomas Thomson (1778 – 1852) foi o pioneiro dentre os grandes químicos a apreciar a teoria atômica de Dalton, por aprender essa teoria em primeira mão com o próprio Danton. Em agosto de 1804 Thomson publicou “A System of Chemistry”, sua primeira exposição da terceira edição de seu livro que apareceu em 1807, representando grande papel na popularização e corroboração da teoria de

Dalton. Mas por que Thomson foi tão receptivo à teoria de Dalton? Uma das especulações é que Thomson buscou, em seu encontro com Dalton, resolver decisivamente as questões das proporções de peso nas quais as substâncias poderiam se combinar quimicamente (Kuskopf, 1969).

Maar (2011) resume a apresentação didática do artigo publicado na *Annals of Philosophy* de 1813, em que Thomson descreve as consequências da teoria de Dalton. O Quadro 18 apresenta uma síntese dessas considerações.

Quadro 18: A teoria de Dalton e suas consequências segundo Thomson (1813)

A Teoria de Dalton para Thomson (1813)	
1.	Apesar de não termos recursos para obter informações exatas, o consenso corrente é de que os corpos são constituídos por átomos ou sólidos minúsculos que não podem ser subdivididos. Os átomos não são apenas centros de forças, matemáticos (como sustenta Boscovich). São corpúsculos de natureza física real, com comprimento, largura e altura.
2.	Em uma combinação química de um corpo por outro, a substância formada se distribui por toda a massa: assim, o calcário é formado por cal e ácido carbônico, e mesmo a menor partícula de calcário contém estes dois componentes.
3.	Os compostos químicos contêm proporções constantes de seus constituintes, e essa permanência de composição é a base da ciência química. Berthollet, embora defenda as proporções definidas, também concorda com as proporções constantes.
4.	As proporções constantes dos compostos químicos só podem ser explicadas admitindo combinações de um determinado número de átomos de cada um dos constituintes.
5.	O oxigênio pode combinar-se com diferentes bases em várias proporções: com o azoto, em quatro proporções; com o carbono, em duas; com o mercúrio em duas, etc.
6.	Conhecendo o peso de um átomo de oxigênio e de um átomo de hidrogênio podemos calcular os pesos dos átomos que se combinam com esses elementos.
7.	Referente às proporções nas combinações, quando só é possível uma única combinação entre dois corpos, esta será binária; quando são possíveis duas combinações, uma será binária, e a outra ternária etc.
Consequências químicas da Teoria de Dalton, por Thomson (1813)	
➤	Quando compostos gasosos se combinam, eles sempre o fazem em proporções determinadas, e se representarmos por 1 a quantidade do gás que comparece em menor quantidade, as demais quantidades serão 1, 2 ou 3. Por exemplo: água = 1 de oxigênio + 2 de hidrogênio. Essa consequência, simples e bonita, de considerável importância na química prática, foi estabelecida por Gay-Lussac e é, obviamente, correlacionada com a teoria daltoniana.
➤	A quantidade de ácido necessária para “saturar” diversos metais relaciona-se diretamente com a quantidade de oxigênio com que os metais se combinam. Essa consequência, também é devida a Gay-Lussac, e somente é válida para metais que se precipitam sucessivamente: ouro, prata, mercúrio, cobre, chumbo, cobalto, talvez ferro e zinco.
➤	Quando o enxofre se combina com um metal, as proporções enxofre/metal permanecem inalteradas, esmo que o enxofre se converta em ácido e o metal em óxido (assim a proporção enxofre/metal é igual no sulfeto de cobre CuS, e no sulfato de cobre CuSO ₄). Esse entendimento é atribuído a Berzelius.
➤	O oxigênio presente num protoxido metálico é igual à metade do enxofre presente no sulfeto do mesmo metal, ou seja: peso atômico do enxofre = 2x peso atômico do oxigênio (Berzelius).
➤	Em combinações de dois corpos contendo oxigênio, a quantidade de oxigênio em um deles é igual, ou 2, 3, 4, etc. até 8 vezes a quantidade de oxigênio no outro. “Lei”, também, devida a Berzelius.
➤	A água pode combinar-se tanto com ácidos (atua como base e contém a mesma quantidade de oxigênio que a base conterá), como com bases (atua como ácido, formando-se nesses casos os hidratos) (Berzelius). Toda via essa “lei” necessita de análise química mais detalhada para sua confirmação.
➤	Em combinações compostas por mais de dois corpos contendo oxigênio, a quantidade de oxigênio do composto que menos contém é um divisor comum das quantidades de oxigênio dos demais compostos (Berzelius).
➤	Quando duas bases combustíveis se combinam, elas sempre o fazem em proporção tal que quando oxidado, o oxigênio que se combina com o outro corpo é igual ao dobro, triplo, etc. (Berzelius). Essa “lei” permitiu a diferenciação entre ligas metálicas e combinações químicas.

Fonte: Adaptado de Maar (2011, p. 207-209).

Kuskopf (1969) destaca que o que parece ter trazido a importância das implicações das constantes proporções de saturação, para pelo menos alguns químicos, foi a consciência de que algumas substâncias se combinam para formar compostos estáveis em mais de uma proporção de peso. Também, não há dúvida de que Thomson se baseou nas doutrinas de Guyton ao teorizar acerca da afinidade e das proporções de saturação constante, porém com uma afirmação bem mais positiva que de Guyton, e expressa em termos de modelo molecular.

6.1.4.1.7 Gay-Lussac e Avogadro: extensões da Teoria de Dalton

Vimos que, depois da Teoria de Lavoisier, a Teoria Atômica foi a pedra basilar da Química Quantitativa, obtendo melhor representação por Dalton com a manifestação máxima na estequiometria e na atomística. Dentre os diversos dualismos existentes na evolução da Química (matéria contínua/matéria descontínua; mecanicismo/vitalismo) tem-se agora um dualismo estequiometria/atomística-afinidade. A partir de questionamentos de diversos cientistas como Gay-Lussac, Avogadro, Berzelius, Faraday, Richter, Wenzel, Helmholtz, Berthelot e outros, a estequiometria e atomística gerou o estabelecimento da estrutura tridimensional dos compostos químicos. Além disso, a evolução das ideias de afinidade levou à cinética e à termodinâmica químicas, buscando responder como e o porquê das reações químicas (Maar, 2011).

De acordo com Maar (2011), após a divulgação das primeiras ideias de Dalton, surgem as tensões de sua teoria, gerando um período de dúvidas, dificuldades e incertezas na comunidade científica, que retomamos ao falarmos de Berzelius. Por enquanto, iremos nos centrar apenas nas extensões da teoria de Dalton.

Joseph Louis Gay-Lussac (1778 – 1850), um químico francês de alta relevância em sua época (ao lado de Dumas). Suas contribuições abrangem a Química Inorgânica, Orgânica, Analítica, Tecnologia Química e a Química Teórica. Seu entusiasmo pelo estudo dos gases o levou a se aventurar em um balão que chegou a uma altitude aproximada de 8000 metros (Maar, 2011).

Em 1801 e 1802, incentivado por Berthollet e por Laplace, Gay-Lussac realizou seus primeiros trabalhos científicos, de grande importância, acerca da expansão térmica dos gases, independente e simultaneamente com o estudo de

Dalton, que determinou o coeficiente de expansão térmica. Após Gay-Lussac determinar o coeficiente de expansão térmica dos gases, ele acreditou que o valor seria o mesmo para todos os gases (Maar, 2011).

Nessa época já era conhecida a determinação da água como sendo formada por hidrogênio e oxigênio por Cavendish (por volta de 1782) e o caráter composto da água era também aceito por Priestley. Com esses conhecimentos Gay-Lussac e o barão Alexander von Humboldt (1769 – 1859) desenvolveram experimentos com gases de hidrogênio e oxigênio, amônia e ácido clorídrico, ácido fluorídrico e gás carbônico. Nas reações com amônia, todas produziram sais. Gay-Lussac entendeu que um volume de um dos gases absorve o volume do outro, sempre com a intervenção da água. Segundo ele, isso se deve a afinidade do líquido que compete com a amônia para vencer a elasticidade do gás carbônico. Assim, o meio aquoso é necessário para haver o carbonato neutro. Portanto, a Teoria da Afinidade é manifesta nos experimentos de Gay-Lussac, assim como de seu mentor Berthollet (Maar, 2011).

Posteriormente, com as contribuições dos dados de Berthollet e de Davy, Gay-Lussac estabelece as Proporções Volumétricas na combinação dos gases, determinando a contração volumétrica observada em muitas reações (Maar, 2011). A conhecida “lei” das proporções volumétricas de Gay-Lussac considera que as combinações entre substâncias gasosas são realizadas sempre em proporções simples. Se representarmos um dos termos pela unidade, o outro termo será representado por 1 ou 2, ou mais que 3. Todavia, essas relações não são observadas em caso de substâncias sólidas e líquidas (Kisfaludy; Queirós, 2020).

Em 1811, com base na medição das densidades de vapor, Gay-Lussac desenvolveu um método para a determinação de pesos moleculares (Badillo; Torres; Miranda, 2012). Gay-Lussac não aceitou a Teoria Atômica de Dalton em relação a “lei” das proporções múltiplas (em peso) nas combinações e Dalton, também, recusou-se a aceitar as proporções volumétricas de Gay-Lussac. De acordo com Dalton as partículas de um gás não são “elásticas” (não se repelem), caso contrário átomos iguais não poderiam ligar-se mutualmente, pois seriam repelidos. Em resumo, a longa polêmica Dalton/Gay-Lussac não contribuiu para a evolução da Química e Avogadro tentou unificar as teorias ponderais de Dalton e volumétrica de Gay-Lussac. Berzelius, também, utilizou as “leis” volumétricas de Gay-Lussac para determinar seus pesos atômicos e estabelecer as fórmulas dos compostos químicos,

e assim, podem chegar as fórmulas como H_2O ou NH_3 (Maar, 2011).

A história científica de Gay-Lussac permite um entendimento de como ocorreram as bases do desenvolvimento das teorias gasosas, no início do século XIX. Seus postulados levam à elaboração de uma análise do comportamento volumétrico dos gases, amplia a visão de ligações entre os átomos e os estudos da composição de diversas entidades que formam as moléculas. Portanto, os estudos de Gay-Lussac são fundamentais para os desdobramentos do entendimento do que, atualmente, chamamos de moléculas (Kisfaludy; Queirós, 2020).

Veremos mais adiante que o estudo de Gay-Lussac influenciou Cannizzaro para a diferenciação entre “átomo” e “moléculas”. Mesmo não definindo claramente o conceito, o artigo de Gay-Lussac traz a base para a construção de uma visão diferente da quantidade de moléculas, fato retomado e aperfeiçoado por Avogadro. Outra contribuição dos estudos de Gay-Lussac se refere a quantidade de matéria, o que possibilitou a compreensão do universo das substâncias químicas (Kisfaludy; Queirós, 2020).

Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro, Conde de Quaregna (1776 – 1856), assim como Berzelius, foi uma espécie de árbitro da Química. Bastante negligenciado em sua época, hoje é visto como um dos grandes cientistas italianos, comparado a Galileu, Spallanzani, Galvani ou Volta. Avogadro aceitou as “leis” das combinações volumétricas e sugeriu uma explicação extremamente lógica das “leis”, promovendo uma conciliação entre as teorias de Dalton e de Gay-Lussac, e por final, formulou o que chamamos hoje de Hipótese de Avogadro: “volumes iguais de quaisquer gases ou vapores contêm, nas mesmas condições, igual número de partículas” (Maar, 2011, p. 220).

Os conceitos de moléculas integrantes, moléculas constituintes e moléculas elementares não foram definidas claramente por Avogadro (Moretti, 2009). Avogadro usa o termo “molécula” com um sentido diferente do que conhecemos hoje, mediante a terminologia de Macquer e Fourcroy, como uma “partícula mínima”, podendo representar átomo ou a própria molécula. Segundo Avogadro, as inconsistências da teoria de Gay-Lussac poderiam ser esclarecidas imaginando semimoléculas = moléculas de gases “elementares” que contém mais de um átomo (Maar, 2011).

Avogadro parte dos valores de densidades dos gases (relativos ao ar = 1,000) para estabelecer a relação entre as densidades de dois gases e exprimir a

relação de massas de iguais volumes de gases (Maar, 2011). A Figura 17 mostra algumas comparações dos dados de Dalton, Gay-Lussac e Avogadro para a água.

Figura 17: Densidade de Gases e Dados da Água para Dalton, Gay-Lussac e Avogadro

Densidade de Gases	
Gás	Densidade
Hidrogênio	0,07321
Oxigênio	1,10359
Nitrogênio	0,96913
Va por de Água	0,625_ (Gay-Lussac)
No caso da Água: $d \text{ do oxigênio} / d \text{ do hidrogênio} = 1,10359/0,07321 = 15,074$ Portanto, a relação entre as massas de oxigênio e de hidrogênio não é de 1, como dizia Dalton, mas de 15 : 1	

Gay-Lussac	Hidrogênio + Oxigênio	→	Água
	2 vol. 1 vol.		2 vol.

Dalton	1 átomo de H + 1 átomo de O	→	1 átomo de Água
---------------	------------------------------------	----------	------------------------

Avogadro	2 semimoléculas de H + 1 semimolécula de O	→	2 semimoléculas de Água
	2 vol. de H + 1 vol. de O		→ 2 vol. de Água

Fonte: Adaptado de Maar (2011, p. 223, 224).

Segundo Moretti (2009) os valores dos índices (n, m) das reações não eram conhecidos e Avogadro estabeleceu a relação: moléculas integrantes (Hidrogênio: H_n , Oxigênio: O_m e Água: $H_nO_m/2$). Por esse motivo, Avogadro nunca escreveu a fórmula H_2O para representar a água. Conforme a hipótese de Avogadro, a densidade relativa do oxigênio em relação ao hidrogênio também representa a razão entre as massas das duas moléculas integrantes.

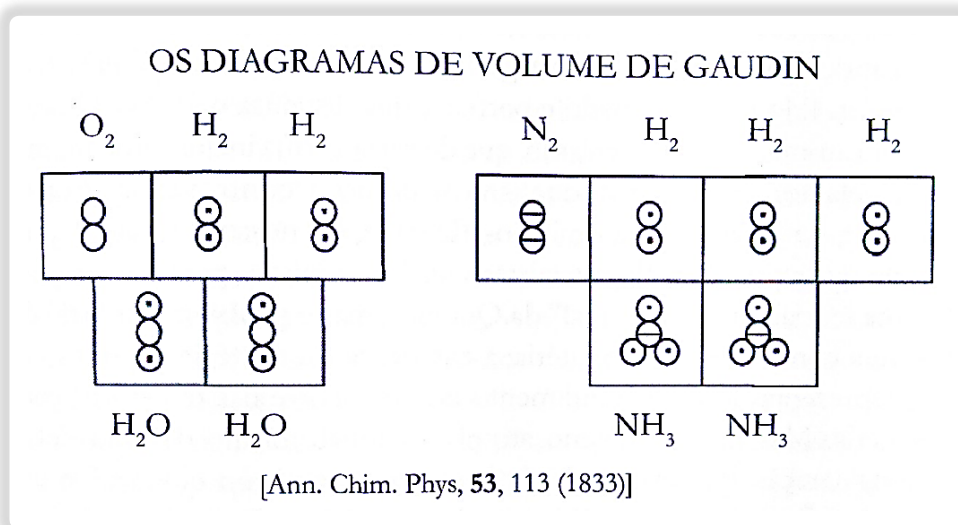
Em 1811, Avogadro publica seu artigo contendo a sua hipótese, que foi recusada por Dalton, Gay-Lussac e Berzelius. Somente em 1860, no Congresso de Karlsruhe, foi reconhecida sua tremenda importância teórica, gerando a Avogadro, postumamente, a glória de grande cientista. A partir de então, a comunidade científica publicou seus trabalhos em diferentes organizações e congressos, atribuindo a Avogadro o título de grande sistematizador da Química Moderna (Maar, 2011).

Os estudos de Avogadro geraram desdobramentos importantes para os físicos André-Marie Ampère (1775 – 1836) e seu discípulo Marc Antoine Augustin Gaudin (1804–1880) que puderam sugerir uma simplicidade nas relações entre pressão, volume e temperatura. Alguns franceses falam da “hipótese de Ampère”

outras da “hipótese de Ampere-Avogadro”, na qual Ampere apresenta uma diferenciação entre “partículas físicas” e “partículas químicas” (similar aos nossos átomos e nossas moléculas). Ampere afirma que nem sempre a menor partícula é “quimicamente ativa” (que participa das reações) e se subdividem, por exemplo: no caso do Cloro: *1 partícula “química” de Cloro = 8 “unidades físicas” de Cloro* (Maar, 2011).

Gaudin, que futuramente influenciou Cannizzaro, esclareceu os conceitos de “átomo” e de “molécula” da seguinte forma: “Seja um átomo um corpo pequeno, esférico, homogêneo, ou um ponto material essencialmente indivisível, enquanto que uma molécula será um grupo separado (isolado) de átomos, em qualquer número e de qualquer natureza” (Gudin, 1833, tradução de Maar, 2011, p.226). Gaudin, também, propôs explicar, a partir das ideias de Avogadro e da simbologia de Dalton, como as moléculas de amônia são formadas (Mauskopf, 1969; Maar, 2011).

Figura 18: Os Diagramas de Volume de Gaudin (1833):



Fonte: Maar (2011, p. 227).

Gaudin foi um grande cientista na área da cristalografia por dar mais ênfase ao estudo do arranjo atômico nas moléculas e das moléculas em cristais. É hoje lembrado por ser um dos poucos cientistas a retomar a Hipótese de Avogadro-Ampere antes de Cannizzaro. É importante entender que a limitação na correlação entre o conceito de “átomo” e “molécula” na anúncio de Avogadro e dos cientistas que o discutem, mostra não haver apenas um único caminho para a clareza

conceitual. Mas, sem dúvida, o esclarecimento dos conceitos de átomos e moléculas foi essencial para a compreensão e aplicação da hipótese do gás (Mauskopf, 1969).

6.1.4.1.8 Atomistas e Antiatomistas

Vimos até aqui que o caráter provisório do conhecimento científico e do conceito de realidade é visível no estudo de episódios de controvérsias científicas, bem como a necessidade de articulação entre os cientistas para que teorias consensuais possam ser adotadas. As controvérsias científicas que envolveram atomistas e antiatomistas no século XIX são pouco conhecidas entre estudantes e professores de Química. A apresentação do atomismo daltoniano em livros didáticos da educação científica é, muitas das vezes, sutil e insignificante, representando uma abordagem dogmática da ciência, com pouco espaço para que controvérsias científicas sejam apresentadas (Oki, 2009).

As controvérsias envolvendo atomistas e não atomistas justificaram os altos e baixos da teoria atômica naquele período, que resultou, não apenas, da interpretação dos fatos ou da ausência deles para a evidência de átomos, mas envolveu múltiplos aspectos ontológicos, metodológicos e epistemológicos que trouxeram dificuldades para que a comunidade científica percebesse a amplitude das dúvidas persistentes. Embora pairassem dúvidas e especulações acerca da realidade dos átomos, em parte de ordem filosófica, grande parte da comunidade científica do século XIX considerava a ideia de átomo como uma hipótese fundamental para uma interpretação qualitativa dos dados empíricos. Para os atomistas, o grande desafio era concretizar a necessária articulação entre as dimensões macroscópica e microscópica, para, então, tornar o atomismo amplamente aceitável (Oki, 2009).

Entendemos que os conhecimentos dessa articulação entre as dimensões macroscópica e submicroscópica são fundamentais para a evolução dos conceitos de elemento, molécula e substância química. Para não nos estendermos muito nessa longa história das controvérsias atomísticas, resumimos alguns aspectos relevantes da recusa do atomismo no Quadro 19.

Quadro 19: Alguns aspectos da recusa do atomismo

Aspectos Filosóficos	
<i>Naturphilosophie</i> (contemporânea do Romantismo): sucedendo ao Iluminismo (Thomasius, Wolff, Herbart) e ao Idealismo de Kant Representantes: Schelling (1775 – 1854), Oken (1779 – 1851), Carus (1789-1869), Kilmeyer (1765-1844)	— A Filosofia Natural tem sua origem nas especulações dos pré-socráticos. Os filósofos da Natureza acreditam na unidade da matéria, porém esgotam-se com o pensamento racional-dedutivo e apriorístico, não reconhecendo a realidade do átomo. O empirismo é subordinado à Filosofia, que visa encontrar ela própria a solução de problemas concretos, o que Kant considera como uma mera ilusão. A <i>Naturphilosophie</i> metafísica afasta-se do empirismo científico, não havendo espaço para especulações (faca de dois gumes, segundo Rocke, 1978) com base em hipóteses apriorísticas.
<i>Atomismo: problema epistemológico ou ontológico?</i>	— Para Alan Rocke (1978), há um atomismo físico, no qual os átomos são entidades físicas reais (atomistas ontológicos), e um atomismo químico, cujos praticantes são atomistas epistemológicos, isto é, químicos que recorrem a conceitos atomísticos sem se preocuparem com a realidade dos átomos, se utilizando do atomismo como modelos úteis para explicar uma enorme quantidade de situações na Química. — Os átomos eram considerados ora como hipóteses (Faraday), ora como desnecessários (Brodie), ou então os cientistas recusavam-se a crer no que não viam nem imaginavam (Dewille).
<i>Suposta influência do positivismo</i>	— Embora a filosofia positivista tenha sido, por muito tempo, considerada uma das causas da rejeição do atomismo, ao menos da França, a historiadora Bensaude-Vicent (1999) apresenta ressalvas e argumenta que os termos positivista e positivismo não são termos suficientemente caracterizados para servirem de base para uma rejeição do atomismo. Segundo ela, há muitas ideias científicas “positivas” oriundas de cientistas nada “positivistas”, no sentido restrito do termo.
Aspectos Estéticos	
<i>Vigência da “Utopia Estética”</i>	— Na Química, que começa e integrar-se às Ciências Naturais fatores estéticos relacionados à forma, à simetria, a ideia de perfeição tinha maior importância do que explicações dedutivas do funcionamento da Natureza. Até hoje, o componente estético da Ciência pode ser visto: a molécula de benzeno, por exemplo, ou os retículos cristalinos, visualizados na beleza dos cristais de gelo. Portanto, a forma superava a estrutura, e o atomismo era essencialmente estrutura.
Aspectos Metodológicos	
<i>Em que medida fatos são independentes de teorias? (Thullier, 1994)</i>	— As leis das proporções definidas e das proporções múltiplas são apenas fatos, ou há por trás delas hipóteses <i>a priori</i>? Até em que ponto os fatos estudados pela Ciência são fatos? Em que medida eles são representações que permitem ao cientista estudá-los? Essas indagações geram posturas como as de: — Dewille (1818 – 1881): se recusa a acreditar no que não se pode ver e nem imaginar. — Donovan (1709 – 18..): diz ser falso que as leis das combinações sejam simplesmente enunciados de fatos: elas contêm tantos pressupostos e teorias <i>a priori</i> como a própria teoria atômica de Dalton. — Mills (1840 – 1921): afirma que a teoria atômica não tem base experimental alguma, em que as leis das proporções múltiplas e das proporções definidas não provam a existência de átomos. — É válido dizer que a teoria atômica é correta por que se verificam suas consequências (as leis das combinações), assim como fazemos quando aceitamos o primeiro e o segundo princípios da Termodinâmica? A matematização ou quantificação faz sentido no contexto de uma teoria abrangente. Seria a teoria atômica essa teria abrangente?
Aspectos Científicos e Alternativas	
<i>A teoria dos “átomos-turbilhão” (Kelvin, 1867)</i>	— É fruto de um aprofundamento da teoria cinética dos gases e explica, de modo satisfatório, propriedades como elasticidade e comportamento espectroscópico. — Teoria inspirada nas ideias de Malebranche (1638 – 1715) (a matéria é composta por pequenos turbilhões semelhantes aos vórtices de Descartes) e nas ideias de Descartes (o <i>é tomo</i> não é real, mas uma abstração mental possível que fazemos para explicar certos fenômenos). — Kelvin imagina um átomo dinâmico, um anel tubular em contínuo movimento.
<i>“Química Matemática” de Brodie (1866/1877)</i>	— Produto de “marcenaria materialista” e “uma interpolação desnecessária” e capaz de confundir entre a observação e a expressão dos fenômenos. — Nessa teoria os elementos são substituídos por operações: uma certa operação A sobre a “unidade de espaço” leva ao hidrogênio A, uma segunda operação leva à água (A, X). As operações de Brodie consideravam volumes, e não pesos, como a teoria atômica.
<i>“Energetismo” de Wilhelm Ostwald (1895)</i>	— Foi a alternativa mais coerente ao atomismo, com forte embasamento filosófico. — Ostwald combate acirradamente o que ele chama de “materialismo científico” e com este o atomismo, especialmente o atomismo ontológico. Ele recorria a um atomismo químico desligado de conceitos ontológicos. — Para Ostwald o conceito de energia era superior na Ciência (átomos e moléculas, mesmo como modelos, seriam secundários), pois a energia, em suas diversas modalidades, pode ser

	medida.
--	---------

Fonte: Adaptado de Maar (2011, p.228-244).

As teorias de Kelvin (1867) e de Brodie (1866/1877) não foram bem aceitas pela comunidade científica de químicos da época. A “Química Matemática” de Brodie, por exemplo, falha na explicação da isomeria (teoria tipicamente atomista), muito bem explicada pela teoria do carbono de Van’t Hoff e de Le Bel. A teoria de Ostwald (1895), embora possuísse uma base razoável, foi superada na sua aplicabilidade, gerando oposições que a levou ao seu esgotamento. Em 1908, Ostwald cedeu às evidências e à coerência da Teoria Atômica (Maar, 2011).

Segundo o historiador e filósofo William Whewell (1840), a “suposição” da existência de partículas indivisíveis, menores do que as menores partículas observáveis que se combinam, explicará os fenômenos. Mas, a “suposição” de existirem partículas que mantêm as proporções, sem possuir a propriedade de indivisibilidade, explicará os fenômenos igualmente bem. Assim, decidir se a hipótese atômica é a maneira mais conveniente de se conceber a combinação química das substâncias, não dependerá de fatos químicos, mas de nosso conceito de substância. As provas empíricas para o átomo como entidade real ficam em segundo plano, ao existirem outras explicações convincentes de um ponto de vista lógico. O que mais importa para a Química-Ciência da Matéria é o conceito de substância (Maar, 2011).

Outra questão que Whewell (1840) traz embutida é o problema da verdade na Ciência de hoje. A hipótese que não pode ser comprovada pelos sentidos, deve ser, empiricamente, objeto de uma comprovação hipotético-dedutiva com consequências empíricas que parte da hipótese inicial. Assim são as primeiras evidências a favor do atomismo, pois tanto o atomismo antigo de Demócrito quanto o novo atomismo de Dalton partem de uma hipótese não comprovável pelos sentidos, mas comprovada por um raciocínio dedutivo a partir de dados empíricos e hipóteses apriorísticas (Maar, 2011).

A recente possibilidade de visualização dos “átomos” permite uma convergência do átomo ontológico e do átomo epistemológico, mostrando mais uma vez que essa hipótese empírico-dedutiva é tão “verdadeira” como a própria realidade física. Não temos acesso a realidade física, mas temos acesso à representação que fazemos dela. Nesse sentido, Bachelard diz que o cientista constrói o seu objeto e na comprovação empírico-dedutiva de uma hipótese (sensata e logicamente correta a

dedução), o “modelo” criado, gradativamente, com seu aperfeiçoamento, iguala-se ao real (Maar, 2011).

6.1.4.1.9 Berzelius e o período de incertezas

O período que compreende os pesos atômicos até o Congresso de Karlsruhe — bem elucidado por trabalhos de Cid Manzano (2009) e de Oki (2009) — representa a superação de problemas, com a participação de vários cientistas químicos, dentre eles Berzelius. Segundo Maar (2011), essa foi a época dos processos de aceitação da Teoria do Oxigênio de Lavoisier que não alterou significativamente a estrutura e composição da matéria e o porquê das reações químicas e da Teoria Atômica de Dalton que altera significativamente o corpo doutrinário da Química, ao introduzir o átomo quantitativo e estabelecer símbolos e fórmulas com significação quantitativa, permitindo unificar dados empíricos das “leis” ponderais e volumétricas. Todavia, diferentes problemas ainda aguardavam soluções, como, por exemplo, a determinação experimental dos pesos atômicos e diferenciação exata dos conceitos como peso atômico, peso molecular, peso equivalente, átomo e molécula, dentre outros.

A comunidade científica da época visou salvar-se do relativismo metodológico universal enquanto procurava a generalização que incorporasse os problemas da época, destacando-se as autoridades de Berzelius, Dumas e Liebig. Assim, o período trouxe muitos esclarecimentos e desenvolvimentos referentes a Química e Eletricidade, Pilha Voltaica, Eletrólise, “descoberta” dos metais alcalinos e alcalinos terrosos pela eletrólise, pesos atômicos, etc. (Maar, 2011).

Acerca do período das “descobertas” dos metais alcalinos, podemos destacar as contribuições de Sir Humphry Davy (1778 – 1829) que se aplicou aos estudos de “química pneumática”, anestésicos, eletroquímica e pilhas, dentre outros. Davy influenciou o campo da estrutura da matéria ao dizer que as propriedades químicas eram determinadas pela forma pela qual ocorrem as combinações, e não apenas pela natureza dos elementos que se combinam. Já para Ruggiero Boscovich (1711 – 1787), os átomos não são entes reais, mas são centros de força matemáticos, no qual um elemento “verdadeiro” corresponde a um “ponto” matemático de Boscovich e as moléculas são constituídas por combinações de elementos ou “pontos” (Maar, 2011).

Jöns Jakob Barão de Berzelius (1779 – 1848), nasceu na Suécia, de família de camponeses pobres. O primeiro químico em tempo integral e com a maior influência e autoridade de seu tempo, sobretudo na Inglaterra, França e Alemanha. Depois de Lavoisier, Berzelius é considerado o mais importante e versátil sistematizador da Química Moderna, com admirável capacidade de análise e experimentação. A sua obra científica, além dos pesos atômicos, compreende estudos da Química Inorgânica (“descoberta” de novos elementos) e Analítica, Química Orgânica (melhoria da Análise Orgânica), Mineralogia (classificação mineralógica), novas definições de conceitos (isomeria, mesomeria, polimeria, alotropia, catálise, catalisador) e foi autor de muitas publicações (Maar, 2011).

Embora visto com um conservadorismo exagerado, Berzelius defendeu a Teoria Atômica quantitativa e a determinação de pesos atômicos em atitudes revolucionárias, no sentido empírico e teórico, e também a teoria dualista eletroquímica (embora hoje superada, teve importante papel na estruturação da Ciência Química nesse longo período de incertezas). Os conceitos dualistas de Berzelius influenciaram sua tentativa em explicar as relações volumétricas simples de Gay-Lussac e formulou uma hipótese diferente da de Avogadro: “volumes iguais de substâncias simples no estado gasoso contêm o mesmo número de átomos, que se unem intactos nas combinações” (Maar, 2011, p.380)

Conforme Badillo, Torres e Miranda (2012), ao tentar ordenar a diversidade de compostos orgânicos identificados na época, Berzelius elabora o modelo de radicais, que foi, posteriormente, substituído pelo modelo de Jean-Baptiste Dumas (1800 – 1884). Maar (2011) comenta que o período de incertezas produziu algumas teorias efêmeras relacionadas aos pesos atômicos: a “lei do oxigênio” de Berzelius (1810), a “lei” do hidrogênio (Strindberg, Davy, Berthollet, Lugones, Gay-Lussac, Thernard) a hipótese de Proust (1815/1816), dentro outros, cujos dados, por final, contribuíram para a elaboração da tabela de pesos atômicos (Figura 19):

Figura 19: Tabela de Pesos Atômicos comparativos (Rocke, 1978)

elemento	Thomson (1813, 1825)	Berzelius (1825)	Dumas (1859)	valor atual
oxigênio	8	16,026	8	15,9994
nitrogênio	14	14,186	14	14,0067
enxofre	16	32,239	16	32,064
cloro	36	35,470	35,5	36,457
iodo	124	123,206	127	126,9044
carbono	6	12,250	6	12,01115
arsênio	38	75,329	75	74,92
prata	110	216,611	108	107,87
mercúrio	200	202,863	100	200,59
cobre	32	63,45	31,75	63,54
chumbo	104	207,548	103,5	207,19
zinco	34	64,621	32,75	63,37
ferro	28	54,363	28	56,847
cálcio	20	41,00	20	40,08
estrôncio	44	87,709	43,75	87,62
bário	0	137,325	68,5	137,34
sódio	24	46,620	23	22,9888

Fonte: Maar (2011, p.371).

Diante do exposto, observamos que a História da Ciência nos revela uma confusão química que marcou, principalmente, a década de 1850, envolvendo químicos orgânicos e inorgânicos usando diferentes sistemas de pesos atômicos, muitos deles realmente equivalentes pesos e alguns deles bastante equivocados. Entretanto, Berzelius foi o químico que mais contribuiu para o desenvolvimento da escala de peso atômico, publicando, em 1826, uma extensa tabela de pesos atômicos relativos que, notavelmente, concordam com os dados que usamos atualmente, como mostra o quadro acima. Além dos pesos atômicos relativos, Berzelius introduziu o uso de abreviaturas simples e símbolos para os elementos e o sistema químico utilizados atualmente (Kolb, 1977).

Berzelius trouxe uma grande contribuição para o conceito clássico de molécula a partir do fenômeno de isomerismo. Para Berzelius “os mesmos elementos, unidos no mesmo número, mas de modo diferente, produzem compostos de propriedades e formas diferentes” (Berzelius, *apud* Rheinboldt, 1988, p.124). A partir dessa visão, entende-se que as propriedades das substâncias não dependem apenas do número e do tipo de átomos, mas também da forma como eles se organizam na molécula (Mortimer, 1997). Poderemos entender melhor essa ideia com a Nanociência e Nanotecnologia, apresentadas mais adiante.

O período das incertezas foi agraciado por soluções geradas com o

Congresso de Karlsruhe. Cannizzaro se destacou ao esclarecer alguns dos complexos problemas químicos do século XIX. No Congresso de Karlsruhe, Cannizzaro pode convencer o mundo acerca da importância da Hipótese de Avogadro e da escala de pesos atômicos relativos de Berzelius e, conseqüentemente, estabeleceu melhor clareza na compressão da visão submicroscópica de substância (Kolb, 1977; Silva, 2017).

6.1.4.2 Século XIX: reconstrução de contextos

O século XIX contou com a sistematização da Química Orgânica e Inorgânica, com várias questões a serem esclarecidas na comunidade de químicos. Para o nosso propósito, destacaremos os problemas com os pesos atômicos e correspondentes discutidos no Congresso de Karlsruhe, cujos desdobramentos elucidaram as noções de conceitos de átomo, molécula e fórmula química, dentre outros. Ainda, cabe ênfase nos estudos das estruturas e propriedades de compostos orgânicos, alotropia e elementos radioativos que contribuíram para a aproximação do conceito de substância da visão relacional neste século.

6.1.4.2.1 Cannizzaro e o Congresso de Karlsruhe (1860)

Entre os nomes que contribuíram para os desdobramentos no campo científico da Química, a partir de Lavoisier, está o de Stanislao Cannizzaro (1826 – 1910), químico, revolucionário e precursor da Tabela Periódica (Polo, 2010). Ele se baseou nos estudos de Dalton, Berzelius e Avogadro, principalmente, e em 1858, Cannizzaro apresenta em *“Sunto di um corso di filosofia chimica”*, suas ideias acerca do conceito de substância por meio de uma abordagem microscópica, influenciada por estudos anteriores. Portanto, essas ideias representam uma fase de transição que culminará até a ruptura do século XX, com a mecânica quântica (Silva, 2011). Após Lavoisier e Berzelius, com toda a certeza, Cannizzaro é o terceiro grande sistematizador da Química Moderna (Maar, 2011).

Nessa época, algumas dúvidas inquietavam os químicos, refletindo a impossibilidade de conciliar os dados empíricos com uma teoria explicativa. As teorias eram pressupostos estabelecidos *a priori*, não demonstráveis, porém, verificáveis *a posteriori* (como o caso da teoria de Dalton), ou eram derivadas de diferentes

interpretações, coerentes entre si, mas dependentes dos pressupostos. Havia também, a dificuldade de determinar pesos atômicos em escala absoluta, e de diferenciar os “pesos equivalentes” experimentais dos “pesos atômicos” ligados à teoria atômica, dentre outras dificuldades. Podemos considerar que a teoria atômico-molecular de Cannizzaro trouxe soluções vislumbradas, em um curto período, que pôs fim ao caos e às incertezas de um século (aproximadamente de Dalton à Ostwald) (Maar, 2011).

Grande parte das “dúvidas” estavam relacionadas ao uso indiscriminado dos termos “átomo” e “molécula” e da falta de definição clara para esses termos. Berzelius não aceitava que “moléculas” de substâncias simples podem se dividir quando se combinam. Por outro lado, na suposição de Charles Gerhardt (1816 – 1856), essa divisão acontecia com todas as moléculas, durante a ação química (por essa visão, as moléculas de mercúrio, ou de outro metal, seriam compostas por dois átomos). A partir da hipótese de Avogadro, por meio de um encadeamento lógico de deduções possíveis, Cannizzaro elabora a hipótese atômico-molecular, que apresenta uma definição razoavelmente correta desses termos, por meio de dados empíricos e com uma definição mais rigorosa de “átomo” e “molécula”, Cannizzaro pode elaborar suas tabelas (Maar, 2011).

Figura 20: Densidades das substâncias, por Cannizzaro

NOMI DEI CORPI	DENSITÀ	DENSITÀ
	ossia pesi di un volume, fatto = 1 quello di un volume d'idrogeno, ossia pesi delle molecole comparati al peso di una intera molecola d'idrogeno considerata come unità.	riferite a quella dell'idrogeno ⁽¹⁾ = 2, ossia pesi delle molecole comparati al peso della mezza molecola d'idrogeno preso per unità.
Idrogeno	1	2
Ossigeno ordinario	16	32
Ossigeno elettrizzato	64	128
Solfo sotto 1000°	96	192
Solfo sopra 1000° ⁽²⁾	32	64
Cloro	35,5	71
Bromo	80	160
Arsenico	150	300
Mercurio	100	200
Acqua	9	18
Acido cloridico	18,25	36,50 ⁽³⁾
Acido acetico	30	60

Fonte: Cannizzaro (1858, p. 07).

A tabela traz as densidades de gases em relação ao hidrogênio, na

qual a primeira coluna de dados numéricos corresponde a densidade de $H_2 = 1,00$, e a terceira coluna apresenta a relação com $H_2 = 2,00$. Segundo Cannizzaro (1858), é possível dizer que os pesos das moléculas são todos representados pelos pesos de dois volumes.

Com esses dados é desenvolvido um nível de pensamento racional, com base em aspectos macroscópicos da matéria (propriedades) e aspectos submicroscópicos acerca da matéria, delineando o conceito de substância a partir da noção de pureza (Silva, 2017). Os dados de Cannizzaro foram inúmeros. Vejamos mais uma de suas tabelas na figura a seguir, agora com a tradução e adaptação de Maar (2011), relacionada aos pesos atômicos e fórmulas, no caso do carbono:

Figura 21: Tabela de Pesos Moleculares e Fórmulas de Compostos de Carbono, por Cannizzaro

Composto	Peso Molecular	Peso dos Componentes (átomo de H = 1,00)	Fórmula
óxido carbônico	28	12 de C + 16 de O	CO
ácido carbônico	44	12 de C + 32 de O	CO ²
sulfeto de carbono	76	12 de C + 64 de S	CS ²
gás dos pântanos	16	12 de C + 4 de H	CH ⁴
etileno	28	24 de C + 4 de H	C ² H ⁴
propileno	42	36 de C + 6 de H	C ³ H ⁶
éter	74	48 de C + 10 de H + 16 de O	C ⁴ H ¹⁰ O

Fonte: Maar (2011, p.381).

Segundo Maar (2011), a base de dados experimentais de Cannizzaro configura a origem de seu pensamento filosófico para a evolução da Ciência. Sem preconceitos e com uma lógica explícita, a Teoria Atômico-Molecular de Cannizzaro, a partir de Avogadro, conseguiu reunir em uma única teoria coerente e consistente, os dados de Avogadro, Dalton, Berzelius, Gerhardt, Gay-Lussac, Wollston, Gaudin, Ampère e outros.

O Congresso de Karlsruhe (Alemanha, 1860) foi o primeiro grande encontro de químicos do mundo inteiro, com 140 participantes, dentre eles estavam Weltzien, Kekulé, Wurtz (organizadores do evento), Couper, Wöhler, Bunsen, Dumas, Frankland, Liebig, Mitscherlich, Erlenmeyer, Posselt, Meyer, Mendeleiev, Müller, dentre muitos outros químicos importantes. Foi a oportunidade que o italiano Cannizzaro teve para mostrar suas ideias, segundo ele, didáticas. Após ver o artigo

de Cannizzaro, Lothar Meyer (1830 – 1883), um dos pioneiros das primeiras versões da Tabela Periódica dos Elementos, reconheceu o valor do trabalho do colega e escreveu: “Foi como se escamas caíssem de meus olhos, a dúvida cedeu, e foi substituída por um sentimento de tranqüila certeza” (Maar, 2011, p 385). Meyer, então, incorporou a teoria atômico-molecular de Cannizzaro ao seu famoso livro-texto, denominado “As Modernas Teorias Químicas”, publicado em 1864 (Maar, 2011). Em seu “*Sunto di um corso di filosofia chimica*” (1858), Cannizzaro divulga:

Acredito que os avanços da ciência feitos nos últimos anos confirmaram isso a hipótese de Avogadro, Ampère e Dumas a respeito da constituição semelhante dos corpos no estado gasoso, isto é, que seus volumes iguais, simples ou compostos, contêm o mesmo número de moléculas; porém não o mesmo número de átomos, sendo as moléculas dos vários corpos ou as dos mesmos corpos em seus vários estados, contêm um número variado de átomos, sejam da mesma natureza ou de natureza diferente (Cannizzaro, 1858, p. 1, tradução nossa).

Cannizzaro mostrou aos demais químicos que a hipótese de Avogadro era a chave para o acordo entre os químicos orgânicos e os inorgânicos, enfatizando a importância da distinção entre átomos e moléculas, entre pesos atômicos e pesos moleculares. Também, Cannizzaro propôs uma versão melhorada da escala de peso atômico relativo de Berzelius e conseguiu convencer seus colegas químicos da extrema importância de se obter uma tabela confiável e padronizada de pesos atômicos (Kolb, 1877).

Portanto, observamos que Cannizzaro fez uma revisão do desenvolvimento histórico dos referentes conceitos de átomos e moléculas usando uma perspectiva fundamentada na hipótese de Avogadro. Isso corroborou para estabelecer uma visão submicroscópica das propriedades das substâncias, o que, para os dias atuais, foi fundamental para que vários tipos de matérias fossem identificados (Silva, 2017). Nessa época, observamos que os fatores energéticos começaram a ser analisados nos processos químicos, como, por exemplo, os conhecimentos das substâncias catalizadoras e da cinética química, na qual as substâncias químicas passaram a ser vistas em termos de energia (Silva, 2011).

Segundo as conclusões de Badillo, Torres e Miranda (2012) referente aos desdobramentos da época, o Congresso de Karlsruhe promoveu o início de uma comunidade científica sólida. O dilema enfrentado pelos químicos antes do congresso obteve uma resolução importante. No apontamento de Cannizzaro, havia duas

anotações, uma primeira baseada no atômico-molecular e uma segunda, referida aos resultados das medições dos equivalentes. No primeiro caso, cada fórmula química representaria a molécula, enquanto no segundo caso, a fórmula referia-se apenas à equivalência (Niaz, 2012). E, a partir desses apontamentos, Cannizzaro pode resolver um grande conflito conceitual, fundamental para o Congresso aprovar o seguinte consenso, descrito por Giunta (2023):

Propõe-se que diferentes conceitos sejam adotados para molécula e átomo. Uma molécula é considerada a menor quantidade de substância que entra em reação conservando suas características físicas, e entendendo por átomo a menor quantidade de um corpo que entra na molécula de seus compostos (Giunta, 2023, p. 1, tradução nossa).

Sem dúvida, Cannizzaro foi o personagem histórico da ciência que reviveu, após cinquenta anos, a hipótese que havia sido anunciada por Avogadro e a situou para a, então, comunidade científica constituída de químicos. Cannizzaro concebeu sua teoria em termos de uma inovação conceitual, metodológica e didática que percorreu a determinação de pesos moleculares e atômicos, para derivar desse procedimento, a elaboração das fórmulas dos compostos e uma nomenclatura racional. Um modelo duplo: didático e científico (Badillo; Torres; Miranda, 2012).

A partir dos resultados do Congresso de Karlsruhe, surgiu a convicção de que as reuniões de cientistas eram mais que necessárias para a troca de experiências e de teorias e para o progresso da ciência. Então, outras reuniões foram organizadas como, por exemplo, a Primeira Reunião da Sociedade Russa de Química (1869), na qual Mendeleev anunciou a Lei Periódica dos Elementos (Cid Manzano, 2009).

Os resultados do congresso permitiram o desenvolvimento das estruturas dos compostos orgânicos por Kekulé, Couper e Butlerov. Desde 1850, o campo da Química orgânica era o que mais se desenvolvia. Assim, alguns problemas relacionados as estruturas de compostos inorgânicos foram resolvidos mais ao final do século XIX. A adoção dos pesos atômicos em lugar dos equivalentes levou a uma melhor representação de compostos químicos, ao reconhecimento de que certas substâncias (Hidrogênio, Oxigênio, Nitrogênio) são diatômicas e não monoatômicas e aos avanços no estudo de valência proposto por Frankland, mas sobretudo na aceitação do modelo atômico-molecular de Avogadro-Cannizzaro (Cid Manzano, 2009; Maar, 2011).

A partir das discussões ocorridas no Congresso de Karlsruhe, Dimitri Mendeleiev (1834 – 1907) avaliou a solução do problema inerente aos átomos e moléculas, em termos epistemológicos, em três etapas: — Nível Macroscópico (distinguir na linguagem química corrente, entre “corpo” e “substância”) — Nível Submicroscópico (distinguir entre “átomo” e “molécula”) — Relação entre os dois níveis. Os sentidos trazem uma percepção imediata que se refere aos fenômenos macroscópicos, por meio da percepção das transformações que ocorrem nos “corpos”. Entretanto, para podermos entender as transformações ocorridas, os “corpos” remetem à ideia de “substância” (= elemento) primordial. Na visão de Bachelard, jamais um experimento nos coloca em contato com a “substância”, porém, é impossível compreender os experimentos envolvendo os “corpos” sem a noção de “substância” (Maar, 2011). Em conclusão, nas palavras de Mendeleiev (1889):

chamamos de molécula a quantidade de substância que entra em reação com outras moléculas, e que ocupa no estado de vapor volume igual ao de dois pesos de hidrogênio [...] os átomos são as menores quantidades de massas químicas indivisíveis dos elementos, que formam as moléculas dos corpos simples e compostos (Mendeleiev, 1889, tradução de Maar, 2011, p. 388).

No Ensino Médio, estudantes geralmente ouvem professores dizerem que o átomo é a menor fração de um elemento e que conserva as propriedades deste, e a molécula é a menor fração de uma substância. Mas foi Mendeleiev quem estabeleceu esses paralelismos átomo-elemento-molécula-substância, e estabeleceu as relações entre os níveis submicro e macroscópicos, passos epistemológicos decisivos na evolução da teoria química (Maar, 2011), que dificilmente é apresentado a estudantes. Para a relação entre os níveis macroscópicos e submicroscópicos, Mandeleiev (1889) estabelece:

um corpo simples é algo material dotado de propriedades físicas e capaz de reações químicas. A expressão ‘corpo simples’ corresponde à ideia de molécula [...]. Deve-se reservar o nome de ‘elemento’ para as partículas que formam os corpos simples e compostos, e que determinam a maneira como eles se comportam do ponto de vista físico e químico (Mendeleiev, 1889, tradução de Maar, 2011, p. 389).

Fica claro para Mandeleiev a distinção entre ‘elemento’ e ‘substância simples’. O termo elemento remete à ideia de átomo. As substâncias simples como carvão, grafita e diamante são formadas por átomos do elemento carbono. Segundo o químico filósofo Fritz Paneth (1887 – 1958), o elemento pertence ao mundo

transcendental, não observável, já a substância simples é observável por pertencer ao mundo do realismo ‘primitivo’ ou ‘ingênuo’ (Maar, 2011). Numa linguagem mais simples, “o ‘elemento oxigênio’ é o conjunto de todos os átomos de oxigênio, aqueles presentes no gás oxigênio, aqueles presentes na água, nos minerais — essa presença é o cerne de sua transcendentalidade” (Maar, 2011, p. 389).

Para Maar (2011), podemos concluir que a abordagem e interpretação epistemológica de Mendeleiev na solução das “dúvidas”, permitindo o entendimento das reações químicas (fenômenos macroscópicos) em termos da estrutura microscópica das espécies químicas, contribuiu, claramente, para a sistematização lógica e evolutiva de Cannizzaro.

6.1.4.2.2 *Química Orgânica: composição, estrutura e propriedades*

“A Química Orgânica de hoje em dia me deixa louco. Parece-me ela uma primeva floresta tropical, repleta das coisas mais incríveis, uma floresta amedrontadora e interminável, na qual não nos aventuramos, pois não tem saída nem fim” (*carta de Wöhler a Berzelius, janeiro de 1835*) (Maar, 2011, p. 391).

É de se imaginar, qual seria a opinião de Wöhler acerca da Química Orgânica de nosso tempo? A rica História da Química Orgânica e suas grandiosas contribuições às Ciências da Natureza dispensam apresentações. Como sempre, iremos nos centralizar nos aspectos mais relevantes para a compreensão da evolução do conceito de substância, já em andamento, principalmente desde o século XVIII.

A Química Orgânica é uma Ciência bem antiga, pois na antiguidade, muitas substâncias de origem vegetal e animal (corantes, bebidas fermentadas, vinagre, óleos e gorduras, açúcares, perfumes, fármacos, etc.) já eram conhecidas e manipuladas. O que é novo nessa Ciência, assim, é sua sistematização e sua interpretação. O século XVIII foi marcado pelo grande número de compostos orgânicos identificados e um contexto de muitos vitalismos que iam contra o “homem-máquina” e o mecanicismo reducionistas. Frederick Holmes (1932 – 2003) entende que o período entre 1810 e 1860 compreende a ascensão da Química Orgânica, por meio da Teoria de Lavoisier e do Atomismo de Dalton, levando à síntese da ureia de Friedrich Wöhler (1800 – 1882) e à transposição de antigas limitações, fundamentada nas fórmulas estruturais de Kekulé (Maar, 2011).

Comparada a Química Inorgânica, a Orgânica se desenvolveu bem

mais lentamente, devido, entre outros fatores, aos seus objetivos anteriores. Por exemplo, na antiguidade, os farmacêuticos/quimiatras se interessavam mais pelas “virtudes farmacológicas” e uso medicinal do que pela composição ou propriedades químicas dos compostos orgânicos. Além disso, havia as dificuldades de ordem experimental (extração, separação, purificação, constantes físicas e propriedades, pesos atômicos, fórmulas moleculares) e outros fatores que retardaram ou até impediram a investigação de compostos orgânicos (Maar, 2011). No plano teórico, também havia necessidades a serem resolvidas (definição de conceitos, “teoria estrutural”, “radicais”, etc.). A história da Química Orgânica pode ser entendida em 5 períodos, segundo Maar (2011):

Quadro 20: Períodos da História da Química Orgânica

1.	Protoquímica Orgânica: do período alquimista (“descoberta” do álcool etílico, por volta de 1250) até o último quartel do século XVIII.
2.	Período das “descobertas” assistemáticas: último quartel do século XVIII até 1828.
3.	Período da sistematização: de 1828 (síntese da ureia de Wöhler) até 1874 (teoria do Carbono Assimétrico de Van’t Hoff e de Le Bel).
4.	Período da expansão (1874–1934)
5.	Período Moderno: desde 1934 (publicação, por Ingold, de seu primeiro resumo a respeito da teoria eletrônico-estrutural da Química Orgânica).

Fonte: Adaptado de Maar (2011, p.400).

Para a compreensão da evolução do conceito de substância, precisamos nos atentar, a exemplo de Silva (2011), aos aspectos como estruturas, modelos, propriedades e energia, envolvidos nos compostos orgânicos. Portanto, os períodos de maior interesse para esse fim são o de sistematização e o período moderno.

Como descrito no quadro acima, o período de sistematização da Química Orgânica consta o “vitalismo” (que além de ser remanescente de teorias espiritualistas e dualistas antigas, nasceu também das posturas do Romantismo e da *Naturphilosophie*), a síntese da ureia de Wöhler (1828) e a Isomeria (Maar, 2011).

Vitalistas no século XIX, como, por exemplo: Marie François Xavier Bichat (1771 – 1802), Johannes Müller (1801 – 58) e Justus, Baron von Liebig (1803 – 73), sustentavam crenças de que os processos internos dos organismos vivos eram únicos e não podiam ser duplicados em laboratório. Logo, acreditava-se que a síntese *in vitro* de compostos “orgânicos” era impossível. Diante disso, foi postulado que os organismos vivos continham uma “força vital” que era a própria essência da vida (Wilkinson, 2002).

O declínio da legitimidade da “força vital” se inicia mesmo quando não se dispunha de ferramentas para a explicação de fenômenos vitais, como uma teoria filosófica. Dentre os inúmeros questionamentos de Reil acerca “força vital” destaca-se: “a força é uma relação dos fenômenos com as propriedades da matéria geradas por esses fenômenos; a noção de forma é inseparável da noção de matéria, é a causa que provoca os fenômenos” (Reil, 1796 *apud* Maar, 2011, p. 481).

Logo, percebemos uma ideia filosófica que leva ao entendimento da relação das propriedades da matéria, nesse caso, com a chamada “força”, inseparável da matéria. Podemos dizer que a matéria não detém as propriedades, mas estas dependem das interações “força-matéria”. Reil entende que as forças ou parcerias que ocorrem entre fenômenos e propriedades podem variar como: força física (manifestação mais geral da matéria, e sua relação com as propriedades mais gerais), força vital (relação de um fenômeno mais individualizado específico de uma matéria), força vegetativa, força animal e faculdade de raciocínio (privativa da espécie humana) (Maar, 2011).

É bem conhecido o mito de que a revolucionária síntese da ureia teria gerado uma mudança de paradigma na Química Orgânica. Este “mito da derrubada da força vital” pode ter sido estimulado pela famosa carta de Wöhler destinada a Berzelius, em fevereiro de 1828: “..., por assim dizer não posso mais segurar minha água química, e devo relatar-lhe que posso produzir ureia sem utilizar um rim, seja humano, seja de um cão. O cianato de amônio é ureia...” — Citação de Wöhler, por Liebig e Warren (1837 *apud* Maar, 2011, p. 490).

As respostas de Berzelius a Wöhler não foram tão animadoras, embora com elogios ao trabalho do colega. Por final, os próprios Wöhler e Berzelius, entre outros, não se converteram, de imediato, a um novo paradigma, contudo os historiadores do século XIX não pensavam dessa forma. Na visão do historiador Hermann Koop (1817 – 1892), a síntese da ureia é de particular importância para a Química Orgânica por se tratar do primeiro exemplo da síntese de um composto animal exclusivamente por meio de recursos químicos, eliminando as diferenças admitidas entre os compôs das Químicas Orgânica e Inorgânica, e com isso, a ideia da “derrubada da força vital” na Química. Entretanto, não podemos negligenciar que, provavelmente, outras sínteses contribuíram para a derrocada da “força vital” na Química (Maar, 2011), como descrito na Figura 22.

Figura 22: Sínteses orgânicas que contribuíram para a descrença na “força vital”

Cientista	Síntese
Friedrich Wöhler (1800-1882)	1824: Síntese do Oxalato de Sódio (não considerado composto orgânico na época, pois se continham C e O, não continham H, todavia essa foi a primeira síntese de um composto orgânico): $\text{NC-CN} + \text{H}_2\text{O} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaOOC-COONa}$ 1824: Síntese da Uréia a partir do ácido ciânico e amônia: $\text{NCH}_4\text{-O-CN} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{aquecimento}} (\text{H}_2\text{N})_2\text{-CO}$
Théophile Jules Pelouze (1807-1867)	1831: Síntese do Ácido Fórmico (antes obtido por destilação de formigas) a partir da hidrólise do ácido cianídrico: $\text{HCN} \xrightarrow{\text{hidrólise}} \text{H-COOH}$
Adolf Hermann Kolbe (1818-1884)	1845: Síntese do Ácido Acético (a primeira síntese total) por meio de reações em série: $\begin{aligned} \text{C} + \text{S} &\xrightarrow{\text{aquecimento}} \text{CS}_2 \quad (\text{Lampadius, 1796}) \\ \text{CS}_2 + \text{Cl}_2 &\xrightarrow{\text{aquecimento}} \text{CCl}_4 \quad (\text{Kolbe e Hofmann}) \\ \text{CCl}_4 &\xrightarrow{\text{aquecimento}} \text{CCl}_2 = \text{CCl}_2 \quad (\text{Kolbe}) \\ \text{CCl}_2 = \text{CCl}_2 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} &\rightarrow \text{CCl}_3\text{-CCl}_3 + \text{Cl}_3\text{C-COOH} \\ \text{Cl}_3\text{C-COOH} &\xrightarrow{\text{redução}} \text{CH}_3\text{-COOH} \quad (\text{Melsens, 1844}) \end{aligned}$

Fonte: Com base em Maar (2011).

Wöhler se ocupou com o ácido ciânico bem antes da famosa síntese da ureia, e durante sua estadia com Berzelius em Estocolmo (1823 – 1824), obteve o ácido isociânico e seus sais, envolvendo estudos empíricos importantes que levaram ao conceito de Isomeria por Berzelius em 1830 (Maar, 2011).

A sistematização da Química Orgânica com os estudos de radicais e teoria dos tipos (que muitas das vezes, o químico de hoje pouco imagina a importância) levaram, finalmente, à teoria estrutural. A química Orgânica, a partir de 1830, foi estruturada com os seguintes planos empírico e teórico (Maar, 2011):

Quadro 21: Ideias a serem exploradas pela Química Orgânica

Plano Empírico
— a análise dos compostos orgânicos, em busca de sua fórmula; — a organização desses compostos num sistema de classificação? — a busca de relações entre esses compostos; — a reprodução em laboratório de composto de origem vegetal e animal; — a síntese em laboratório de compostos inexistentes na natureza; — um arremedo de entendimento das reações que ocorrem entre esses compostos e compostos inorgânicos.
Plano Teórico
— a possibilidade de elaborar uma “teoria constitucional” ou de preferência de uma “teoria estrutural”; — a possibilidade de encontrar relações entre “estruturas” e propriedades dos compostos; — a possibilidade de prever a existência de novos compostos e de propriedades dos compostos; — a existência ou não de limites para as possibilidades preditivas de uma “teoria estrutural”.

Fonte: Adaptado de Maar (2011, p. 656).

Como podemos perceber no quadro acima, um dos objetivos dos estudos dos químicos orgânicos foi estabelecer relações entre “estruturas” e

propriedades desses compostos. Essa ideia, também, corrobora para a evolução do conceito de substância e na desmitificação da crença de que as substâncias são detentoras de suas propriedades que, nesse caso, está relacionada a organização estrutural do composto, dentre outros aspectos.

Ainda com relação às “estruturas” devemos lembrar dos desenvolvimentos dos estudos de valência e tetravalência do carbono, (Friedrich August Kekulé, 1858), formação de cadeias carbônicas (Friedrich Rochleder, Kekulé e Couper), organometálicos (Alexander Butlerov, 1864), teoria estrutural (Kekulé, entre 1858 e 1861). Cabe ressaltar que o termo “estrutura” é citado por Butlerov, pois Kekulé fala de “justaposição”. A teoria estrutural de Kekulé é resultado de uma evolução de estudos iniciados com a teoria dos radicais, teoria dos tipos, chegando à estrutura (Maar, 2011).

Por meio dos estudos de compostos como metano e seus derivados, Kekulé estabeleceu o postulado da tetravalência do carbono associando esse estado de combinação a uma propriedade do elemento: a valência. Desde então, a valência passou a representar uma “impressão digital” do elemento (Oliveira, 1995). Voltaremos a essa discussão mais adiante, citando Bachelard.

Podemos considerar que o conceito de “estruturas” possui dupla interpretação (realidade ou modelos). A realidade da estrutura pode distinguir uma realidade concreta, física, e pode também distinguir uma realidade no sentido conceitual, pertencente ao intelecto (meinonguiana, como define o filósofo Alexander Meinong, 1853 – 1920). Em contrapartida, “estruturas” podem ser entendidas como modelos, representações da realidade que podem explicar suas propriedades e reações. Resumindo, no primeiro caso temos: estruturas determinam as propriedades; no segundo caso: propriedades sugerem representações (modelos) (Maar, 2011).

Portanto, observamos que a mesma relação que havia com o atomismo (ontológico/epistemológico) se repete no nível molecular. Entretanto, a presença das duas posturas não impede o desenvolvimento da Química, pois as estruturas são consideradas, ao menos, “representações” de uma molécula para explicar as propriedades e reações, não importando se são reais ou não (Maar, 2011). Nesse contexto, é importante entender que se trata de condições abstratas que influenciam a formação de um conceito, por exemplo, o surgimento do conceito de substância pura é considerado um modelo teórico (Silva, 2017).

➤ *A Isomeria: mesma composição, diferentes propriedades*

Ainda que, em 1797, Alexander von Humboldt (1769 – 1859) fez uma previsão de que poderiam existir substâncias de mesma composição com propriedades diferentes, mas havia um princípio da Química que se formou mediante a inspiração mecanicista que diz: “compostos com a mesma composição deveriam apresentar também as mesmas propriedades” (Maar, 2011, p.493).

A *Naturphilosophie* deu origem ao conceito primitivo de “estrutura”. A ironia da História da Química é que Justus von Liebig (1803 – 1873), forte adversário da *Naturphilosophie*, foi o primeiro químico orgânico a desenvolver experimentos com isômeros. Por não haver recurso experimental na época, havia uma hipótese apriorística, uma especulação, de que era possível conceber diferentes arranjos de átomos ou partículas em compostos de mesma composição, mas com diferentes propriedades. Essa consideração era necessária, pois havia um dualismo composição/propriedades, na qual havia a crença de que a composição química caracterizava o composto (Maar, 2011).

Os estudos dos ácidos fulmínico, ciânico, tartárico e “racêmico”, na vigência do “princípio não escrito” e constatações experimentais complexas para explicações, levaram ao início do estabelecimento do conceito de Isomeria, envolvendo vários químicos orgânicos, dentre eles, Wöhler e Liebig que conseguiram obter substâncias claramente diferentes contendo a mesma composição. Segundo Wöhler (1824), esse fato intrigante não encontrava explicação na comunidade dos químicos orgânicos, gerando vários questionamentos, principalmente por Berzelius. Já a explicação de Gay-Lussac foi *a priori*: “as diferenças nas propriedades são explicadas pela variação na maneira de combinação dos átomos envolvidos” (inconscientemente menção de algo com uma “estrutura” dos compostos orgânicos) (Maar, 2011, p.496).

Segundo Esteban (2008), houve várias controvérsias entre Liebig e Wöhler a respeito dos experimentos que levaram ao desenvolvimento da teoria da isomeria. No entanto, a pesquisa de Liebig e Wöhler com o fulminato de prata e o cianato de prata foi, certamente, crucial para que Berzelius, com seu enfoque unificador, conseguisse dar uma explicação satisfatória acerca dos resultados das pesquisas e elaborasse sua ideia acerca de isomerismo.

Diante disso, após vários estudos e experimentos, com a obtenção do

benzeno por decomposição térmica do óleo da baleia, por Michael Faraday em 1825 (em seus estudos de gás para iluminação pública), com isolamento de diferentes gases orgânicos, com os estudos com o ácido tartárico, dentre demais estudos, ocorreram evidências importantes para que Berzelius (o mestre em formular conceitos químicos, segundo Dumas) definisse, em 1830, o conceito de Isomeria, apresentado por Schwedt (1998): “os mesmos elementos unidos em mesmo número, mas de modo diferente (talvez numa posição diferente dos átomos) produzem compostos de propriedades e formas diferentes” (*apud* Maar, 2011, p.497).

Com o passar dos tempos, a isomeria se tornou um conceito mais complexo, na qual as moléculas só poderiam ser compreendidas na perspectiva da Estereoquímica (o estudo do arranjo espacial de átomos em uma molécula, associado ao conceito de configuração e conformação) (Raupp *et al.*, 2021).

➤ *Estereoquímica: o início*

Por muito tempo, a ideia de que moléculas não tinham dimensão prevaleceu entre a comunidade científica de químicos. No início do século XIX, quando a ideia de que existiria um arranjo espacial dos átomos na molécula foi proposta, as controvérsias surgiram e a história da estereoquímica foi construída em meio a uma batalha científica de negação e legitimação. Por meio de evidências experimentais, os pesquisadores chegaram à conclusão de que cada transformação química é influenciada pelo arranjo espacial dos átomos. Essa compreensão é a chave para o entendimento de como um pequeno número de elementos químicos formam milhões de compostos e como ocorrem as relações entre estrutura e propriedade (Raupp *et al.*, 2021).

Segundo Esteban (2008), o início da química estrutural adveio com a constatação da isomeria. Ramberg (2003) descreve que a partir daí, surgiu o conceito de “química no espaço”, um dos primeiros nomes da estereoquímica, na época bastante criticado, mas que hoje em dia é considerado um dos conceitos-chave da Química Orgânica. Além disso, Van Der Spek, (2006) destaca o episódio histórico envolvendo a controvérsia do carbono tetraédrico assimétrico e as substâncias opticamente ativas que permeou o desenvolvimento da estereoquímica, causando o choque da comunidade científica, pois havia a ideia de que as moléculas não

apresentavam organização espacial.

Entretanto, ao analisarmos as pesquisas realizadas ao longo do século XIX, podemos perceber o contrário. Jean Baptiste Biot (1774 – 1862), já havia apresentado estudos de substâncias capazes de provocar rotação no plano de luz polarizada em 1810 e denominou essas substâncias de opticamente ativas. Em 1846, Louis Pasteur (1822 – 1895), discípulo de Biot, em seus estudos acerca da cristalografia, notou que as soluções dos cristais formados nos barris, no envelhecimento do vinho, desviavam o plano da luz no polarímetro (Sheldon, 1994). A partir disto, Pasteur relacionou o desvio do plano da luz polarizada com o arranjo espacial das moléculas de carbono. Ele, sugeriu, então, que os substituintes, ao redor do átomo de carbono, deveriam apresentar, provavelmente, um arranjo tetraédrico e assimétrico (Bagatin *et al.*, 2005; Raupp *et al.*, 2021).

Além dos estudos de Pasteur inaugurarem a estereoquímica, o cientista desenvolveu métodos de separação dos isômeros (*d*-dextrógiro e *l*-levógiro), dos ácidos *d*-tartárico e *l*-tartárico. Pasteur observou que as propriedades dos sais desses isômeros eram idênticas, mas o mesmo não foi observado quando os dois ácidos tartáricos reagem com uma base opticamente ativa, como, por exemplo, a *d* ou *l*-cinconidina. Esses sais com diferentes propriedades físicas foram chamados de *diastereoisômeros* e podem ser separados por cristalização fracionada (Maar, 2011).

Fica evidente de que Pasteur relacionou o comportamento óptico oposto à simetria molecular. Entretanto, a ideia não avançou muito além do entendimento de uma assimetria, pois na época, a Química Orgânica ainda não contava com uma teoria estrutural, que surgiria em 1858 (Kekulé e Couper) e 1861 (Butlerov). A teoria estrutural de Kekulé foi associada aos dados da físico-química (cinética, termodinâmica, eletroquímica), de Lowry, Lewis, Pauling e outros e, quase que espontaneamente, levou à teoria eletrônico-estrutural de Ingold e Hughes (Maar, 2011), cujos desdobramentos foram fundamentais para a compreensão do conceito de substância do século XX.

6.1.4.2.3 Química Inorgânica: novos elementos radioativos e alotropia

A Química Inorgânica do século XIX se desenvolveu com os estudos envolvendo: estrutura dos compostos inorgânicos, “complexos” (os compostos de coordenação), classificação e periodização dos elementos, evidências de novos

elementos, estudo sistemático dos compostos inorgânicos, sistematização da Química Analítica e a indústria (Maar, 2011). Para este estudo, iremos destacar os elementos radioativos, assunto chave para os desdobramentos que virão, envolvendo um dos aspectos energéticos influentes na evolução do conceito de substância.

Vimos durante o texto que as primeiras evidências de elementos químicos, de certa forma acidental, ocorreram desde a antiguidade, perpassando pelos alquimistas dos séculos XVII e XVIII. Porém, foi a partir do século XVIII que os métodos de análise (com a química pneumática, métodos eletrolíticos e radioativos, espectroscopia) e de trabalho adequado permitiram detectar e caracterizar novos elementos com maior facilidade e precisão (Maar, 2011).

O Urânio já havia sido evidenciado em 1789, por Martin Klaproth. No início de 1898, os pesquisadores Marie Sklodowska Curie (França) e Gerhard Carl Schmidt (Alemanha), independentemente, buscaram por materiais diferentes do Urânio que emitissem o mesmo tipo de radiações. O método de estudo usou uma câmara de ionização (mais seguro que o método fotográfico utilizado na época). Ao colocar um material que emita radiações entre as placas, observava-se a corrente elétrica produzida, no ar, entre duas placas eletrizadas. Os pesquisadores publicaram seus resultados mostrando que o Tório emitia o mesmo tipo de radiação que o Urânio (Martins, 1990).

Os estudos de Marie Curie envolveram vários minerais e substâncias químicas puras. Ela observou que todos os minerais do urânio e do tório emitiam radiações:

Todos os minerais que se mostraram ativos contêm os elementos ativos. Dois minerais de urânio — a pechblenda (óxido de urânio) e a calcolita (fosfato de cobre e uranila) são muito mais ativos do que o próprio urânio. Esse fato é muito notável e leva a crer que esses minerais podem conter um elemento muito mais ativo do que o próprio urânio. Reproduzi a calcolita pelo processo de Debray com produtos puros; essa calcolita artificial não é mais ativa do que outros sais de urânio (Curie, 1898, p. 1102, tradução de Martins, 1990).

Em suas observações, Curie destaca os maiores pesos atômicos do urânio e do tório (dentre os elementos conhecidos). Em relação à duração da radiação do material, que parecia infinita, Curie supõe que a fonte seria externa. Dessa forma, todo o espaço estaria permeado por uma radiação muito penetrante, não perceptível, que seria absorvida pelos elementos mais pesados e reemitida sob uma forma observável. Esse fenômeno, Marie Curie denominou de “radioatividade”. Diante disso,

percebia-se que esse não era um fenômeno isolado apenas do urânio. Além disso, a “descoberta” do Tório impulsionou a pesquisa dos “raios de Becquerel” ou “raios do urânio” (Martins, 1990).

Marie Curie contou com a colaboração de seu esposo, o cientista Pierre Curie, que muito se interessou por seus estudos. A partir daí, novos elementos radioativos foram evidenciados pelo casal Curie: Polônio em 1898 e Rádio, mais tarde (1899) (Maar, 2011). Vale lembrar que a concepção atual de radioatividade (como processo de desintegração atômica) não é a mesma da ideia inicial proposta por Marie Curie, mas com toda a certeza, o casal Curie trouxe as principais contribuições ao estudo da radioatividade, por meio de uma série de analogias e de novas hipóteses. Afastando-se da linha de interpretação de Henri Becquerel, os Curie desenvolveram um método frutífero de investigação de novos elementos radioativos (Martins, 2003, 2023).

Mas, por que, usualmente, a “descoberta” da radioatividade é atribuída a Henri Becquerel (1896)? A resposta para esta indagação está relacionada a uma adequada interpretação do trabalho de Marie Curie. Num primeiro olhar, é considerado que a principal contribuição de Marie Curie para a radioatividade foi a “descoberta” dos elementos radioativos Tório, Polônio e Rádio, em 1898, e que sua pesquisa foi uma consequência do trabalho de Becquerel, que ao evidenciar a radiação do urânio, instigou a procura de novos elementos. Entretanto, com um estudo mais detalhado dos cadernos de laboratório de Curie, considerando o contexto da época, é possível perceber que seu trabalho contava com uma série de hipóteses, com uma forte influência dos estudos de Georges Sagnac, referente a radiação secundária emitida por metais submetidos aos raios-x. Portanto, os trabalhos experimentais de Curie não se resumiam apenas a uma busca empírica de novos elementos radioativos (Martins, 2003).

Outro ponto a ser destacado é que mesmo o primeiro artigo publicado

Figura 23: Pierre e Marie Curie, 1895



Fonte: Université PSL (2023).

por Mari Curie já apresentava a hipótese da natureza atômica da radiação, fundamental para pesquisas posteriores. Percebe-se, então que, uma considerável combinação de hipóteses e trabalho experimental, com suposições bem claras. Essas hipóteses foram a causa de porque o casal Curie obtiveram resultados não alcançados por Becquerel e outros cientistas da época (Martins, 2003, 2023).

Henri Becquerel (1852 – 1908), assim como seu pai e avô (pai: Edmond Becquerel, avô: Antoine Becquerel), foi um importante investigador nos campos de fenômenos elétricos e magnéticos, variações ultravioletas, fosforescência e fluorescência. No período entre 1859 e 1861, Becquerel estudou os sulfetos de cálcio, de bário, de estrôncio, alguns sais de urânio e outros (lembrando que o Urânio já havia sido evidenciado em 1789, por Martin Klaproth) (Martins, 2023). Ao estudar os espectros de fluorescência de sais de urânio, Becquerel com seu interesse nos estudos acerca dos raios-x, observou que as radiações emitidas pelo material eram menos penetrantes do que os raios-x. Também, percebeu que o material refletia ou refratava a luz solar e que, mesmo no escuro, o material sensibilizava chapas fotográficas (Martins, 1990). Essa é a história mais divulgada.

Porém, a História completa nos mostra que existiu um longo caminho tortuoso até a “descoberta” da radioatividade, com bastante dificuldade de compreensão dos fatos não observáveis que podem ser elucidados no texto de Martins (1990) intitulado *“Como Becquerel não descobriu a Radioatividade”*, publicado no Caderno Catarinense de Ensino de Física. Diferentemente de Marie Curie, os trabalhos de Becquerel não apresentaram nem a natureza das radiações emitidas pelo urânio e nem a natureza subatômica do processo. Becquerel acreditava que a radiação observada era semelhante à luz, pois se refletia e refratava, ao contrário dos raios X (interpretação equivocada mediante os conhecimentos atuais) (Martins, 1990).

Posteriormente à observação de que todos os compostos de urânio (luminescentes ou não) emitiam as mesmas radiações invisíveis, Becquerel resolveu testar o urânio metálico e conclui que esse é o primeiro caso de um metal que apresenta uma fosforescência invisível (Becquerel, 1896). É importante entender que Becquerel não pensava que o urânio emitia radiações de um tipo novo. Na época, não havia o pensamento de que existiam radiações dotadas de carga elétrica (raios alfa e beta) e havia apenas a hipótese de que os raios-x eram também ondas eletromagnéticas (Martins, 1990, 2023).

Apesar de ser natural a pesquisa posterior por outros elementos que

emitissem as mesmas radiações, Becquerel não o fez e parecia ter esgotado o assunto. Entretanto, Marie Curie se interessou pela busca e fez interpretações do trabalho de Becquerel:

O Sr. Becquerel fez experiências análogas [às de Niewenglowski e Henry] com sais de urânio, alguns dos quais são fluorescentes. Ele obteve impressões fotográficas através do papel negro com o sulfato duplo de urânio e potássio. O Sr. Becquerel acreditou inicialmente que esse sal, que é fluorescente, se comportava como os sulfetos de zinco e de cálcio. Mas a sequência de seus trabalhos sobre os compostos de urânio mostrou que a analogia era apenas aparente. É verdade que os sais de urânio agem sobre as placas fotográficas, e que essa ação pode se produzir através de corpos opacos, tais como o papel negro, alumínio etc.; mas esse fenômeno não está associado de forma alguma à fosforescência. O urânio e todos os seus compostos, fluorescentes ou não, agem igualmente, e o urânio metálico é o mais ativo. Ainda mais, o Sr. Becquerel encontrou que a luz não é necessária, e que colocando os compostos de urânio na obscuridade completa, eles continuam a impressionar as chapas fotográficas durante anos. Não havia aí portanto um fenômeno análogo à fluorescência, mas um fenômeno completamente novo (Curie, 1899, p. 41, tradução de Martins, 2023).

De acordo com Martins (2000), essa interpretação de Marie Curie acerca do trabalho de Becquerel é bastante curiosa, pois uma análise cuidadosa das publicações de Becquerel (1896 e 1897) mostra que ele pensou ter encontrado um fenômeno de fosforescência invisível (independentemente de haver ou não luminescência visível) associada ao elemento urânio. Essa visão de Becquerel foi bem aceita, mas Curie teve sua própria interpretação, que não correspondia à explicação usual. Contudo, foi esse “erro” de interpretação um dos fatores que, provavelmente, ajudou a chegar a resultados novos, aos quais, Becquerel não teria chegado.

As pesquisas dos Curie foram além da identificação de novos elementos radioativos e da proposta do termo “radioatividade” por Marie Curie. O casal também estabeleceu uma metodologia de pesquisa (com a instrumentação e hipóteses) que passou a ser seguida por demais pesquisadores e modificou a interpretação que Becquerel havia sugerido para a emissão de radiação pelo urânio. Um dos aspectos mais importantes dos trabalhos iniciais de Marie Curie com o Urânio foi a Hipótese da Propriedade Atômica (Martins, 2023).

[...] é a hipótese de que emissão de radiação penetrante é uma propriedade atômica do urânio (e, depois, do tório), no seguinte sentido: - depende da presença de algum elemento químico particular, - a intensidade da radiação é proporcional à porcentagem desse elemento químico nos compostos estudados (descontando-se a absorção produzida por elementos inertes), - não depende de propriedades moleculares (outros elementos químicos inativos não alteram a emissão de radiação), nem de influências físicas (calor,

luz, etc.) Note-se que não havia sido feita ainda nenhuma suposição de que estivesse ocorrendo alguma transformação dos átomos (eles eram considerados imutáveis) (Martins, 2023, p. 12).

Mais um aspecto relevante para o entendimento de substância relacional pode ser percebido, nesse caso, na Hipótese da Propriedade Atômica. A propriedade atômica da substância (radioatividade, neste caso) está relacionada com a interação matéria e energia. De acordo com Silva (2017), os estudos do campo da radioatividade esclarecem vários fenômenos, dentre eles, os conceitos de fusão e fissão nuclear que só puderam ser explicados pelo conhecimento de que a matéria e energia se relacionam, como descrito por Einstein em sua equação “ $E = m.c^2$ ”. Perante isso, podemos retomar o seguinte questionamento:

como os químicos dos séculos XVIII e XIX, com seus átomos indivisíveis e seus elementos inalteráveis, poderiam conceber as descobertas no ramo da radioatividade? Como aceitar que um elemento pode se transformar em outro (naturalmente), confirmando as ideias propagadas pela Alquimia? (Silva, 2017, p. 70).

Portanto, esse novo contexto histórico permite surgir de novos olhares para o conceito de substância. Ainda, os estudos da radioatividade e a evidência do elétron impulsionaram a moderna teoria da estrutura atômica do século XX (Silva, 2017).

Referente a propriedade da Alotropia (mesmo elemento químico e diferentes substâncias) temos o exemplo mais antigo, o do carbono. O poeta Novalis escreveu em 1797: “O carvão da madeira e o diamante são uma só substância, e, no entanto, quão grande a diferença” (Maar, 2011, p. 641). O fenômeno da grafita e diamante foi definido como “Alotropia” por Berzelius, em 1841, embora já no final do século XVIII o parentesco químico entre as substâncias eram percebidas. No início, a grafita era considerada um sulfeto (de chumbo, molibdênio ou antimônio) e o diamante, até por volta de 1770, era visto como uma modificação do quartzo. Berzelius estudou pelos mesmo três casos de alotropia antes de enunciar sua definição: a platina (“diferenças” resultantes dos modos de obtenção), o enxofre (monoclínico e rômico) e o fósforo (branco/comum e vermelho) (Maar, 2011).

Nessa época, as variedades alotrópicas eram entendidas como consequência de: diferentes retículos cristalinos (Berzelius); diferentes “arranjos de cargas elétricas” (Brodie); e diferença na composição das substâncias simples

(atomicidade) (Maar, 2011).

Cabe lembrarmos que a História da Ciência nos mostra que as mudanças de concepções e pensamentos da comunidade científica não acontece abrupta e linearmente, mas num processo lento, com vários períodos de controvérsias científicas. Os químicos ativos no século XIX ainda sofriam influências de certas crenças alquímicas. Na época, de acordo com Herbert Stanley Redgrove (1887 – 1943), muitos consideravam a ciência da Radioatividade como uma Alquimia Moderna (Maar, 2011).

Outro exemplo é o da transmutação. Segundo Maar (2011), sabemos que as variedades alotrópicas revelam diferenças no arranjo ou número de átomos, mas não na natureza desses átomos. Entretanto, para Dumas, a transmutação é possível ao considerar a periodicidade de propriedades e as analogias. Segundo ele, os alquimistas falharam na tentativa de transmutar os metais por trabalharem com elementos totalmente diferentes. Howe usou a Alotropia como um argumento a favor da possibilidade de transmutação numa publicação em 1910 (Maar, 2011):

“se depois de definirmos ‘elemento’ como uma substância até agora indivisível, e elementos diferentes aqueles que diferem em pelo menos uma propriedade, e depois de estabelecermos que elementos não podem ser transmutados uns nos outros, somos confrontados com a transformação de diamante em carvão (= negro de fumo), e pelo fato de 1º cada um desses, diamante e carvão, ser indivisível e portanto um elemento, e 2º diferirem em todas as propriedades, então entramos num círculo vicioso dizendo que não são [o diamante e o carvão] elementos diferentes porque se convertem um no outro” (Howe, 1910 *apud* Maar, 2011, p.645).

Em 1889, ocorreu um caso de interesse com o historiográfico estadunidense Matthew Carey Lea. Ao reduzir emulsões fotográficas (cloreto e brometo de prata) ele obteve o que chamou de três “formas alotrópicas” da prata (sendo “prata solúvel”, “prata insolúvel” e a “prata de coloração dourada”). Era, basicamente, soluções coloidais com diferentes tamanhos de partículas que levou à associação da Alotropia ao tamanho de partículas. Mas a possibilidade de obter “prata dourada” fez renascer a esperança da transmutação em muitos “adeptos” da alquimia (Maar, 2011).

Referente aos desdobramentos para o conceito de substância, além da organização atômica mostrando diferentes propriedades das substâncias, na época, havia o entendimento de que os fatores energéticos envolvidos numa reação (forças repulsivas e atrativas na afinidade química), substâncias catalisadoras,

cinética química (Waage, Guldberg, 1864) e termodinâmica (Guericke, 1650) influenciavam os processos químicos. Essas concepções levaram a comunidade científica a entender o conceito de substância de forma ainda mais abstrata (Silva, 2017; Dallos, 2022; Pelkowski, 2001).

Portanto, ao avançarmos para a Química do século XX, podemos, então, perceber outra ruptura no conceito de substância química. As propriedades químicas começam a ser entendidas como não próprias das substâncias, podendo variar segundo as condições do sistema ou da presença de outras substâncias no meio. Em outras palavras, as propriedades das substâncias são relacionais, dependentes do meio ou do sistema, e estão em constante mudanças, relacionando-se sempre com a energia (Silva, 2011).

6.1.4.3 Substância no século XX: matéria, energia e propriedades

Como vimos, um longo caminho foi percorrido entre os séculos XIII e XX com inúmeros desenvolvimentos na Ciência Química: nascimento e progresso e sistematização da Química Orgânica (radicais, tipos e estruturas, conceito de valência, cadeias de carbono, estrutura de Kekulé para o benzeno, etc.), sistema periódico dos elementos (Meyer e Mendeleiev) e demais evoluções químicas (Maar, 2011).

O empirismo e o pensamento clássico das substâncias permaneceram presentes no século XX, pois sua presença em determinados contextos é inquestionável, tanto dentro da própria Química, quanto no seu Ensino. Todavia, com os estudos acerca da mecânica quântica, com os algoritmos e as relações aritméticas que guiam a Química e a Física, obtém-se um nível de racionalidade que requer uma visão relacional quanto ao conceito de substância para entender a matéria e suas relações com o ambiente (Silva, 2017). Nesse contexto histórico-científico, a Química oferece uma quantidade de modelos que se baseiam em experimentação e teorias da Física (Kavalek *et al.*, 2015).

Os conhecimentos físicos da estrutura do átomo, cada vez mais desenvolvidos, introduziram, na Química, mudanças radicais em conceitos básicos (elemento, molécula, substância, etc.), por meio da perspectiva de um mundo submicroscópico, desconhecido até então, em que muitas das leis naturais, até então conhecidas, não se aplicavam. O número atômico passou a identificar um elemento

químico e a configuração eletrônica e elétrons de valência são considerados no processo de caracterização desse elemento (Oki, 2002).

Há a elaboração de um novo conceito de elemento químico por meio dos conceitos de isótopos e de núclídeos. Nessa perspectiva, observa-se que não mais o elemento químico é considerado o fim último da análise química, mas sim, as partículas subatômicas. A sistematização de inúmeras de partículas, graças aos avanços tecnológicos (aceleradores de partículas), permitiram o surgimento de novas propriedades, consideradas hoje, elementares (Oki, 2002).

6.1.4.3.1 Teoria da Estrutura Atômica: elétrons e radioatividade

A história dos modelos atômicos desenvolvidos no início do século XX foi estabelecida a partir das contribuições de J.J. Thomson, H. Nagaoka, E. Rutherford, J. W. Nicholson, N. Bohr e contemporâneos e das explicações da Teoria Quântica (Lopes, 2009). Consoante o historiador da ciência Partington (1989), a “descoberta” do elétron com base nos estudos dos raios catódicos da estrutura do átomo por Crookes e Thomson, juntamente com os fenômenos da radioatividade, estabeleceram uma base sólida para a Moderna Teoria da Estrutura Atômica do século XX. Portanto, iremos falar de alguns antecedentes da nova teoria, iniciando o texto com os raios-x, identificado em 1895, por Wilhelm Conrad Roentgen (1845 – 1923).

O cientista alemão Roentgen desenvolveu estudos na área de condutividade térmica dos cristais, mas ficou mais conhecido pelos estudos da corrente elétrica em gases (já investigados, anteriormente, por Plucker, Hittorf, Lenardt, Varley, Goldsteins, Hertz e Crookes). Roentgen se interessou pelos raios catódicos e seu alcance no experimento com os “tubos de Crookes”, em que fenômenos luminosos e outras emissões eram produzidas pela descarga elétrica em tubos de vidro com vácuo. Após vários experimentos, Roentgen entendeu que os raios produzidos eram de natureza desconhecida e os chamou de raios-x (Martins, 2005). Lembrando que:

Atualmente, são considerados raios X as radiações eletromagnéticas com comprimento de onda no intervalo aproximado de 10^{-11} a 10^{-8} m (0,1 a 100 Å), resultantes da colisão de elétrons produzidos em um cátodo aquecido (ocorre uma emissão termoiônica) contra elétrons de um ânodo metálico (Chassot, 1995, p. 21).

Os resultados obtidos por Roentgen o intrigaram bastante, pois ele até anunciou que sua “descoberta” permitiria ver no corpo humano sem precisar de bisturi. Podemos apenas imaginar o impacto desse conhecimento naquela época, em que mesmo as cirurgias eram desaconselhadas por pensarem que o bisturi poderia cortar até a alma (Chassot, 1995). Poucas “descobertas” científicas na história foram disseminadas tão rapidamente. Roentgen enviou cópias dos seus trabalhos e das fotos para seus amigos cientistas que ficaram incrédulos de sua autenticidade. Mas, por final, seu trabalho lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física, em 1901 (Silva, 2003).

Na época, Becquerel se interessou bastante pelos raios-x e imaginou que esses raios desconhecidos poderiam estar relacionados com os fenômenos de fluorescência e fosforescência. Em 1896, Becquerel observou que o elemento químico urânio emitia radiações “semelhantes” aos raios-x. Porém, já sabemos que esse fenômeno passou a ser, posteriormente, denominado e conhecido como “radioatividade” por Marie Curie (Bighetti *et al.*, 2016).

Embora tenha se instalado uma “euforia” a com o “descobrimento” dos raios-x, principalmente na medicina, a comunidade científica ainda não conhecia sua natureza física (Moraes, 2020). As discussões e dúvidas acerca da natureza física dos raios catódicos foi cessada por Thomson em 1897, ao identificar a razão carga/massa do elétron (Bassalo, 1993). Desde então, os raios catódicos foram considerados uma partícula presente em todos os elementos e substâncias (o elétron de Stoney) (Stoney, 1881; Moraes, 2020).

Joseph John Thomson (1856–1940), uma das figuras mais importantes da História da Ciência, nasceu na Inglaterra, filho de livreiro e editor. Durante sua carreira acadêmica, Thomson se interessou bastante pelos conhecimentos da física, da química e principalmente, pelas ideias de Dalton, acerca da teoria atômica (Lopes, 2009). Foi professor em diversas universidades e desenvolveu trabalhos desde 1808, no qual comprova empiricamente a lei das proporções múltiplas de Dalton, com o estudo dos oxalatos de potássio e de estrôncio, e conseguiu determinar vários pesos atômicos (Maar, 2011).

Como já descrito acima, em 1897 havia bastante controvérsia acerca da constituição dos raios catódicos, alguns cientistas alemães concebiam os raios catódicos como um tipo de onda eletromagnética, por outro lado, grande parte dos cientistas franceses e dos ingleses acreditavam que esses raios eram constituídos por partículas. Thomson, fazia parte da categoria de cientistas ingleses que acreditavam

nos particulares. Mas, qual foi a novidade da pesquisa de Thomson? A base para a resposta está nos dados e experimentos publicados por Thomson em 1897, no qual testou vários tubos, gases e metais diferentes, chegando sempre aos mesmos valores (Lopes, 2009). Thomson percebeu que esses raios tinham o poder de atravessar pequenas espessuras da matéria, podiam ser defletidos por um campo elétrico e por um campo magnético e apresentavam carga elétrica negativa. Ele os denominou de “corpúsculos catódicos” (Moraes, 2020).

Com seus resultados, Thomson determinou que os elementos químicos seriam compostos por um constituinte universal que levaria à determinação de uma massa para este constituinte. A massa desse constituinte seria mil vezes menor que a massa do átomo de hidrogênio (Lopes, 2009). Diante disto, o grande feito de Thompson, em relação aos raios catódicos, conseguiu estabelecer a razão carga/massa dos “corpúsculos catódicos” que se traduz na “descoberta” do elétron (Prêmio Nobel de Física de 1906), e que permitiu vislumbrar um modelo de átomo quantizado que posteriormente, irá permitir a compreensão de toda e qualquer formação de matéria do universo (Moraes, 2020).

A partir das ideias de átomo vórtex (Kelvin), ímãs flutuantes (Mayer), propriedades elétricas e magnéticas, fenômenos radioativo, raios-x, propriedades periódicas e combinações químicas, Thomson construiu algumas explicações para o átomo, apresentando notável flexibilidade e capacidade para adotar novos referencias e produzir suas novas hipóteses. Para Thomson, a explicação da variação das propriedades periódicas dos elementos químicos da Tabela de Mendeleev consistia no problema fundamental da teoria atômica. Ao anunciar a “descoberta” do elétron em 1897, Thomson considerou que os elétrons ligados em átomo poderiam produzir essa periodicidade das propriedades (Lopes, 2009). Podemos identificar aqui mais uma noção de visão relacional matéria-energia na qual as propriedades periódicas estão sujeitas.

Conforme Pais (1991), no início do século XX havia poucos cientistas com inclinação ou a coragem de propor modelos atômicos. Seria como atualmente para a questão de vida em Marte, bastante interessante, porém sem muita esperança de apoio e convencimento científico. Em 1899, Thomson apresentou as características essências de seu modelo:

Considero o átomo como contendo um grande número de átomos menores, corpos que chamarei de corpúsculos; esses corpúsculos são iguais um ao outro; [...]. No átomo normal, esse conjunto de corpúsculos formam um sistema que é eletricamente neutro. Embora os corpúsculos individuais se comportem como íons negativos, ainda quando eles estão reunidos em um átomo neutro o efeito negativo é equilibrado por algo que faz com que o espaço através do qual os corpúsculos são espalhados para agir como se tivessem uma carga de eletricidade positiva igual em quantidade à soma das cargas negativas nos corpúsculos (Thomson, 1899, p.565, tradução nossa).

Segundo Hon e Goldstein (2013), o que sobressai na teoria de Thomson é sua atribuição de uma estrutura interna específica ao átomo e um conjunto de suposições dinâmicas. Para Thomson, o átomo é um domínio espacial reenchido por numerosos corpúsculos negativos, na qual a carga total é neutralizada, de alguma forma, pela eletrificação espacial positiva. A partir daí, Thomson supõe que as várias propriedades da matéria podem ser consideradas consequências de efeitos elétricos. Referente a analogia do “pudim de passas”, tão popularizado, o Relatório da Merck (um jornal de farmácia e negócios) sugere que a imagem do “pudim de passas”/ “ameixas em um pudim” foi originalmente baseada em um mal-entendido da Teoria de Thomson, por um repórter anônimo que assistiu às palestras de Thomson e escreveu suas interpretações. Foi a construção de um mito.

Uma das confirmações de que se tratou de um mito enganoso que entrou nas discussões científicas e acadêmicas, é que os cientistas Rutherford e Bohr, que responderam profissionalmente ao modelo atômico de Thomson, conceberam seus próprios termos, mas nenhum deles apresentou a imagem ou utilizou qualquer analogia para facilitar a compreensão. Não havia a necessidade de analogias para o modelo, mas os divulgadores contemporâneos que buscavam tornar a ciência mais acessível ao público geral, infelizmente popularizaram um mal-entendido do “pudim de passas” (Hon; Goldstein, 2013).

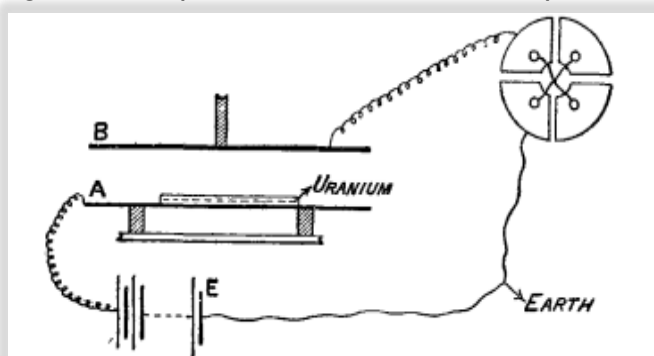
Passamos agora para os estudos de Ernest Rutherford (1871 – 1937), nascido na Nova Zelândia, considerado um dos maiores experimentalistas desde Michael Faraday. Thomson foi seu professor e desenvolveu sua carreira acadêmica no Canadá e no Reino Unido e recebeu o Prêmio Nobel de Química em 1908. O histórico de trabalhos de Rutherford englobam, basicamente, os raios-x; radioatividade, produtos de decaimento de urânio e tório, raios alfa, beta e gama, modelos atômicos, espectros de raios-x, desintegração artificial de átomos, estrutura nuclear, o nêutron, Experimentos de Cockcroft-Walton, dentre outros (Wilson, 1984).

No campo da radiatividade, Rutherford e Frederick Soddy elucidaram

diversas propriedades dos elementos radioativos. A fissão nuclear do Urânio foi a mais marcante dentre as pesquisas desenvolvidas. Foi observada por cientistas alemães em 1939 (início da Segunda Guerra Mundial) e interpretada pela física austríaca Lise Meitner, já situada na Suécia, devido à perseguição dos nazistas (Merçon; Quadrat, 2004).

Após os resultados dos trabalhos de Becquerel, Rutherford se interessou por investigar, de forma mais detalhada, a natureza da radiação do Urânio e a condução elétrica produzida (Rutherford, 1899). Para isso, Rutherford utilizou um método elétrico, representado na figura a seguir:

Figura 24: Arranjo geral do experimento de Rutherford, para estudo da radiação



Fonte: Rutherford (1899, p.114).

Rutherford pulverizou o Urânio metálico ou composto de Urânio uniformemente sobre o centro da placa A, de 20 cm². A placa B, de zinco e de mesma medida, foi fixada, paralelamente, como mostra a figura, há 4 cm de distância. Após serem isoladas ambas as placas, A foi conectada a um polo de uma bateria de 50 volts (sendo terra o outro polo). B foi conectada a um par de quadrantes de um eletrômetro (o outro par, conectado à terra). Observou-se que a radiação de Urânio apresentou uma taxa de vazamento entre as duas placas A e B, medidas pelo movimento da agulha do eletrômetro. Na sequência, sucessivas folhas finas de metal foram posicionadas sobre o composto de Urânio. À medida que a espessura do metal aumentava, em progressão aritmética, a taxa de vazamento das radiações diminuía numa progressão geométrica (Rutherford, 1899). Seguem algumas das interpretações de Rutherford:

Esses experimentos mostram que a radiação do urânio é complexa, e que estão presentes pelo menos dois tipos distintos de radiação que é muito facilmente absorvida, o que será denominado por conveniência a radiação α ,

e o outro de um caráter mais penetrante, que será chamado de radiação β (Rutherford, 1899, p. 116, tradução nossa).

Além dos estudos da radioatividade, Rutherford procedeu diversos outros experimentos e estudos referentes ao modelo atômico proposto por Thomson. O mais conhecido foi o experimento de seus discípulos Geiger e Marsden, com o bombardeio de partículas alfa emitidas por material radioativo contra uma folha de ouro de 10^{-5} cm de espessura, para confirmar o modelo atômico de Thomson. O experimento mostrou que algumas das partículas alfa, cerca de 1 em 20.000, retornaram com um ângulo médio de 90° para passar pela folha de ouro. Assim, Rutherford deduziu que a distribuição e o número de partículas desviadas em grandes ângulos não seguiam a probabilidade esperada, sendo razoável pensar que a deflexão por meio de um grande ângulo é devida a um simples “encontro atômico” (Rutherford, 1914).

A partir dessas interpretações, Rutherford elabora seu modelo atômico, no qual o átomo contém carga positiva em seu centro, cercado por uma esfera elétrica com uma carga negativa igual uniformemente distribuída em uma esfera de raio R , propondo assim, uma nova distribuição de partículas subatômicas. O átomo de Rutherford possui um núcleo de dimensões muito pequenas com carga positiva, no qual também se encontra quase toda a massa do átomo, circundado por uma distribuição de elétrons, com carga negativa, que torna o átomo neutro (Beltrán; Fernandez, 2003).

Na época, o interesse da comunidade científica de Manchester era constituir as investigações em torno do núcleo do átomo. Nesse cenário promissor, se destacou o dinamarquês Niels Bohr (1885 – 1912) que, em 1912, interessou-se pelas implicações do núcleo atômico e pela distribuição dos elétrons a ele ligados, bem como pelas propriedades físicas e químicas de diferentes substâncias. Bohr entendeu que as desintegrações radioativas eram explicadas pelo estudo da constituição do núcleo, enquanto as características físicas e químicas comuns dos elementos eram devidas às propriedades do sistema eletrônico externo (Beltrán; Fernandez, 2003). Diante disso, a noção de visão relacional entre propriedades das substâncias e os aspectos eletrônicos tomam cada vez mais forças a partir das interpretações de Bohr.

Bohr tentou estabelecer uma estreita relação entre o modelo atômico de Rutherford e os dados espectrais e se concentrou na explicação usando modelos físicos clássicos para a classificação de estados estacionários com base nas

hipóteses originais de Planck dos estados de energia de um oscilador harmônico.

Bohr introduz as formulações da mecânica quântica para postular seu modelo semiquântico do átomo: os elétrons de um átomo giram em torno do núcleo em órbitas circulares, cada um ocupando a órbita com a menor energia possível (a mais próxima do núcleo). Esse modelo pôde resolver alguns problemas com o modelo de Rutherford, referente a estabilidade dos elétrons (Beltrán; Fernandez, 2003).

A história toda é composta por uma série de princípios que corroboram para relevância e influência de cada modelo atômico proposto, que não nos cabe aqui explanar. Segundo Beltrán e Fernandez (2003), os modelos atômicos de Thomson, Rutherford e Bohr foram desenvolvidos por um método hipotético-dedutivo, na qual o grupo científico de Manchester obteve papel de grande destaque, tendo Thomson como professor de Rutherford e posteriormente Bohr no grupo de trabalho. A partir daí, muita ciência foi desenvolvida em torno das partículas elementares do átomo, envolvendo a física de partículas e afins.

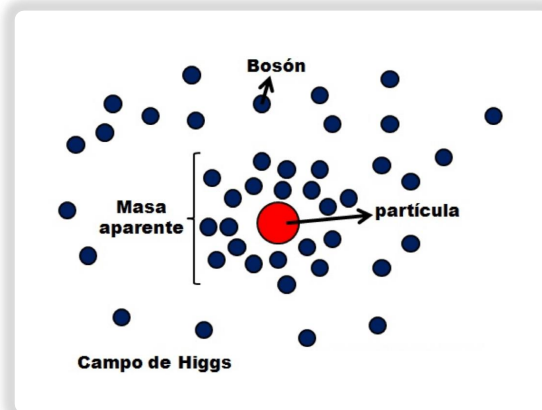
Nesse contexto, Silva (2017) traz mais um exemplo de propriedade relacional da matéria, nesse caso, que emerge a partir da interação entre corpos: a massa. Essa relação pode ser entendida por meio do campo de Higgs, que mostra como algumas propriedades, que concebemos pertencer à matéria, são, de fato, emergentes a partir do que Silva (2017) e Oliveira (1995)

denominam de “jogos relacionais”. Segundo Pimenta *et al.*, (2013), o bóson de Higgs foi predito em 1964 pelo físico britânico Peter Higgs e representa a chave para explicar a origem da massa das demais partículas elementares da natureza. No campo de Higgs, quanto maior a interação entre uma partícula e o campo, maior será sua massa.

Como bem situado por Silva (2017), a ideia de que a matéria e a energia se relacionam ($E=mc^2$) explica diversos fenômenos, dentre eles, a percepção de que um núcleo de um átomo de urânio, por exemplo, ao se fissionar em dois núcleos com massa menor, libera uma abundância de energia. Consequentemente, essa noção relacional massa/energia leva a uma compreensão diferente para o conceito de substância, na qual as propriedades estão em constante variações.

Para finalizarmos, no desenvolver da história do átomo surgiram os

Figura 25: Modelo representacional do Campo de Higgs



Fonte: BeSciented (2019).

estudos de Dalton, Rutherford, Bohr e, posteriormente, os feitos por Einstein, Pauli, Bose, Fermi, Heisenberg e Dirac, entre outros, que permitiram que a comunidade científica chegasse ao conhecimento de valiosas informações acerca da estrutura atômica e de seu comportamento físico no mundo material. Esse conhecimento todo será o alicerce para uma nova era tecnológica da Ciência dos Materiais: a Nanotecnologia (Britto; Castro, 2012). Abordaremos o assunto mais adiante.

6.1.4.3.2 Físico-Química: Cinética e Quântica

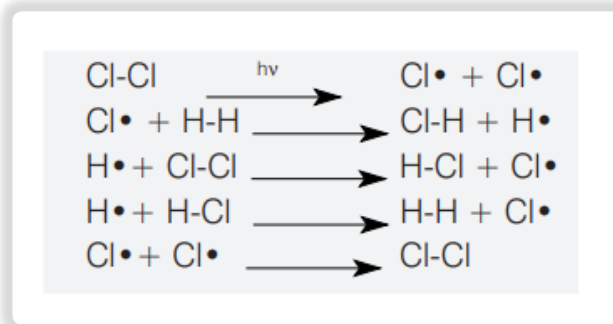
Dentre os diversos dualismos existentes na evolução da Química (matéria contínua-matéria descontínua; mecanicismo-vitalismo) há que se destacar um dualismo estequiometria/atomística-afinidade. Podemos considerar que a estequiometria e atomística pressupõe o estabelecimento da estrutura tridimensional dos compostos químicos. Por outro lado, a evolução das ideias de afinidade pressupõe a cinética e a termodinâmica químicas (como e por que das reações químicas) (Maar, 2011).

Figura 26: Evolução da Atomística e da Afinidade



Fonte: Maar (2011, p. 213).

A **Cinética Química** é uma área da físico-química especializada nos estudos da velocidade de reações químicas e de suas variáveis influentes (temperatura, pressão, concentração, propriedades do catalisador, etc.), visando um desenvolvimento mecânico plausível para a reação e a obtenção de uma equação ou de um sistema de equações diferenciais e algébricas associadas as reações. Nesse contexto cinético, há a possibilidade para realizar a ligação entre o sistema de moléculas reagentes e o sistema macroscópico da engenharia de reações industriais (Silveira, 2015). Segundo Oliveira (1995), a Cinética Química permitiu a substituição da visão primária de colisão mecânica pelo conceito de interação molecular. Esse é um dos exemplos de que a matéria e a energia se relacionam, explicando diversos fenômenos, além daqueles de nível nuclear (Silva, 2017). Vejamos o seguinte exemplo (Figura 27).

Figura 27: Mecanismo de reações para síntese do gás clorídrico

Fonte: Oliveira (1995, p. 9).

Observamos na etapa inicial, determinante de todo o processo, que a energia radiante $h\nu$ é necessária para ocorrer a quebra das ligações $\text{Cl}-\text{Cl}$. Portanto, o mecanismo pressupõe uma profunda cooperação entre os fatores energéticos e materiais. Se trata de uma visão bem mais racional do mecanismo que combina aspectos rítmicos e cinéticos (Oliveira, 1995).

Como apresentado por Freire Jr., Pessoa Jr. e Bromberg (2011), no primeiro quartel do século XX, se desenvolve a teoria física mais bem sucedida hoje disponível: a **Teoria Quântica** (Planck, Schrodinger, Rutherford, Bohr, Pauli Einstein, etc.). Uma teoria científica baseada no formalismo matemático que se estabeleceu em meio a controvérsias e gerou desdobramentos importantes não apenas para a Física, mas para a Química, a Biologia e demais ciências. Nas palavras de Barbosa (2012):

A teoria quântica, originariamente concebida como teoria física para ser aplicada à estrutura íntima da matéria e às propriedades paradoxais das micropartículas (elétrões, prótons, átomos, moléculas), encerra pressupostos filosóficos que abrem uma nova maneira de pensar a realidade (Barbosa, 2012, p.1).

Deste modo, os conceitos científicos elementares da Química estarão sujeitos a novas interpretações. Para o químico quântico Schäfer (2005, p. 86, 87): “as moléculas são a base da vida e as moléculas são sistemas quânticos. [...]. Todas as coisas, pequenas ou grandes, existem em estados quânticos”. Segundo Dirac (1929) Podemos dizer que, atualmente, a comunidade científica conhece bem as leis físicas necessárias para a teoria matemática de uma grande parte da Física e da Química. Porém, a aplicação exata dessas leis requer equações complexas, tornando necessários métodos mais práticos de aplicação da mecânica quântica

Como sugerido por Coulson numa palestra em 1951, ao citar Dirac, a mecânica ondulatória forneceu uma base racionalizadora para muitas ideias químicas.

De tal modo, muitos aspectos do comportamento químico podem ser racionalizados em termos de cálculos de estrutura eletrônica molecular feitos na abordagem dos núcleos (Sutcliffe; Woolley, 2012). Assim sendo, a **Química Quântica** é uma ferramenta preditiva da química e da física molecular capaz de fornecer dados qualitativos precisos dos sistemas moleculares (Helgaker; Klopper; Tew, 2008).

Dentre as inúmeras aplicações da Química Quântica, podemos citar o resumo de Harris (1972), com o progresso desse campo alcançado até o início da década de 1970, envolvendo estudos teóricos e experimentais com programas computacionais (campo autoconsistente linear de orbitais — HFSCF-LCAO, aplicação da onda dispersa de campo Xa autoconsistente — SCF-Xa-SW, etc.) foram fundamentais para pesquisas referentes ao conceito de transição eletrônica, esferas atômicas sobrepostas, moléculas poliatômicas e radicais, complexos de coordenação de metais de transição, compostos de metais e transição, minerais terrestres e lunares, materiais semicondutores, impurezas e defeitos no sólido, superfícies e quimissorção, catalisadores heterogêneos e homogêneos, cristais moleculares e polímeros e biologia molecular (Johson, 1975).

Conforme Maar (2011), pouco se lê a respeito, mas a mecânica quântica também trouxe expressiva contribuição à teoria eletrônico-estrutural da Química Orgânica. Por meio da teoria dos orbitais moleculares e argumentos da mecânica quântica foi possível se chegar ao entendimento das relações entre estrutura e propriedades, aromaticidade, ressonância e mecanismos de reações que podem ser expressos por Streitwieser (1961), Paoloni (1980) e Leal *et al.* (2010).

6.1.4.3.3 Química Orgânica: modelos e estereoquímica avançada

O conceito de arranjo estrutural foi bem difundido e legitimado no início do século XX. Com isso a Química Orgânica se reestruturou por meio de nova linguagem visual, do uso de fórmulas químicas, métodos e técnicas de sínteses em escala industrial. A História da Química Orgânica nos mostra que, ao longo de décadas, foi possível compreender a estrutura e comportamento das substâncias. Os avanços da Química nas seis últimas décadas estão relacionados aspectos estruturais das substâncias (Prêmio Nobel: John Warcup Cornforth e Vladimir Prelog, 1975; William Knowles, Barry Sharpless e Ryoji Noyori, 2001) (Raupp *et al.*, 2021).

Com o avanço da química computacional e da química quântica foi

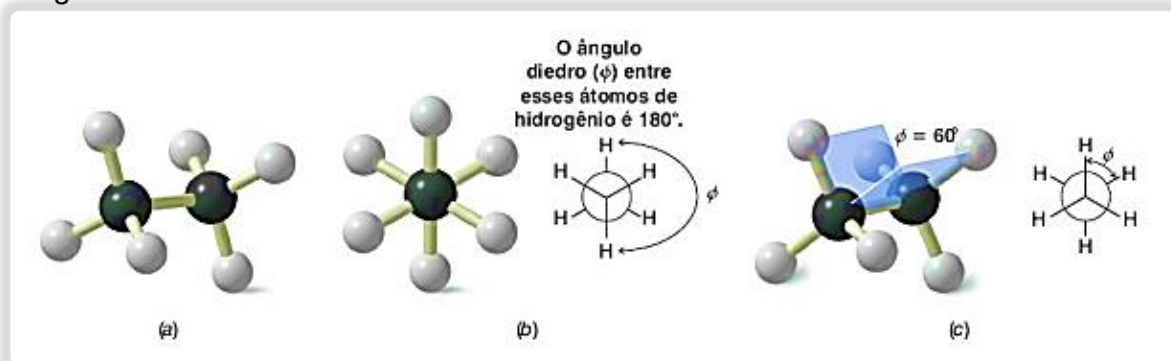
possível obter dados confiáveis acerca da geometria molecular e de outras propriedades. A mecânica molecular recorre às leis da física clássica e aos resultados empíricos para modelagem da estrutura molecular e de propriedades químicas, trazendo compreensão de teorias da Química Orgânica como: ligação covalente, orbital molecular, hibridização e comprimento de ligação, cargas atômicas e acidez dos hidrocarbonetos, momento de dipolo, cargas atômicas e grupos dirigentes no anel aromático (Leal *et al.*, 2010).

Segundo Sant'anna (2002), a modelagem molecular investiga as estruturas e as propriedades usando a química computacional, e técnicas de visualização gráfica para obter uma representação tridimensional das moléculas, em determinadas circunstâncias. Diante disto, Santos (2001) considera que a modelagem molecular permite o estudo e manipulação da estrutura molecular em reações químicas e o estabelecimento das relações entre a estrutura e propriedades da matéria.

Na estereoquímica (que considera os aspectos espaciais da estrutura molecular), a estreita relação entre matéria e energia nos sugere a substância em constante variação de formas e propriedades, como, por exemplo, o caso de conformações de algumas moléculas orgânicas: Etano e Butano (Silva, 2017). A partir dos estudos da mecânica quântica para os cálculos do átomo de hidrogênio, foi possível desenvolver os cálculos para o átomo de carbono e seus orbitais. As moléculas orgânicas contendo ligações simples (sigma) entre os grupos ligantes, podem sofrer rotação de eixo de ligação, resultando em formas moleculares temporárias, denominadas de conformações da molécula (Solomons; Fryhle; Snyder, 2018).

Conforme Solomons, Fryhle e Snyder (2018), a estereoquímica usa as projeções de Newman e as representações em cavalete para as moléculas. No caso da molécula de Etano, teremos (Figura 28):

Figura 28:(a) A conformação alternada do etano. (b) A fórmula de projeção de Newman para a conformação alternada. (c) O ângulo diedro entre esses átomos de hidrogênio é de 60°



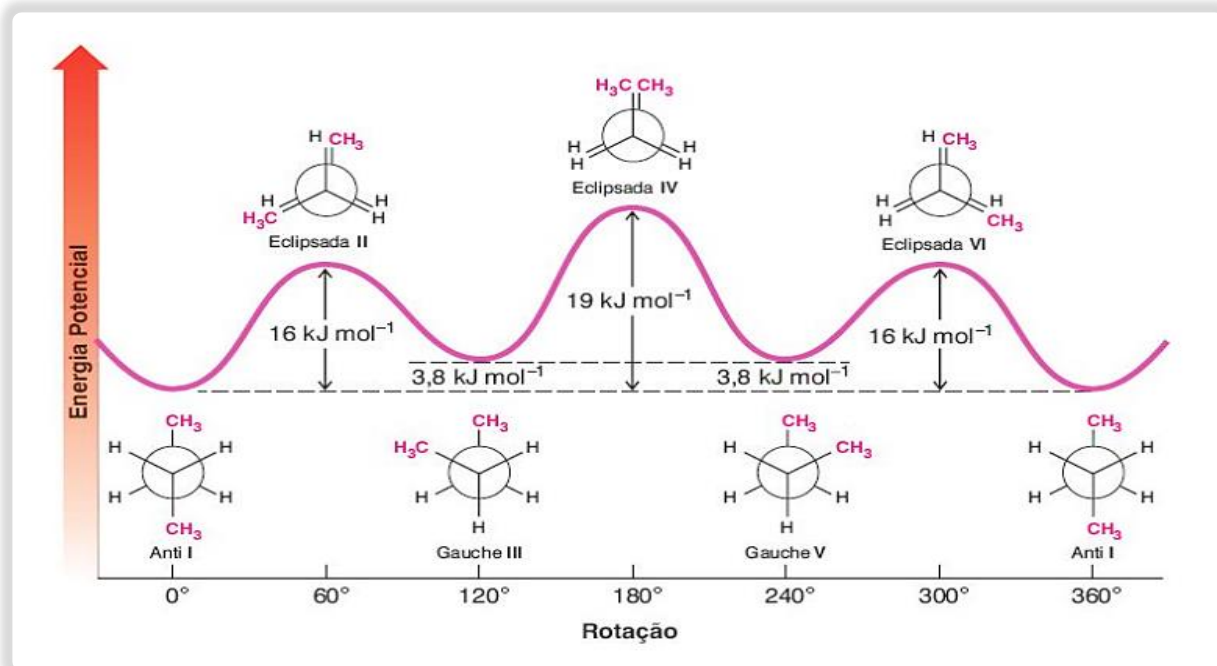
Fonte: Solomons; Fryhle; Snyder (2018, p.413).

Cada estrutura possível é denominada de confômero. Há também um fenômeno conhecido como hiperconjugação (envolve a sobreposição favorável entre os orbitais ligantes e antiligantes sigma na conformação alternada) que ajuda a estabilizar a conformação alternada. A análise conformacional avalia as variações de energia que ocorrem entre uma molécula que sofre rotação em torno de ligações simples, que nesse caso é de 12 kJ mol^{-1} . Essa energia é chamada de barreira torsional da ligação simples. Algumas moléculas irão oscilar entre as conformações alternada e eclipsada e a mesmo que a temperatura seja extremamente baixa (-2510°C), a maioria das moléculas de etano terá energia suficiente para sofrer rotação (Solomons; Fryhle; Snyder, 2018):

Qual o efeito do que acabamos de ver sobre o etano? Podemos responder a esta pergunta de duas maneiras diferentes. Se considerarmos uma única molécula de etano, podemos dizer, por exemplo, que ela vai passar a maior parte de seu tempo na energia mais baixa, ou seja, na conformação alternada ou em uma conformação muito próxima de ser alternada. No entanto, muitas vezes a cada segundo ela irá adquirir energia suficiente através de colisões com outras moléculas para superar a barreira torsional e vai girar até uma conformação eclipsada. Se falarmos em termos de um número grande de moléculas de etano (uma situação mais realista), podemos dizer que a qualquer momento a maioria das moléculas estará na conformação alternada ou quase alternada (Solomons; Fryhle; Snyder, 2018, p. 416).

Portanto, podemos perceber uma visão de substância cuja forma estrutural está em constante mudança, dependente de fatores energéticos, na maioria das vezes. Um segundo exemplo é a molécula de butano que possui uma tensão torsional resultante do impedimento estérico entre os grupos metila terminais e os átomos de hidrogênio (Solomons; Fryhle; Snyder, 2018).

Figura 29: Variações de energia que surgem da rotação em torno da ligação C2–C3 do butano



Fonte: Solomons; Fryhle; Snyder (2018, p. 418).

A Figura 29 apresenta a relação entre energia potencial da molécula e o ângulo diedro das diferentes conformações. Observamos que os valores máximos de energia estão nas conformações eclipsadas (II, IV e VI). A conformação *Anti* (I) possui grupos metilas alternados e, por esse motivo, não há tensão torsional. No caso das conformações *Gauche* (III e V), os grupos metilas estão próximos o suficiente para gerar forças de repulsão, obtendo aproximadamente mais de 3,8 kJ mol⁻¹ de energia, em comparação com a conformação *Anti* (Solomons; Fryhle; Snyder, 2018).

Mediante o exposto, podemos considerar que a Estereoquímica representa mais um aspecto da noção relacional do conceito de substância, ao haver possibilidade de uma substância ser formada por moléculas enantiômeras (“estereoisômeros cujas moléculas são imagens especulares não sobreponíveis entre si” Solomons; Fryhle; Snyder, 2018, p. 4798). Se considerarmos apenas a estrutura molecular, podemos dizer que os enantiômeros seriam substâncias diferentes, entretanto, analisando o comportamento das substâncias no meio, os enantiômeros apresentam propriedades físicas (ponto de ebulição e fusão, índice de refração, etc.) idênticas. A diferença entre eles está nos seus comportamentos ao interagirem com outras substâncias quirais. Desse modo, as propriedades de uma mistura dos enantiômeros de um mesmo composto são diferentes das propriedades das amostras puras de cada enantiômero (Solomons; Fryhle; Snyder, 2018). Portanto, se trata de

mais um exemplo do aspecto relacional para o conceito de substância (Silva, 2017).

Na prática, não é preciso muito para se lembrar da tamanha importância do estudo dos enantiômeros para a indústria farmacêutica, desenvolvidos há mais de um século. Contudo, segundo Orlando *et al.* (2007), somente com a tragédia da talidomida (medicamento contra náuseas, dores e insônia que causou milhares de vítimas) na década de 1960, foi que o mundo se voltou para a importância dos estudos e do controle de fármacos enantioméricos. Pois, na maioria, as vias sintéticas de fármacos quirais não são estereosseletivas, levando à formação de ambos os enantiômeros (Romero, 1998), além das dificuldades técnicas e econômicas para a purificação, sendo assim, comercializados em forma de misturas racêmicas (Marzo, 1993). Como resultado, muitos fármacos quirais, atualmente, apresentam diferenças estereosseletivas significativas quanto à potência, toxicidade, absorção e metabolismo (Orlando *et al.*, 2007).

6.2 A POLISSEMIA DO CONCEITO DE SUBSTÂNCIA NA HISTÓRIA DA QUÍMICA: CONSIDERAÇÕES

Antes de adentrarmos aos aspectos epistemológicos mais específicos da construção do conceito de substância na história, com ênfase na visão bachelardiana e demais autores correlatos, nos cabe sintetizar algumas considerações acerca dos principais fundamentos a partir da História da Química. Considerações essas que serviram de suporte e raiz dos conhecimentos necessários a essa evolução conceitual.

Mortimer (1997) comenta ser interessante que muitas ideias que concebemos da química cotidiana se relacionam com formas de pensar usadas por filósofos e cientistas que nos remetem à História e à Filosofia das Ciências. Em contrapartida, estudos da área nos revelam que também ocorreram mudanças significativas na maneira de pensar vários conceitos químicos, sobretudo ao compararmos o quadro conceitual entre a química clássica, a química moderna e a química contemporânea. Diante disto, a HFC são fundamentos para a construção de demais zonas de um perfil conceitual (diferentes maneiras de ver e representar um conceito).

Quando pensamos no Ensino de Química, podemos perceber que estudantes dificilmente admitem uma multiplicidade de significados, algo natural das Ciências, e tendem a admitir que conceitos científicos são únicos e bem definidos.

Nesse contexto, se pudermos mostrar que o realismo sozinho não pode explicar todas as propriedades químicas, lançaremos luz para que estudantes olhem para direções frutíferas. Para isso, o químico educador precisa tomar consciência de seu próprio perfil conceitual para orientar esses estudantes (Mortimer, 1997).

Considerando os argumentos de Mortimer (1997), num panorama, como foi apresentado no item 6.1 deste texto, optamos por uma primeira divisão da História da Química em eras, situando a substância na idade antiga, média e contemporânea, seguindo o exemplo de Silva (2011), porém de forma mais abrangente. Uma segunda divisão foi estabelecida conforme os principais temas e séculos correspondentes, julgando ser didaticamente mais adequado. Portanto, recapitularemos brevemente a polissemia da visão de substância apresentada até o momento.

Iniciaremos retomando as ideias de Silva (2011) referentes aos perfis conceituais para discorrermos as considerações. Silva (2011), por meio de análise de dados coletados entre estudantes do Ensino Médio e de Graduação, propôs, fundamentado nos estudos de Mortimer (1995), um perfil conceitual para substância química, conforme o quadro a seguir (Quadro 22). Silva (2011) se baseou na análise de concepções encontradas no desenvolvimento histórico do conceito de substâncias e nas concepções informais presentes na literatura em Ensino de Ciências para orientar suas investigações acerca das formas de pensar que poderiam emergir em sala de aula. As classificações emergentes no contexto de sala de aula produziram um sentido pragmático às zonas propostas para o perfil conceitual. Considerando compromissos epistemológicos/ontológicos, foram incorporadas também às categorias, as concepções que emergiram em outros contextos da pesquisa.

Também, cabe retomar as ideias de Ngai, Sevan e Talanquer (2014), cujo trabalho é baseado na revisão e análise crítica de resultados de pesquisas desenvolvidas na área de estudos das concepções alternativas de estudantes no ensino de química e análises filosóficas da química. Foram observados padrões de pensamentos de estudantes referentes a substâncias químicas, que nesse caso, os autores optaram por utilizar um termo mais abrangente “entidade química”. A partir de então, estabeleceram uma progressão hipotética para graus de sofisticação conceitual.

Desse modo, iniciaremos com um paralelo entre os dois estudos de Ngai, Sevan e Talanquer (2014) e de Silva (2011), representando no Quadro 22.

Quadro 22: Classificações para conceituação de Substância Química

Zonas de Perfil Conceitual (Silva, 2017)	Graus de sofisticação conceitual Ngai <i>et al.</i> , (2014).
Essencialista: compreensão de substância associada à aplicação ou utilidade que ela pode ter, principalmente para os seres humanos. A importância da substância é considerada algo primordial, sem a preocupação em compreender suas propriedades.	Objetivação: tendência de usar as propriedades objetivamente para diferenciar materiais.
Generalista: são visualizadas totalidades em detrimento das partes, ou são buscados princípios universais para a compreensão de todas as coisas. Assim sendo, qualquer objeto é tratado como substância, sendo a compreensão dos materiais pautada a partir de generalidades ou princípios gerais.	Principalismo: tendência para explicar as propriedades da matéria por referência a presença (ou ausência) de “princípios” que conduzem essas propriedades.
Substancialista: o sujeito começa a expressar ideias científicas do conceito de substância química, tendo noção da existência de diferentes compostos, classificações e propriedades. O sujeito transfere as propriedades das substâncias para seus constituintes (átomos, moléculas), havendo a possibilidade de manipular as substâncias a partir de suas propriedades.	Composicionismo: tendência de pensar substâncias como misturas de átomos e elementos com propriedades características.
Racionalista: existem dois modos de pensar, associados a formas de falar: a visão macroscópica e a visão microscópica. Encontram-se concepções mais próximas daquelas trabalhadas no contexto científico.	---
Relacional: o conceito de substância é considerado um modelo teórico para explicação do comportamento da matéria, ou seja, a ideia da existência de substâncias com 100% de pureza, com propriedades físico-químicas bem definidas é considerada uma aproximação teórica. Nesse sentido, uma substância não se apresenta estática num sistema e nem possui propriedades bem definidas. Seus átomos e moléculas estão em constante interação com as espécies do meio, havendo trocas energéticas e diversos fatores que irão influenciar suas propriedades.	Interacionismo: tendência para exibir as propriedades da matéria como emergentes das interações dinâmicas entre os componentes.

Fonte: Adaptado de Silva (2017) e Ngai, Sevan e Talanquer, (2014).

É possível notar que Silva (2017) estabelece um perfil a mais, o racionalismo, na qual não há um grau de sofisticação correspondente de Ngai, Sevan e Talanquer (2014). Entretanto, os demais itens podem ser facilmente correlacionados entre si, conforme mostra o quadro. A partir desses fundamentos, podemos pensar algumas considerações referentes a nossa História da Química.

Vimos que as origens da Química são atribuídas pelos historiadores a diferentes povos. Gregos, hindus e chineses deixaram manuscritos indicando as primeiras tentativas em explicar fenômenos da natureza de forma independente da vontade dos deuses, com um certo aporte de leis físicas inteligíveis e imutáveis. A ciência ocidental é, então, originada nesse contexto de busca por libertação da “vontade dos deuses” (Maar, 2019).

As substâncias materiais existem antes mesmo de sua conceituação, sendo esta construída historicamente, por diferentes olhares e subjetividade. As primeiras noções de substância na filosofia surgiram com a especulação do Universo (Silva, 2017). Na idade antiga, percebemos grandes influências da metafísica para a interpretação de substância. Descartes atribui dois significados distintos para substância: “aquilo que existe de tal maneira que não precisa de nenhuma outro

existir” (aplicado em sentido estrito a Deus, a substância pensadora infinita) e o conceito de substância aplicado a substâncias finitas, o criado, que “não pode existir sem o concurso de Deus” (Garber, 1996). Essa é uma noção bastante abstrata de substância que prevaleceu entre os filósofos da época.

Já Aristóteles analisa a substância em termos de forma (tipo de objeto) e matéria (composição) (Gill, 1991). Podemos identificar ideias essencialistas acerca das substâncias, pois Aristóteles se refere tanto à substância material (física) quanto à imaterial (metafísica), na qual todas as coisas são predicadas da substância e ela de nada é predicada. Outra marca de essencialismo está na visão de que a matéria e a causa primeira de todas as coisas (filósofos anteriores a Aristóteles) (Silva, 2011).

Portanto, ao percorremos esse caminho histórico, percebemos que a visão abstrata/material e macro/submicroscópica da matéria oscilam consideravelmente. Na substância aristotélica há a predominância da noção de abstração da metafísica e um caráter macroscópico. Os primeiros pensadores perseguiam a especulação e não a experimentação. Na tentativa de explicar a origem de todas as coisas surgem as primeiras especulações para substância, como essência de tudo. E o máximo que poderia ser feito em relação à classificação da matéria estava atrelado aos atributos macroscópicos da mesma (Silva, 2017).

Com o surgimento da Alquimia, mesmo mantendo um alto nível de abstração e visão macroscópica, surgem também algumas ideias animistas para a substância, na tentativa de se obter matéria morta a partir da matéria viva. São ideias bastante semelhantes às desenvolvidas pelos filósofos gregos na teoria dos elementos. Na idade média há um misto de modos de pensar a substância com ideias intuitivas, abstratas e místicas, ainda associadas aos pensamentos filosóficos antigos (Silva, 2017). Ideias essencialistas são identificadas no período da Alquimia, devido à importância dada às substâncias metálicas, por exemplo, como tendo capacidade de gerar vida, ou seja, uma visão utilitária (Silva, 2011).

No ensino, fazendo um paralelo com a objetivação, por Ngai, Sevan e Talanquer (2014), resultados de diferentes estudos sugerem que o raciocínio de estudantes referente a identidade dos materiais é influenciado por três principais de fatores: (a) aparência, (b) uso e (c) história. Esse raciocínio é o mesmo que orienta as pessoas acerca da identidade de um objeto, por exemplo, ao decidir se é uma cadeira ou uma mesa, e se utiliza a sua aplicação na diferenciação (Ngai; Sevan; Talanquer,

2014). Segundo Liu e Lesniak (2006), estudantes de várias idades, frequentemente, descrevem substâncias em termos de seus benefícios e uso comum, por exemplo, água para beber; bicarbonato de sódio para assar, revelando o aspecto de objetivação, ou mesmo essencialista.

Voltando ao texto histórico, de modo geral, a ideia de substância foi a base para a metafísica clássica e forneceu alicerce da concepção da mecânica da natureza. O conceito de substância individual desempenhou um papel de destaque entre metafísicos na busca por caracterizar a realidade e refletir os termos de tal caracterização. A metafísica da substância obteve força junto a ciência por conseguir suprir os princípios para a concepção mecânica do mundo, até o início do século XIX. A partir daí, com os avanços da física, outras questões necessitavam de respostas das quais a metafísica da substância já não era suficiente para responder (Giusti, 2013).

Foi possível observar, também, que as concepções generalistas eram comuns na antiguidade, quando não se havia uma diferenciação entre conceitos de elemento, mistura e substância. Essas ideias generalistas perduraram até os séculos XVII e XVIII, quando a matéria foi vista como composta por diversas substâncias e elementos, por meio de trabalhos de Cavendish, Boyle, Stahl, Black, Lavoisier e outros (Silva, 2011).

Até a Teoria do Flogístico, a abstração obteve papel bastante relevante. Porém, após a identificação de milhares de substâncias diferentes (álcool, ácidos, metais, etc.), suas propriedades ficaram cada vez mais evidentes, aumentando o caráter material para o conceito. De acordo com Ngai, Sevan e Talanquer (2014), na fase da Química pré-moderna as propriedades da matéria eram explicadas pela presença (ou ausência) de 'princípios' que conferiam às substâncias as propriedades observadas experimentalmente, ou seja, havia a presença do principalismo. Um exemplo disto: o princípio calórico estava relacionado com a temperatura, enquanto o princípio do flogístico estava ligado a combustibilidade de uma substância, de modo que as transformações das substâncias eram explicadas pela presença ou retirada de tais princípios.

No campo de ensino, as ideias principalistas acabam por afetar a capacidade de estudantes de diferenciar entre substâncias individuais e misturas. Podem entender uma entidade homogênea como uma única substância em algumas circunstâncias. Porém, quando forem tentar explicar as mudanças de propriedades

perceptíveis, tais estudantes poderão considerar como uma mistura de vários componentes. Segundo os estudos de Taber e Franco, (2010) e Talanquer (2008), estudantes que pensam desse modo provavelmente assumem que as propriedades são o resultado da média ponderal das propriedades de componentes individuais (aditividade), ao invés de emergir de suas interações dinâmicas.

Observamos que no século XVIII as ideias de elementos primordiais passaram a perder forças, havendo a ruptura epistemológica do conceito de substância, saindo de uma visão metafísica, essencialista e generalista para algo mais palpável, concreto e manipulável. Seria o início de uma fase racional e empirista, marcada, também, pelos trabalhos de Priestley, Cavendish, Lavoisier e demais cientistas (Silva, 2017).

Os séculos XVIII e XIX, então, foram influenciados pelo empirismo e materialismo, mais distanciado da abstração predominante nos séculos anteriores, e a Química começa a ser marcada pelo racionalismo clássico. Os estudos de Cannizzaro foram fundamentais para o estabelecimento da visão submicroscópica da substância e dos conceitos de elemento e molécula. Nesse período evidencia-se a visão substancialista, ao surgir o conhecimento de que as substâncias podem ser manipuladas mediante suas propriedades (Silva, 2017).

No composicionismo, por Ngai, Sevan e Talanquer (2014), os átomos-elementos tornam-se os “princípios” responsáveis pelos comportamentos observados. Nessa visão, segundo Taber e Franco (2010) e Talanquer (2008), estudantes tendem a pensar em substâncias como misturas de átomos-elementos com propriedades características (composicionismo), os quais são adicionados de forma simples para gerar as características macroscópicas que observamos. Em estudos de aprendizagem, grande parte de estudantes pensam em substâncias como objetos estáticos, compostos por combinações de pequenas partes com estruturas e propriedades fixas (Ngai; Sevan; Talanquer, 2014).

A visão racionalista foi construída predominantemente a partir do século XVII, na Química Clássica. O sujeito começa a compreender a existência de diversas substâncias, classificações, composições e propriedades físico-químicas. Nesse período, o desenvolvimento de diferentes áreas de conhecimentos físico-químicos (cinética química, termoquímica, etc.) lançaram luz ao entendimento de que os fatores energéticos influenciavam direta e indiretamente os processos químicos, afetando assim, a concepção de substância para o novo século, retomando a visão

mais abstrata, ofuscada nos séculos XVIII e XIX (Silva, 2017).

Entre os séculos XIX e XX começa a surgir as concepções dialéticas (ou relacionais) acerca da substância como, por exemplo, os estudos da radioatividade e estrutura atômica, mostrando que uma substância pode ser convertida em outra, por meio da radiação artificial. No século XX, as propriedades que antes eram consideradas atributos das substâncias, passam a serem vistas como entidades não estáticas, dependentes de outras propriedades e das relações com o meio. Temos novamente uma visão abstrata, mas agora submicroscópica da matéria, mantendo o dualismo entre o empirismo e visão clássica do conceito de substância, conhecimentos fundamentais para os contextos de Ensino de Química em sala de aula (Silva, 2017).

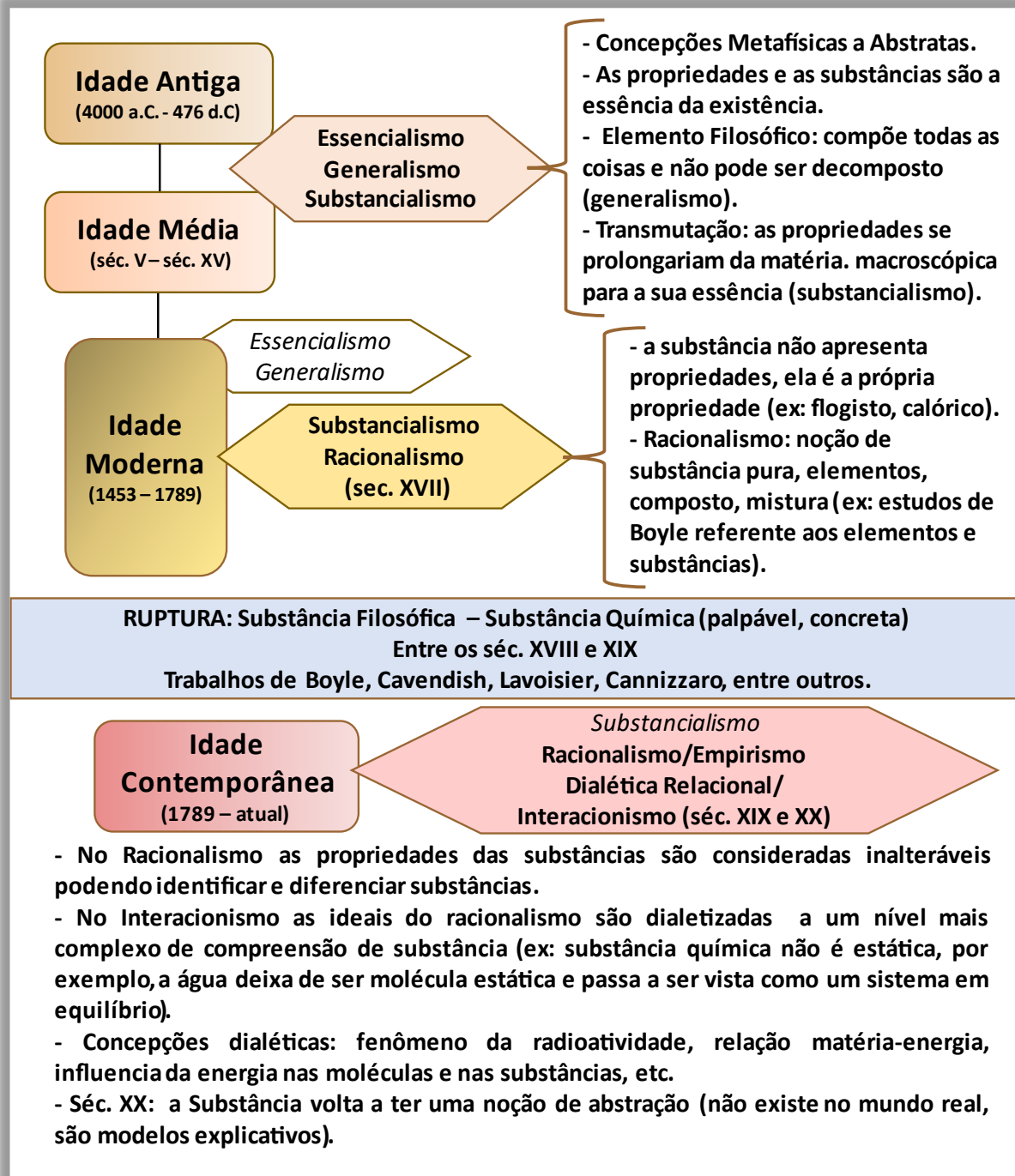
Segundo as argumentações de Silva (2011), o conceito de elemento que temos atualmente na Química, representa uma visão submicroscópica e abstrata da composição da matéria, assim como o conceito de substância. Elementos e substâncias, ambos conceitos abstratos, formam os materiais, concretamente. Tem-se uma diferença na ontologia dos conceitos, de modo que tanto o conceito de elemento como o de substância que concebemos hoje apresentam uma ontologia diferente daquela da Idade Antiga, pois os elementos eram corpos materiais.

Assim como destacado por Oki (2002), é importante termos em mente o caráter provisório desses conceitos, resultantes dos avanços científicos e das modificações da Ciência. Há uma dificuldade inerente à formulação desses conceitos, que estabelece uma importante relação entre o que é macroscopicamente observado e o que se imagina submicroscopicamente, ou seja, requer a nossa capacidade de abstração. No caso de Substância Química, podemos concluir que é uma noção de resultante de um híbrido entre a História Interna da Química e a História Externa da Química.

De acordo com Silva (2017), há diversos modos de pensar o conceito de substância, sendo assim, o período histórico não apresenta uma relação linear com as concepções de substância presentes em cada zona de perfil. Assim, os diferentes modos de pensar podem ser identificados em vários períodos, coexistirem entre si, havendo predominância de alguns deles em determinado momentos. Diante disto, percebemos que os modos de pensar o conceito de substância não ficaram restritos no tempo. Ainda no século XIX, o pensar filosófico, por exemplo, está presente no entendimento da substância. Resumiremos a polissemia epistemológica da

Substância na HQ na Figura 30.

Figura 30: Um esboço das visões epistemológicas de substância predominantes em cada período histórico



Fonte: Com base em Silva (2017), Silva e Amaral (2013) e Lambach e Marques (2011).

Lembrando que o essencialismo na Idade Moderna e início da Idade Contemporânea se apresenta como utilitarismo, sendo objetivação, segundo Ngai, Sevan e Talanquer (2014), ou seja, a importância está na utilidade das substâncias,

como dito por Silva (2011), há um interesse nas aplicações que as substâncias podem ter para a sociedade. Além da ruptura mais sistemática entre a substância filosófica e a substância química que ocorreu por volta do século XVIII, podemos perceber que a evolução conceitual de substância na HQ aconteceu gradualmente e, ao mesmo tempo, em paralelo com demais visões epistemológicas que podem ser úteis em determinados contextos. O mesmo ocorre em sala de aula, pois estudantes se utilizam de diferentes perfis epistemológicos em diferentes situações para entender e explicar um determinado fenômeno químico. Portanto, como dito por Mortimer (1996), não há um processo de mudança conceitual, mas sim de evolução de perfil conceitual.

A História da Química é fundamental para o ensino de conceitos químicos por diversos motivos que já sabemos. Estudos de Johnson (2000), Krnel, Watson, Glažar (2005) e Talanquer (2006) revelam que estudantes se utilizam de conhecimentos da origem e da história de um material para tomar decisões acerca da identidade química, por exemplo. Portanto, há a necessidade de que a construção histórica do conceito de substância seja explorada em sala de aula.

Em se tratando de uma Ciência central, por maior que seja a abrangência de áreas de conhecimentos conferidas à Ciência Química, sem dúvida, como enfatizado por Pauling (1967), a Química é a ciência que estuda as substâncias, suas propriedades, estruturas e suas transformações em outras substâncias (Maar, 2019). Portanto, entender a construção do conceito de substância é fundamental para o estudante. Silva (2011) conclui que o conceito de substância foi pensado em um domínio sócio-histórico-temporal bastante variado. A visão científica da sociedade de cada período e contexto expressa diferentes formas de conceber a substância.

Quanto à Formação de Professores, podemos perceber na HQ que o conceito de substância foi elaborado a partir de um pluralismo filosófico de três momentos: substância metafísica, substância empírico-racional e substância ultra racional. Portanto, essa análise epistemológica precisa ser incorporada nos cursos de formação inicial continuada para permitir que professores possam identificar obstáculos epistemológicos e os diferentes níveis de abordagem do conceito de substância, as espirais epistemológicas envolvidas num determinado conhecimento científico, requisitos básicos para planejamento e elaboração de materiais didáticos e de aulas (Silveira, 2003).

Mortimer (1996) defende que a visão construtivista é um processo adaptativo no qual estudantes constroem, progressivamente, esquemas conceituais

sem abandonar suas concepções prévias alternativas, por serem seu modo de expressão. Num olhar para as salas de aulas, as pesquisas mostram justamente essa variedade de concepções prévias e alternativas de substância entre estudantes e professores, com possíveis paralelos na história desse conceito. Podemos perceber que a noção de substância química foi construída entre o substancialismo e o materialismo, de modo que cada perfil epistemológico, como cita Disessa (1993), foi sendo “ativado” mediante contextos distintos da História da Química. Portanto, eis a grande relevância do tema abordado por essa pesquisa para o Ensino de Química, para impulsionar uma evolução de perfil conceitual e não uma mudança conceitual.

6.3 SUBSTÂNCIA QUÍMICA COMO DEVIR: CONTEXTO EPISTEMOLÓGICO

Bachelard é autor de uma epistemologia essencialmente histórica e questionadora, cuja pertinência para o campo do Ensino de Ciências, sobretudo de Química é inegável (Lopes, 1996). Para que possamos melhor compreender a substância química na visão bachelardiana, faremos uma introdução com algumas considerações de Bachelard referente as diversas explicações metafísicas de um conceito científico e também, acerca dos perfis epistemológicos apresentados pelo indivíduo ao refletir quanto a um determinado conceito científico.

6.3.1 Conceitos Científicos e Perfil Epistemológico de Bachelard

Para Bachelard, a metafísica pode representar a evolução de conceitos e noções científicas (Ribeiro, 2015). Um conhecimento científico apresenta diversas explicações metafísicas, podendo ser interpretado sob diferentes pontos de vistas do animismo, do realismo, do positivismo, do racionalismo, do racionalismo complexo e do racionalismo dialético, compondo etapas de um espectro metafísico. A história da evolução filosófica de um conhecimento científico atravessa todas as doutrinas, de modo que nem todos os conceitos atingiram o mesmo estágio de maturidade. Muitos deles permanecem implicados no realismo quase ingênuo, outros no positivismo (Bachelard, 1978).

Bachelard adverte que as noções e conceitos científicos como, por exemplo, átomo, massa e energia não são adquiridos prontos e acabados, por estarem em constante ruptura consigo mesmos e sofreram transformações profundas.

Um exemplo disto é o átomo do século XX, que embora partilhe da mesma designação do átomo de Dalton, nasceu do combate contra as concepções de átomo anteriores e, atualmente, nada tem em comum com o modelo de Dalton (Ribeiro, 2015). “Só existe um meio de fazer avançar a ciência; é o de atacar a ciência já constituída, ou seja, mudar a sua constituição.” (Bachelard, 1978, p. 19).

Aproveite lembrar que a matematização faz parte do atual ímpeto científico, com funções cada vez mais numerosas e complexas, que também participam da noção de determinados conceitos científicos. Bachelard cita o exemplo do átomo.

Quando se acompanham os esforços do pensamento contemporâneo para compreender o átomo, é-se quase levado a pensar que o papel fundamental do átomo é o de obrigar os homens a estudar matemática. [...]. A hierarquia das coisas é mais complexa do que a hierarquia dos homens. O átomo é uma sociedade matemática que ainda não nos revelou o seu segredo; não se dirige esta sociedade com uma aritmética de militar (Bachelard, 1978, p. 23).

Em “A Filosofia do Não” (1978), e em “Filosofia do Novo Espírito Científico” (1976), por exemplo, Bachelard apresenta sua análise da evolução de noções fundamentais da Física (massa e energia) e da Química (substância). Segundo Bachelard (1976), na etapa do realismo ingênuo, a noção de massa está relacionada a uma análise quantitativa grosseira e palpável, que se torna um conceito-obstáculo do conhecimento.

Em um segundo nível, no empirismo, a noção de massa se baseia na determinação objetiva precisa, verificada por uma balança, beneficiando a objetividade instrumental. Nesse longo período, o instrumento precede a teoria, ao contrário do que procede na ciência moderna. O conceito de massa apresenta-se sem pensamento, sem composição, na qual se cria a “conduta da balança”, marcando o empirismo ingênuo (Bachelard, 1976).

Ribeiro (2015) explica que, para Bachelard, os conceitos científicos não se referem a objetos exteriores. Os átomos, por exemplo, são objetos do pensamento. Nesse contexto, há uma evolução do próprio pensamento humano, com a adesão de novas metafísicas mais complexas e de maior grau de abstração. Evolução que partiu do animismo e realismo (filosoficamente primitivos) para o racionalismo dialético (mais teórico, mais evoluído).

A noção de massa do terceiro nível, no racionalismo clássico, se

destaca ao final do século XVII, com a mecânica racional de Newton. A massa passa a ser objeto de pensamento e de grande complexidade, sendo definida como o quociente da força pela aceleração. Considerando isto, ao definirem as correlações entre as noções de força, de massa e de aceleração, há um afastamento dos fundamentos do realismo, pois qualquer uma das três noções provêm de ordens realísticas diferentes (Bachelard, 1976).

O racionalismo contemporâneo é estimado na complicação das noções de base e na dialética externa, impossível pelo realismo. O quinto nível da filosofia é denominado de “ultra-racionalismo dialético”, na qual a realidade é colocada entre parênteses. Ao final dos cálculos matemáticos da mecânica de Dirac, temos uma noção estranhamente dialetizada de massa (duas massas para um mesmo objeto). Uma dessas massas condiz com as quatro filosofias precedentes. Porém, a segunda é uma massa negativa, inaceitável nas quatro filosofias anteriores. No século XIX, esse conceito de massa negativa seria um absurdo, um absoluto erro. Esse é o momento da dialética do novo espírito científico: “Por que não?” (Bachelard, 1976).

Bachelard (1976) argumenta que a realização sobressai a realidade. O conceito de massa negativa ainda não encontrou sua interpretação experimental, permitindo uma racionalização dialética vaga. A mecânica (eletrodinâmica) de Dirac apresenta tanto o conceito de massa negativa quanto o de energia negativa. Nesse caso, Dirac encontrou uma interpretação fenomenal para a energia negativa, portanto, podemos dizer que a noção de energia negativa encontrou sua realização, marcando mais o campo da racionalização dialética que a noção de massa negativa.

Segundo Zanetic (2006), uma das grandes contribuições de Bachelard para a análise do discurso nas Ciências é o estudo dos perfis epistemológicos, revelados pelo indivíduo ao refletir acerca de determinados conceitos científicos. A construção do perfil epistemológico envolve continuidades e rupturas associadas às noções conceituais, percepções metodológicas, hábitos e práticas da vida cotidiana, que fica claro nos exemplos de noção de massa e energia usados por Bachelard.

Para demonstrar um exemplo de processo de maturação filosófica, Bachelard utiliza o conceito de massa, considerando as cinco doutrinas filosóficas, de modo a configurar um perfil epistemológico. Bachelard argumenta que um perfil epistemológico deve sempre se referir a um conceito designado, e ser pessoal. Ele exemplifica, em barras, o seu próprio perfil epistemológico para a noção de massa. A

altura das barras representa o nível de importância relativa às filosofias para a convicção do conceito (Bachelard, 1978), segundo a Figura 31:

Figura 31: Perfil epistemológico pessoal da noção de Massa por Bachelard



Fonte: Adaptado de Bachelard (1976, p.58).

Os cinco aspectos filosóficos permeiam a sua orientação para a noção de massa, entretanto, podemos observar que o racionalismo clássico sobressai. De acordo com Bachelard (1976), a importância atribuída à noção racionalista de massa se deve a sua educação matemática, a longa prática de Ensino de Física elementar. Mas, geralmente, a noção de massa é apresentada a nós pela orientação do racionalismo clássico.

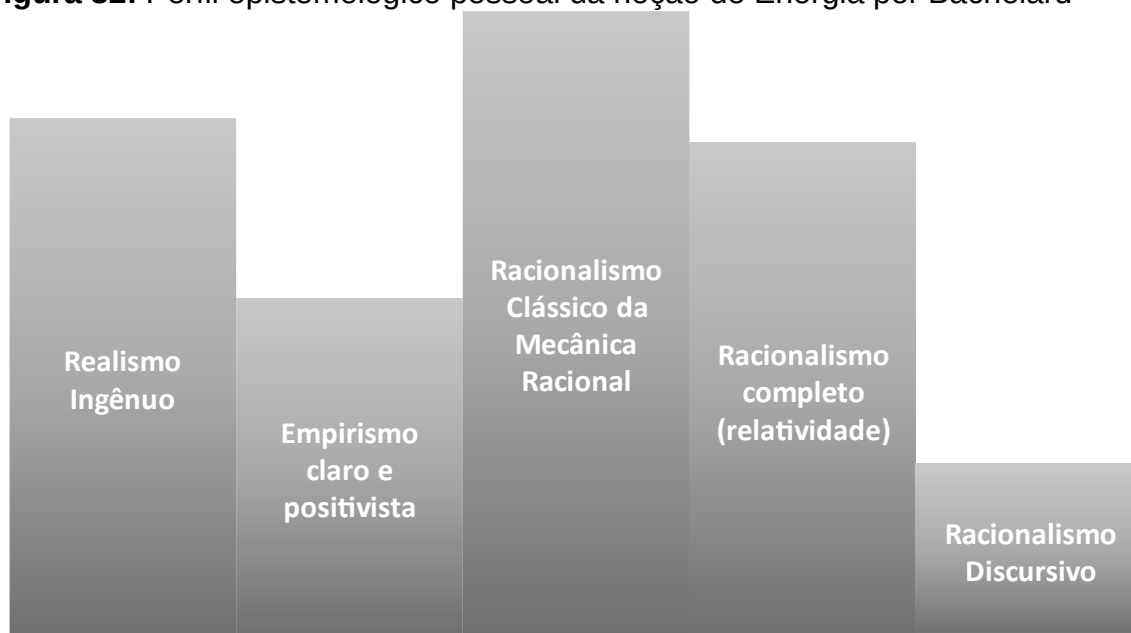
Todavia, é possível que, em determinadas circunstâncias, as doutrinas mais “sãs”, como o racionalismo newtoniano e kantiano, podem representar um obstáculo ao progresso da cultura. Tomemos como exemplo a conduta da balança, como o lado “pobre da cultura”, com a noção empírica de massa que muito influencia nossa noção conceitual. Temos que reconhecer que há momentos para o perfil do realismo, mesmo em se tratando de um conceito tão complexo como o de massa (Bachelard, 1976). Podemos perceber que Bachelard sempre destaca, em seu discurso, as continuidades e as rupturas entre as diferentes vertentes epistemológicas, julgando que mesmo as filosofias “sãs” podem se tornar obstáculos epistemológicos (Zanetic, 2006).

Segundo as interpretações de Barroso e Pinto (2017), a

“concentração histórica” de um conceito não ocorre gradualmente na superação de um perfil pelo outro. Ao contrário disto, podemos observar que, em um único conceito, coexistem os cinco espectros estabelecidos por Bachelard. Além disso, nem sempre a característica marcante de um conceito se encontra vinculada aos avanços científicos vigentes.

Para exemplificar mais claramente, Bachelard (1976) elabora um segundo exemplo (Figura 32), com o seu perfil epistemológico para a noção de energia, na qual se observa um padrão de perfil epistemológico diferente do apresentado no exemplo da massa.

Figura 32: Perfil epistemológico pessoal da noção de Energia por Bachelard



Fonte: Adaptado de Bachelard (1976, p.61).

No exemplo de noção de energia, Bachelard deixa em evidência que o realismo ingênuo (“senso comum”) vigora, mesmo ao lado do entendimento racionalista. Em ambos os exemplos, de massa e de energia, a orientação racionalista prevalece. O conceito dialetizado de energia possui maior importância porque o conceito de energia encontrou sua realização, o que não ocorreu com o conceito de massa, como descrito anteriormente. De certo modo, ainda há uma inspiração com base num realismo primitivo, configurando um conhecimento confuso de energia. Podemos concluir que, uma única filosofia é insuficiente para nos levar a um conhecimento preciso. Um pluralismo filosófico é revelado na noção de qualquer que seja o conhecimento científico, pois cada filosofia fornece apenas parte do espectro

de nocional (Bachelard, 1976).

6.3.2 O Devir da Substância em Bachelard

Na filosofia, o termo Devir possui um significado de processo do ser, designa todas as formas do chegar a ser, do mudar-se, do acontecer, do passar, do mover-se, etc. (Mora, 1978). De acordo com Bachelard (1978), durante muito tempo o devir químico foi desprezado pela Química Clássica, que apenas conheceu as substâncias suficientemente estáveis como ponto de partida e de chegada das trajetórias químicas. As ideias ingênuas de substância e de vida introduziram nas ciências físicas valorizações que atrapalham a construção do pensamento científico (Bachelard, 1996).

Podemos imaginar qual seria a reação de um químico do século XVIII, por exemplo, ao saber da hipótese de que uma substância com propriedades ácidas, em determinadas condições, pode se comportar como uma base. Com toda certeza, ele iria considerar uma ideia equivocada (Silva, 2011). Mas, como já abordamos no tópico anterior, para Bachelard (1978), a característica do novo espírito científico é “por que não?”, representada pela filosofia dialética.

Na obra “Filosofia do Não” (1978), Bachelard representa a substância como uma peça de um processo de distinção entre o real, o não-realismo e o não-kantismo, resumindo toda a experiência e todo o pensamento da determinação de uma substância. Segundo Bachelard (1978), a noção de substância é contraditória, por um lado claramente realista e por outro claramente transitiva na nova doutrina do não-substancialismo.

Na visão do espírito pré-científico, Bachelard (1996) argumenta que a substância possui um interior melhor e a substância é um interior. Essa crença guiou os alquimistas que tentavam “abrir” as substâncias, na esperança de descobrir suas qualidades, os segredos da matéria. Uma ideia substancialista geralmente representa um simples conter. Por exemplo, o calor está contido no âmago da substância, envolta pelo frio, ou seja, uma qualidade é bem mantida pelo seu oposto. Ou exemplo alquímico: “o ouro parece e é exteriormente fixo, mas interiormente, é volátil” (Bachelard, 1996, p.125).

Para Bachelard, o século XVIII é rico em exemplos dessas convicções. Em 1722, Crosset de la Heaumerie citou: “O mercúrio, embora branco

por fora... é vermelho por dentro... A cor vermelha... surge quando ele é precipitado e calcinado ao fogo". (Bachelard, 1996, p.126). Aqui, um químico racionalista logo irá reconhecer a oxidação do mercúrio, que nada se parece com o pensamento sonhador alquímico, que busca a matéria em seu íntimo. Podemos considerar o "mito do interior" como um dos maiores desafios. O realista, ao acumular na substância todos seus atributos (poderes, virtudes, forças...) não percebe que força é relação e, desse modo, ele entra no mundo dos sonhos (Bachelard, 1996).

Podemos compreender que a ideia de conceber a substância como a que detém propriedades estabelece um obstáculo substancialista. Nesse sentido, fica inviável a compreensão de propriedades como fruto de relações estabelecidas entre matéria e energia e entre substâncias, inviabilizando qualquer possibilidade de racionalização (Silveira, 2003).

A História da Ciência foi construída com várias pedras no caminho. Bachelard (1996) lembra que a eletricidade não era considerada uma propriedade geral, mas um princípio natural, ligado as substâncias mais diversas. Chegaram a pensar que a eletricidade seria um meio para distinguir os diamantes verdadeiros dos falsos. Para o espírito pré-científico, o produto natural é mais rico do que o artificial. Essas justaposições deixam as pedras pelo caminho do conhecimento (Bachelard, 1996).

Bachelard (1996) comenta que um autor de livro, denominado Martinet, sempre diz que o mentol, a mentona e o acetato de metila possuem odor de menta. Até parece uma afirmação comum. Mas o raciocínio químico entende que as substâncias citadas não possuem as propriedades da menta, mas exibem as mesmas qualidades. A propriedade organoléptica, cheiro de menta, é devida ao agrupamento osmóforo que também é comum ao mentol e a mentona. Caso o químico altere esses grupamentos, o odor de menta desaparece. Sendo assim, para a cultura não científica, a menta deixará de ser menta (Oliveira, 1995).

O mesmo podemos dizer de uma substância ácida: "A acidez de um ácido só tem sentido químico se mencionamos o solvente. Não existem ácidos por si, mas algo é ácido em relação a alguma outra coisa" (Oliveira, 1995, p.9). Ou seja, não existe substância ácida por si mesma, mas a partir de suas interações. Por exemplo, HNO_3 apresenta comportamento ácido em água e característica básica em um meio de H_2SO_4 (Oliveira, 1995).

O substancialismo está enraizado no Ensino de Química e se apoia em uma visão realista, bastante apegada ao concreto e amedrontada com o abstrato. Geralmente, a definição de molécula em livros didáticos são como: “molécula é a menor parte da substância capaz de guardar suas propriedades”. Assim, o estudante poderá entender que a molécula (constituente isolado) contém em si todos os atributos. Entretanto, não é possível dizer que a molécula de água possui densidade, pressão de vapor, tensão superficial, pontos de fusão e ebulição, por exemplo. Pois essas propriedades são apresentadas pelo conjunto, pelas interações intermoleculares (Oliveira, 1995).

Os livros didáticos de Química apresentam a Química Clássica do século XVIII envolta em realismo/substancialismo, com ideias de substância pura a propriedades bem definidas, sem discussão dos seus limites (Silva, 2017). Bachelard (1976) fala que, nas experiências primeiras, sob a forma elementar e no enunciado das “descobertas”, evidentemente, a Química é substancialista, ao designar as substâncias por meio de uma frase com suas características, assim como no realismo ingênuo. Mas em uma segunda análise, não há verdade nisso:

A química clássica, totalmente imbuída de realismo, pensou, sem pôr isso em causa, que era possível definir com precisão as propriedades de uma substância sem ter em conta as operações mais ou menos precisas que permitem isolar a substância. Decidiu-se assim da solução de um problema sem se perguntar se este problema não seria suscetível de várias soluções. Com efeito, não é evidente que a determinação substancial possa ser completa, que se possa falar de uma substância absolutamente pura, que se possa, através do pensamento, levar até ao limite o processo de purificação, que se possa definir a sua substância absolutamente, separando esta substância das operações que a produzem. Supor um limite ao processo de purificação é fazer passar o realismo grosseiro e ingênuo à categoria de um realismo científico e rigoroso. Ao estudar mais de perto o método operatório veremos que esta passagem ao limite é incorreta (Bachelard, 1978, p.42).

Mas a questão da pureza possui suas condicionais. Para podermos definir a pureza de uma substância é necessário que esta esteja isolada de todas as outras (sem impureza). Percebemos, então, uma relação entre propriedade bem definida e a noção de pureza. Ao analisarmos o exemplo da substância água, entendemos que se ela estiver 100% pura, então consideramos que suas propriedades são bem definidas. Falar em substância pura parece ser uma grande redundância, pois, se não é pura, não se trata de substância e sim de mistura. Nesse ponto de vista, o conceito de substância representa um modelo na Química, ou como citado por Bachelard acima, uma “ilusão”, ou mesmo, como posto por Oliveira (1995), o “mito da substância” (Silva, 2017).

Podemos citar outro exemplo de conceito científico bastante afetado pelo realismo/substancialismo na história científica, que segundo Bachelard (1975), apresenta obstáculos epistemológicos recorrentes: o atomismo. Bachelard afirma que o atomismo realista é o mais substancialista. A filosofia atomística considera a existência de átomos de sabores, cores, cheiros, sons, etc. As propriedades químicas como acidez, doçura, por exemplo, são inerentes aos átomos. No espírito pré-científico, os átomos são imaginados com formas determinadas pelas suas características, com imagens ingênuas, mas com detalhes cada vez mais sofisticados. É o caso do físico holandês Nicolas Hartsoeker (1656 – 1725), que sugeriu diferentes formas para os átomos, conforme a substância em questão, como representado na Figura 33, a seguir (Queiroz, 2015).

Figura 33: Representação de um átomo de cloreto de mercúrio por Hartsoeker



Fonte: Queiroz (2015, p. 112).

Conforme observável na figura, Hartsoeker imaginou uma esfera com pontas surgindo de sua superfície. Algumas de suas conjecturas são:

Como o Mercúrio se torna um veneno muito violento, chamado sublimado corrosivo, [...], pense [...] que cada bola de Mercúrio tem muitos buraquinhos onde as parcelas desses sais ácidos ficam presos, como parece por esta figura. Assim, todas as bolas de Mercúrio — sendo pontiagudas como muitas agulhas pontiagudas e cortantes — devem, neste estado, cortar e rasgar tudo através do qual eles passam (Hartsoeker 1706, p. 130,131, tradução nossa).

O nome “sublimado corrosivo” (atualmente conhecido como cloreto de mercúrio (II), de fato tóxico e corrosivo) é justificado pela ideia de o átomo de mercúrio apresentar as pontas eriçadas em sua superfície. O atomismo

substancialista concebe o átomo como sendo rico em atributos. Com a evolução dos sistemas filosóficos e científicos, as qualidades observadas em fenômenos na essência dos átomos passaram a ser vistas como qualidades internas. Por exemplo, a coesão entre átomos poderia ser explicada pela presença de “ganchos” que permitiam a união dos átomos (Queiroz, 2015).

Podemos perceber que a concepção de átomo influencia a noção de substância, visto que, como dito por Bachelard, no espírito pré-científico, o átomo possui um interior assim como a substância, com qualidade oculta (Queiroz, 2015). Bachelard (1975) afirma que o realismo possui uma sedução substancialista em acumular qualidades ligadas às substâncias, de maneira íntima e sem preocupação com as interações. No realismo não cabe discussões de princípios, o conhecimento simplesmente é aceito e a Química não sente necessidade de outra filosofia. Apesar do sucesso do realismo, é possível dialetizar a noção fundamental de substância por uma profunda revolução da filosofia química, sendo imaginável uma metaquímica. Com a metaquímica seria possível dispensar o substancialismo, pois revelaria vários tipos de substancialismo e diferentes níveis para consolidar as múltiplas propriedades.

Apesar de ser mais cômodo dizer que tudo é real (elétrons, núcleo, átomo, molécula, planeta, etc.), a existência não pode ser considerada uma função monótona, nem tudo é real da mesma forma, a substância não possui a mesma coerência em todos seus níveis. A substância química só pode ser definida no momento da sua síntese, ao compreender a hierarquia das funções. “Conhece-se mais facilmente o açúcar fabricando açúcares do que analisando um açúcar particular” (Bachelard, 1976, p. 33). O racionalismo surge, então, como uma filosofia da síntese, cresce de um método indutivo (Bachelard, 1976).

As experiências de desmaterialização ou de criação de elementos substanciais são ainda bastante enigmáticas. O cientista dialetiza com os princípios do realismo e do kantismo ao mesmo tempo. Recusa, simultaneamente, a universalidade da substância-realidade e a universalidade da substância-categoria. As reações aparentemente simples são envoltas num pluralismo ainda não sistematizado. Reações devem ser pensadas como um trajeto, como estados substanciais, como um filme de substâncias (Bachelard, 1976).

Perante isto, Bachelard (1976) afirma que a substância química não pode ser considerada uma matéria estável e bem definida, como sustenta o realista,

por ser a reação (o processo) que precisa ser ponderada para extrair ao máximo de instrução. Neste contexto, um devir é imediatamente delineado:

Ora, este devir não é nem unitário, nem contínuo. Apresenta-se como uma espécie de diálogo entre a matéria e a energia. As trocas energéticas determinam modificações materiais e as modificações materiais condicionam trocas energéticas. E é aqui que vemos aparecer o tema novo da dinamização, verdadeiramente essencial da substância. A energia é parte integral da substância; substância e energia são igualmente ser. A antiga filosofia química que dava uma primazia à noção de substância, que atribuía à substância, como qualidades transitivas, a energia cinética, a energia potencial, o calor latente. . . media mal a realidade. A energia é tão real quanto a substância e a substância não é mais real que a energia. Por intermédio da energia, o tempo coloca na substância a sua marca. A antiga concepção de uma substância por definição fora de tempo não pode manter-se (Bachelard, 1976, p. 39).

As palavras de Bachelard tornam bem clara a visão relacional matéria-energia-propriedades em contínuo diálogo, como em um devir. Para Bachelard (1976), o complexo matéria-energia não é uma simples categoria da substância. Então, não podemos usar a expressão “uma substância contém energia”, mas é parte integral dela. O mais conveniente seria pensar matéria-energia por meio de uma categoria complexa “substância-causalidade”. De certa forma, a química lavoiseriana deixou de lado o fenômeno químico, desconsiderando as possibilidades de desaparecimentos substanciais, a atividade das substâncias. A substância lavoiseriana é entendida como uma existência permanente, desenhada no espaço. Segundo Oliveira (1995), o realismo da química lavoiseriana foi consolidado pelo empirismo da balança, na qual a massa é o espelho final da realidade.

Oliveira (1995) argumenta que no ensino de estequiometria, por exemplo, geralmente estudantes apresentam uma certa facilidade com os cálculos de regra de três, ao relacionar quantidades de reagentes e produtos, em termos de massa. Mas as dificuldades surgem quando precisam interpretar e relacionar os termos das quantidades de mols envolvidos. Esse é, claramente, um problema derivado do realismo da massa.

A ciência do século XIX não abandonou a tendência realista. Conforme Queiroz (2015), a citação de George Stephenson (1781 – 1848), referente à luz, substância e conservação energética, nas palavras de Grove podem evidenciar a ideia: “George Stephenson tinha uma ideia favorita [...]; ele acreditava que luz que obtemos à noite de carvão, ou outro combustível, era uma reprodução da luz do sol, que os seres de estrutura orgânica ou vegetal absorveram no

passado” (Grove, 1867 *apud* Queiroz, 2015, p. 114, tradução nossa). Percebemos o caráter pré-científico, pois a substância parece ter o “poder de absorção”, na qual o carvão é impregnado pela luz do sol. Há uma tendência tentadora (como diz Bachelard) de fazer a matéria reter algo, como que se as propriedades da luz fossem todas absorvidas pela substância. Sendo assim, a ciência do século XIX continua a manter viva a ideia fundamental de qualidades (Queiroz, 2015).

Segundo Bachelard, as propriedades reveladas pelas substâncias não são atributos das mesmas. A valência de um elemento, por exemplo, é originada a partir da relação entre átomos:

valência é alguma coisa de mais complexo cuja origem está em relação com a estabilidade das novas configurações dinâmicas dos elétrons superficiais produzidas por causa das perturbações mútuas dos átomos em contato. É evidente que os detalhes dessa configuração e o grau de sua estabilidade dependerão da estrutura dos átomos que intervêm, de sorte que estritamente falando a valência não é uma propriedade de cada elemento isolado, mas do conjunto de átomos ligados. (Bachelard, 1985, p. 139).

Com o desenvolvimento da atomística do século XIX e das teorias quânticas do século XX, os químicos são obrigados a se deslocarem do realismo da massa para o racionalismo da energia. As reações químicas, que no realismo eram entendidas como trocas materiais, agora passam a ser vistas como interações atômico-molecular-energéticas. Esse balanço matéria-energia é o que situa a substância química como devir (Silva, 2017).

As radiações luminosas sempre despertaram a atenção. A fotoquímica surgiu como uma química não-lavoisieriana. É uma ciência que analisará correlações entre a substância e a energia, a ação da luz sobre as substâncias, radiações invisíveis e desenvolvimento de propriedades. Com o estudo da integração da radiação (entidade não lavoisieriana) na substância, surge a noção de substância química como um complexo matéria-energia, cujas trocas energéticas condicionam as reações químicas, dentre outros fatores. Nesse contexto, a substância radiante é, essencialmente, uma existência temporal, como um tipo de frequência ou estrutura do tempo (Bachelard, 1978).

Na concepção de Bachelard (1978), a compreensão dos fatores energéticos e materiais são presumidos pelo conceito de mecanismos. Há um ponto de ruptura entre a química realista e a química racionalista que fica caracterizada na consideração da substância como devir. O realismo ingênuo não comporta uma

substância que perde a continuidade do seu ser e do seu devir. As substâncias químicas precisam ser compreendidas num pluralismo coerente e harmônico que trazem possibilidades de construção (Bachelard, 2009).

Segundo Bachelard (2009), o pluralismo coerente da Química Moderna tem sua base nas substâncias químicas. A Química se desenvolve entre a multiplicidade de substâncias (pluralismo) e a busca por um princípio de coerência entre elas (redução da pluralidade). Para Bachelard, a raiz da diversidade dos fenômenos é a diversidade das substâncias. Contudo, há que se atentar a diversidade dos fenômenos mais profundos, que caracterizam as substâncias múltiplas, e não aos fenômenos de superfície (seco, úmido, quente, frio, por exemplo), como era analisado na filosofia antiga. Há uma necessidade de imaginar uma pluralidade de propriedades para determinar uma substância, como pode ser observado nas palavras de Ostwald:

É possível obter a concordância entre duas substâncias para uma propriedade, mas só para uma: se, por exemplo, tomarmos duas substâncias de densidade vizinha e aquecermos a mais densa, podemos realizar, com a aproximação que se queira, a equalização das densidades, mas, se as densidades são iguais, as temperaturas são diferentes (citação de Ostwald por Bachelard, 2009, p.50).

Portanto, não se pode conhecer uma substância apenas por uma de suas características. Para isso é necessário aprender as reações aos agentes físicos e o apuramento da substância, numa visão de substância circunstancial. Auguste Laurent considera que, para uma ciência química cumprir seu papel, ela não deve se limitar à mera descrição de fenômenos. Um fenômeno químico é provocado. Há um caráter de ciência artificial bastante profundo na Química Moderna, na qual a substância química está em destaque, visto que uma classificação química, sobretudo, deve provocar a criação de novas substâncias (Bachelard, 2009).

Bachelard (2009) afirma que esse pluralismo pode ser constatado na Química Orgânica, de modo ordenado e enriquecido. Nessa área, as leis gerais possuem uma riqueza de exemplos e de variação substancial, tornando nítida a constituição de seres artificiais. A lei de homologia permite inferir novas substâncias, substâncias homologas artificialmente, por interrupções em seu processo estrutural. Nesse contexto, as substâncias que existem provam uma lei.

Perante isto, “o químico fabrica substâncias artificiais para compreender a verdadeira estrutura das substâncias naturais” (Bachelard, 2009, p.60).

Para finalizarmos, segundo Civita e Pessanha (1978), cabe ressaltar que Bachelard não se prendia às escolas filosóficas ortodoxas. Desse modo, suas ideias investigativas conseguiram “demolir” velhas concepções cristalizadas, sugerindo novas soluções aos problemas, apoiado no desenvolvimento histórico das doutrinas científicas. Bachelard defende uma epistemologia não-cartesiana, em concordância com as revoluções científicas do século XX. Dentre os obstáculos epistemológicos que precisam ser superados, para não ser estabelecido um entrave para o conhecimento científico, Bachelard cita o substancialismo, que, como vimos, é bem alimentado pelo realismo ingênuo.

Observamos que Bachelard discorre acerca da dificuldade que a própria ciência apresenta ao tentar superar o realismo/substancialismo. Nós educadores, precisamos refletir o quanto essa tendência afeta o desenvolvimento do conhecimento científico em salas de aulas: o quanto essa superação do realismo pode ser complexa para estudantes? Talvez se estudantes conhecerem as limitações na História da Ciência, possam compreender melhor seus próprios conflitos conceituais. É importante que o ensino aborde que a ciência é constituída por diferentes camadas de conceituação, que se modificam ao longo do tempo, como linhas espectrais, formando um “perfil epistemológico” (Nordmann, 2006).

Bachelard também argumenta que a química antiga se preocupava, sobretudo, com as “descobertas”, mas a Química Moderna busca criar, sintetizar, com novas formas de identificar, posicionar, estabilizar eventos, inferir, modificar, etc. Nesse ponto de vista, a Nanotecnociência é um exemplo da Química Moderna, visto na sequência.

6.4 SUBSTÂNCIA QUÍMICA NA NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA: UMA VISÃO RELACIONAL NO CONTEXTO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO-SOCIAL

Não visamos explorar a Nanociência e a Nanotecnologia exaustivamente, pois o principal foco desse subitem é enfatizar as propriedades das nano substâncias em dependência com diferentes fatores, caracterizando a visão relacional/interacionista da substância. Todavia, nada impede que professores possam se aprofundar mais na Nanotecnologia (área rica em conhecimentos) para

extraírem outros exemplos aqui não descritos e ideias de novas abordagens acerca do tema.

Consideramos relevante uma introdução apresentando a história da Nanotecnologia e algumas implicações sociais na totalidade. Na sequência, apresentamos um resumo dos principais conhecimentos envolvidos na Química de Nanomateriais e exemplos de produções tecnológicas. A partir disto, podemos fazer uma convergência com algumas das propriedades das nano substâncias e a articulação com a visão relacional de substância.

6.4.1 Nanociência e Nanotecnologia: uma fronteira do século XXI

A longa jornada científica em busca do desenvolvimento da qualidade de vida humana inicia um dos mais de seus recentes capítulos: a Nanotecnociência. Essa ciência despontou ao final do século XX trazendo promessas de avanços tecnocientíficos com base na exploração de novas propriedades anunciadas pelos materiais, quando manipulados em escalas nanométricas de seus átomos e moléculas (Pyrrho; Schramm, 2016). O controle da matéria em dimensões de 0,1 ou 1 e 100 nm revela fenômenos únicos que trazem inúmeras possibilidades para novas aplicações (Hulla; Sahu; Hayes, 2015).

Sabemos que origem dos estudos do comportamento da matéria iniciou com as especulações filosóficas da idade antiga (Silva, 2009). Muitos fatos históricos compõe os pilares da Nanotecnologia, como o próprio conceito de átomo, mencionado em manuscritos do filósofo Kanada, aparentemente do século II a.C. e, posteriormente, introduzido no Ocidente pelos filósofos gregos. No desenvolver da história surgiram diversos estudos da estrutura atômica que permitiram o conhecimento do comportamento físico dos materiais (Brito; Castro, 2012).

Como descrito por Silva (2008), os registros das nanopartículas na história da humanidade remonta à Idade Média. Os vitrais das igrejas medievais, com colorações incríveis vermelho-rubi, continham nanopartículas de ouro. Também, segundo Schulz (2005), o cálice de Licurgo, outro exemplo de “nanoartesanato” do século IV d.C. (Figura 34):

Figura 34: Vitral de “Notre-Dame” e o cálice de Licurgo



Fontes: Carlo (2018) e Quora (2023), respectivamente.

Segundo Barber e Freestone (1990), a Taça de Licurgo é uma jaula de vidro, com 165 cm de altura e 15 mm de espessura, lapidado do período romano tardio, cuja decoração mostra as cenas do mito do rei Licurgo. A taça exibe efeitos óticos incomuns aos vidros, a luz transmitida emite a coloração vinho tinto profundo, enquanto a luz refletida emite um verde ervilha opaco, fenômeno denominado de dicróismo vermelho-verde. Chirnside e Profitt (1963 e 1965), Chirnside (1965) e Brill (1965) relataram as análises químicas da taça, cujas conclusões foram de que as propriedades óticas do vidro são causadas pela presença de partículas de ouro finamente dispersas, provavelmente ligadas com prata. A nanotecnologia foi reconhecida na taça de Licurgo apenas em 1990, por intermédio de uma análise a fragmentos do objeto, na qual se constatou que se tratava de impregnação no vidro de partículas de prata e ouro com dimensões não superiores a 50 nanômetros (Moreira, 2018). Com a moderna microscopia eletrônica de transmissão (TEM) determinou a estrutura do metal e as dimensões das partículas como sendo de diâmetros de 10 nm (Barber; Freestone, 1990).

Apesar da exposição da humanidade às nanopartículas não ser nada novo, foi com a revolução industrial que ocorreu um aumento bastante impactante. Richard Zsigmondy (Prêmio Nobel de Química em 1925) propôs o conceito de “nanopartículas” após caracterizar e medir partículas como colóides de ouro, usando um microscópio. Já a Nanotecnologia moderna foi fruto de Richard Feynman (Prêmio Nobel Física de 1965). Em 1959, Feynman apresentou uma palestra no Caltech intitulada “Há muito espaço no fundo”, introduzindo assim, a manipulação da matéria ao nível atômico-molecular (Hulla; Sahu; Hayes, 2015).

Entretanto, em 1857, Michael Faraday (1791 – 1867) foi o primeiro a introduzir a preparação de metais coloidais em um sistema bifásico, na qual reduziu um sal de ouro aquoso com fósforo em dissulfeto de carbono, obtendo uma solução aquosa de partículas de ouro disperso de cor vermelho rubi. As observações de Faraday em seus estudos de filme de ouro foram precursoras das pesquisas modernas acerca de isolantes (Brust *et al.*, 1994). Portanto, a origem da Nanociência está diretamente ligada ao estudo da ciência coloidal, que abrange uma série de conhecimentos teóricos e aspectos físico-químicos necessários à compreensão da ciência dos materiais (Silva, 2009). Outro fator que chamou atenção nos estudos de Faraday é que foi observado que a estabilidade das propriedades óticas das nanopartículas em solução aquosa estavam relacionadas aos fatores cinéticos (Edwards; Thomas, 2007).

Após quase quinze anos da divulgação de Feynman, o cientista japonês Norio Taniguchi usou, pela primeira vez, o termo “Nanotecnologia” ao descrever processos de semicondutores em escala de um nanômetro. A partir daí, em 1980, Kroto, Smalley e Curl evidenciaram os Fulerenos, inaugurando a era de ouro da Nanotecnologia. O início do século XXI vislumbra o grande interesse pelos campos de estudos emergentes da Nanociência e Nanotecnologia, com financiamentos de pesquisas pelos Estados Unidos, desempenhado um grande papel na formação de prioridades científicas nacionais (Hulla; Sahu; Hayes, 2015).

Consoante Brito e Castro (2012), a grande inovação dessa tecnologia reside na possibilidade de ver e mover átomos, por meio de uma abordagem nunca realizada e que modificou completamente a percepção dos materiais. Consequentemente, a noção de substância química também é impactada. No modelo nanotecnológico, o design e o modo de produção dos materiais são realizados por meio de uma aproximação racional, fundamentada no melhor conhecimento da estrutura e propriedades físico-químicas dos materiais.

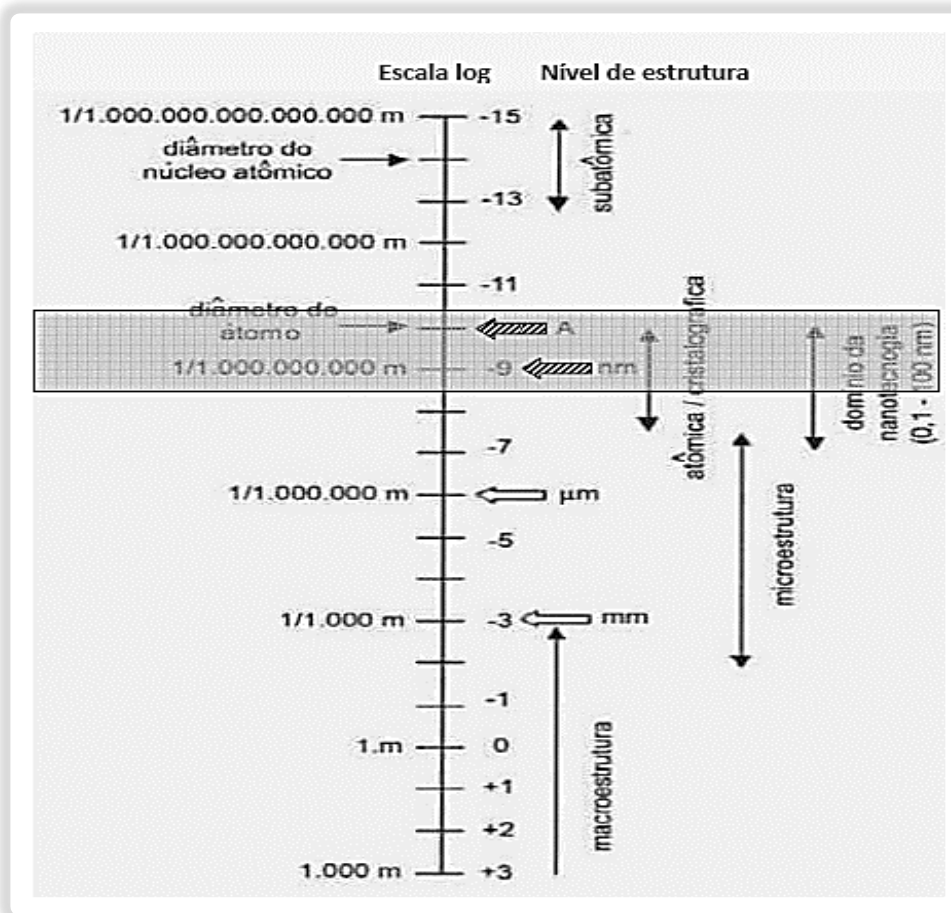
Em um período inferior a meio século, a Nanotecnologia tornou-se a base para aplicações industriais notáveis em crescimento exponencial, com destaque nas indústrias farmacêuticas e médicas, de alimentos, de cosméticos, de embalagens, etc. Portanto, os benefícios potenciais são muitos e diversos. Mas há outro lado da moeda que necessita ser considerada, a extensa exposição humana e ambiental às nanopartículas. Como bem exposto por Pyrrho e Schramm (2016), há necessidade de uma abordagem ética do tema. As constantes preocupações com os potenciais riscos

à saúde e ao ambiente levaram o surgimento de áreas científicas adicionais à pesquisa, incluindo a nanotoxicologia e a nanomedicina, desenvolvidas para estudar os riscos e benefícios dos nanomateriais. Todavia, há ainda uma carência de dados de toxicidade confiáveis que muito alerta a comunidade (Hulla; Sahu; Hayes, 2015).

Apesar de haver diferenças na conceituação de Ciência e Tecnologia, usualmente os termos Nanociência e Nanotecnologia são utilizados indistintamente. Adotamos que a Nanociência é o ramo da ciência especializado no estudo de materiais e sistemas cujas estruturas e propriedades físico-químicas e biológicas podem ser modificadas significativamente, mediante a manipulação da escala nanométrica das partículas. Por sua vez, a Nanotecnologia representa a habilidade de criar e manipular esses materiais, gerando produtos com propriedades peculiares (Silva, 2009).

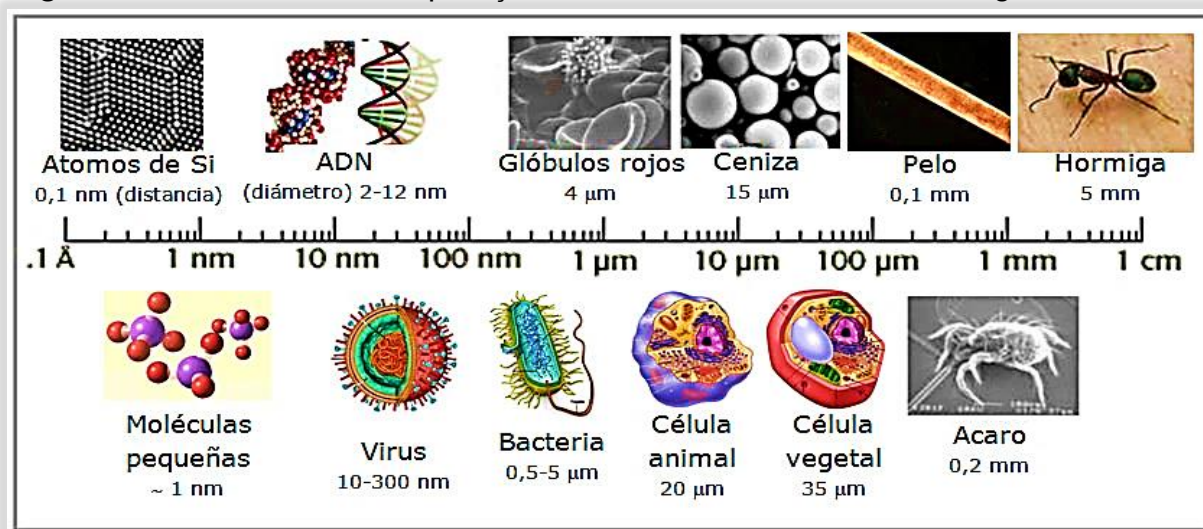
A tecnologia de nanomateriais emprega os denominados *Building Blocks* (blocos de construção) na forma de *clusters*, nanopartículas, nanotubos, nanofibras, etc. O objetivo central da Nanotecnologia é controlar o arranjo desses “blocos” permitindo uma variedade de propriedades físico-químicas, beneficiando a fabricação de materiais como polímeros, cerâmicas, metais, semicondutores, compósitos, biomateriais e outros (Silva, 2009). A Figura 35 mostra a relação das dimensões de partículas utilizadas na Nanotecnologia.

Figura 35: Dimensões de domínio da nanotecnologia (ver destaque)



Fonte: Adaptado de Durán (2006) *apud* Silva (2009, p. 6).

Na natureza existem vários exemplos de estruturas com dimensões submicrométricas, comparáveis às dimensões de materiais criados pela humanidade. Por exemplo, os sistemas biológicos que apresentam uma organização sistemática de estruturas e processos a uma escala nanométrica. Uma das grandes inovações tecnológicas está na possibilidade da monitorização e da interação de nanomateriais com estruturas biológicas para impulsionar a criação de novas técnicas e dispositivos de diagnóstico e terapêutica na medicina, levando ao surgimento de ramos de estudos como a nanobiotecnologia e a nanomedicina (Martins; Trindade, 2012). A Figura 36 apresenta as comparações entre tamanhos de escalas nos sistemas biológicos.

Figura 36: Tamanhos e comparações de escalas nos sistemas biológicos

Fonte: Brito e Castro (2012, p.164).

6.4.1.1 Nanotecnologia no Brasil

Estudos de Fernandes e Filgueiras (2008) revelaram um panorama inicial da nanotecnologia no Brasil, analisando pontos de vista de diferentes pesquisadores da área. Os resultados mostram que cientistas e o setor industrial demonstram interesse em parcerias e algumas iniciativas científico-políticas estimulam essa articulação entre academia e empresas.

Em 1996, representantes de várias agências nos Estados Unidos discutiam estratégias para a nanotecnologia. As propostas de plano para orçamentos ficaram prontas em 2001, na administração de Clinton, que colocou a nanotecnologia como uma iniciativa federal, a *National Nanotechnology Initiative* (NNI). Apesar de já haver pesquisas científicas na área no Brasil, apenas nessa época foi que o Brasil passou a dar destaque à nanotecnologia e ao final do ano de 2000, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) convocou uma reunião com pesquisadores que já atuavam ou tinham interesse na área. Em 2001, o primeiro edital específico do tema resultou na formação de quatro Redes Cooperativas de Pesquisa: Materiais Nanoestruturados, sediada na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Nanotecnologia Molecular e de Interfaces, sediada na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Nanobiotecnologia, sediada na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); e Nanodispositivos Semicondutores e Materiais Nanoestruturados, também sediada na UFPE (Fernandes; Filgueiras, 2008).

Nessa época vários pesquisadores brasileiros já estavam

familiarizados com a área da nanoescala. De acordo com Alfredo de S. Mendes, o trabalho em escala nanométrica no Brasil não é nada recente, todavia, antigamente, mas não se usava o slogan nano. Esse slogan apareceu no contexto mundial com o lançamento dos programas americano e japônês (Fernandes; Filgueiras, 2008).

Segundo Fernandes; Filgueiras (2008), Henrique E. Toma começou seus estudos com a nanoescala no final de 1970. Em 2004, ele divulgou um livro intitulado “O mundo nanométrico: a dimensão do novo século”, trazendo a ideia de novidade e promessa do século XXI. O professor Jean Marie Lehn ganhou o Prêmio Nobel de Química de 1987 por seus trabalhos em química supramolecular (área de estudo de moléculas com estruturas funcionais):

De repente, da química supramolecular eu me vi dentro da nanotecnologia. Agora, aquelas moléculas que eu montava eram máquinas e eu tinha que tirar todo o proveito dessas moléculas para produzir algum trabalho, um efeito útil, que é a ideia da nanotecnologia (Toma, 2004 *apud* Fernandes e Filgueiras, 2008, p. 2207).

O pesquisador Cylon G. da Silva participou, desde os anos 80, da implantação do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) para estudos da matéria ao nível atômico. Paulo C. de Moraes, da Universidade de Brasília (UnB), teve seu primeiro contato com as N&N durante o mestrado, de 1978 a 1980, cuja área de pesquisa envolveu o tema superparamagnetismo, um fenômeno descrito no final da década de 50, hoje completamente inserido em N&N. Petrus Santa-Cruz, da UFPE começou a atuar em nanociência nos anos 80. Ele foi o responsável por criar o ponto quântico em 2000, se destacando como a primeira empresa brasileira de nanotecnologia. Podemos citar também Eronides Silva (UFPE), Israel Baumvol (UFRGS), Nelson Duran, Fernando Galembeck, Oswaldo Luiz Alves (Unicamp) e vários outros que iniciaram os estudos com nanoescala bem antes dos reconhecimentos públicos (Fernandes; Filgueiras, 2008).

Fernandes e Filgueiras (2008) citam que podemos considerar que devido à evolução das iniciativas prévias, a produção científica do país em N&N se fortaleceu e hoje desfruta de certo prestígio no cenário mundial, com destaques em diversos trabalhos nas áreas de nanopartículas de prata, nanotubos de carbono, nano fio de ouro, etc. Porém, para o engenheiro Jacobus Swart, o Brasil está muito atrasado em relação a outros países, apesar de seu grande potencial. De fato, há no Brasil um “descompasso” entre os indicadores de produção científica e os de produção de

inovações. Segundo Brandão (2006 *apud* Fernandes; Filgueiras, 2008), de um lado, a indústria brasileira cresceu nas décadas de 60 e 70, num ambiente de proteção do mercado contra a concorrência externa e sem necessidade de atualização tecnológica.

Por outro lado, pesquisadores ligados a universidades e institutos públicos de pesquisa sempre estiveram na gerência de órgãos públicos designados para fomentar as atividades de ciência e tecnologia do país. Apesar disso, essa área nanotecnológica se faz notar em setores da economia nacional, sobretudo na indústria petrolífera (Petrobrás), referência mundial em desenvolvimento e inovação tecnológica. Outros exemplos citados são os jatos da Empresa Brasileira de Aeronáutica (Embraer), os motores *flex-fuel*, a urna eletrônica; o agronegócio, etc. (Fernandes; Filgueiras, 2008).

Citamos alguns programas de iniciativas brasileiras mais recentes na área de N&N: Coordenação-Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia (2003), Conselho Diretor da Rede BrasilNano (2005), Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI) (2007), Centro de Nanociência e Nanotecnologia Cesar Lattes (2008), Fórum de Competitividade de Nanotecnologia (2009), SisNano (Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias) (2012), Portaria 117 do Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia (CBCIN)(2012), adesão ao programa NANoREG (*A common European approach to the regulatory testing of Manufactured Nanomaterials*), Comitê Consultivo de Nanotecnologia e Novos Materiais (CCNANOMAT) (2018), Marco Legal da Nanotecnologia e Materiais Avançados (PL 880/2019) (2020) (Dias *et al.*, 2021).

O Brasil investiu cerca de R\$ 600 milhões dos recursos públicos em nanotecnologias nos últimos 15 anos, valor muito inferior comparado ao investimento mundial. O país conta com apoio de fundações, universidade já citadas e empresas, como o CNPq, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), as FAPs, Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), Embrapii, Sibratec, Nanotechnology Innovation Cluster (API.nano) e BNDES (Dias *et al.*, 2021).

Mais recentemente, Dias e colaboradores (2021) analisaram a nanotecnologia no Brasil e o desenvolvimento de produtos com atividade antimicrobiana. Segundo esses autores, nas últimas duas décadas, houve diversas iniciativas governamentais de fomento e estruturação do setor, com parcerias entre empresas e instituições públicas para fomentar e coordenar as pesquisas em

nanotecnologia e capacitar a indústria brasileira para competição no mercado internacional.

Com o aumento de casos de infecções causadas por microrganismos resistentes a fármacos, riscos dos procedimentos médicos e os custos com a saúde, com a necessidade de higienização eficiente, há uma importante justificativa para o desenvolvimento novos compostos ou a modificação dos compostos já disponíveis. Nesse cenário, as nanopartículas como agentes antimicrobianos estão cada vez mais em evidência no Brasil (Dias *et al.*, 2021).

Segundo estudos de Pelgrift e Friedman (2013) e Khezerlou e colaboradores (2018), algumas nanopartículas inorgânicas (metais e óxidos metálicos) criam aberturas na resultantes na morte celular. Além disso, as nanopartículas podem atravessar a parede celular e a membrana citoplasmática para o citoplasma da célula bacteriana, no qual exercem outros efeitos antimicrobianos. No caso de nanopartículas orgânicas, a ação antimicrobiana pode estar relacionada com a liberação de antibióticos, peptídeos antimicrobianos e agentes antimicrobianos ou pela eliminação por contato de superfícies catiônicas (Bethy *et al.*, 2015). As nanopartículas podem interagir com o DNA bacteriano e perturbar a divisão de replicação das células de micro-organismos (Almeida *et al.*, 2017). Os antibióticos convencionais também são beneficiados pelo improvável desenvolvimento de resistência às nanopartículas e pela redução de custos e simples preparo (Almeida *et al.*, 2017; Hoseinzadeh *et al.*, 2017).

Perante o grande potencial para geração de produtos, diversas empresas no país perceberam na nanotecnologia uma oportunidade de negócio para inovar e elevar o valor agregado de seus produtos e serviço (Dias *et al.*, 2021). A Figura 37 apresenta algumas dessas empresas.

Figura 37: Produtos de empresas brasileiras que contêm em sua composição nanopartículas antimicrobianas

Nome da empresa e localidade (cidade/estado)	Produtos
<i>NANOX</i> (São Carlos, SP)	Nanoaditivos antimicrobianos. Bebedouros de aço inoxidável e plástico da empresa <i>IBBL</i> , revestimento industrial da <i>Concrekor</i> , tapetes e carpetes da <i>Tapetes São Carlos</i> , embalagens da <i>AlpFilm</i> , secadores de cabelo e em chapas de alisamento da <i>Taiff</i> , equipamentos odontológicos da <i>Dabi Atlante</i> , brinquedos para cães da <i>Odontopet</i> , fabricação de dutos de ar pela <i>Plascar</i> , garrafa térmica da <i>Termolar</i> e máscaras em parceria com a <i>Elka</i> .
<i>TNS Solution</i> (Florianópolis, SC)	Nanoaditivos antimicrobianos. Formulação do esmalte das panelas <i>Linea</i> da empresa <i>Oxford Porcelanas</i> , utensílios de cozinha da <i>Yuze</i> , carpetes da <i>SGL Beaulieu do Brasil</i> , acrílico da <i>Bold</i>
<i>Nanovetores Group</i> (Florianópolis, SC)	Nano e microencapsulação. Ativo Nano Fungi (antifúngico) e Nano Bioprotect (antimicrobiano).
<i>Podal Nano Cosméticos</i> (Loja online)	Formulação com nanotecnologia e biotecnologia para cosméticos. Fungi Mai: antifúngico nanoencapsulado.
<i>Doce erva</i> (Ribeirão Preto, SP)	Formulação de óleos essenciais nanoparticulados para unhas. Nano Nails: óleos essenciais de capim-limão, melaleuca e cravo nanoparticulado.
<i>NanoScoping</i> (Florianópolis, SC)	Nanoinsumos veterinários. Nano Melaleuca (antimicrobiano), Nano Fitoesfingosina (antimicrobiano) Nano Calêndula (antisséptico).
<i>Nanoita</i> (Ponta Grossa, PR)	Revestimento de cerâmica antimicrobiana nanoestruturada.
<i>Innoma Innovative Materials</i> (Belo Horizonte, MG)	Nanoativos antimicrobianos de nanopartículas de prata.
<i>NanoTropic</i> (Curitiba, PR)	Nanoativos antimicrobianos da linha TropiCare
<i>Nanowear Nanotecnologia</i> (Novo Hamburgo, RS)	Produtos têxtil com nanopartículas antimicrobianas.
<i>Santista têxtil</i> (vendida para Siete Leguas) (São Paulo, SP)	Tecidos com nanopartículas antimicrobianas da linha NanoComfort.
<i>WEG</i> (Jaraquá do Sul, SC)	Tomadas e interruptores com nanopartículas antimicrobianas, da linha Composé, produtos NobaC.
<i>Suzano Petroquímica</i> (vendida para Petrobras)	Resina especial de polipropileno nanoestruturada com partículas de prata. Colchões, tábuas de carne e, em parceria com a empresa <i>Suggar</i> (também brasileira), fabricaram máquina de lavar.
<i>Itabanyl Produtos Especiais (Ipel)</i> (vendida para Lanxess) (Jarinu, SP)	Linha de antimicrobianos com tecnologia AgNano que utiliza nanopartículas de prata.
<i>Laza Biotecnologia</i> (Xanxerê, SC)	Sanitizantes em aerossol que contém nanopartículas antimicrobianas da linha FULLCLEAN.
<i>Promaflex</i> (Taboão da Serra, SP)	Manta adesiva com nanopartículas de prata com propriedades antimifo.
<i>Equinox</i> (Rio de Janeiro, RJ)	Camiseta ION LITE™ com nanopartículas de prata para controle da proliferação de bactérias.
<i>Insider Store</i> (São Paulo, SP)	Camiseta e máscara antiviral e bactericida que usam nanotecnologia na fabricação.
<i>Dublauto Gaúcha</i> (Campo Bom, RS)	Palmilha Sequinha com nanopartículas de prata antimicrobiana.

Fonte: Dias et al. (2021 p.1087).

Como é possível observar, a Nanotecnologia faz parte do cotidiano por meio de diversos utensílios como os chips de celulares, eletrônicos, biomateriais, medicamentos, produtos de beleza, etc. Desse modo, é imprescindível que esse conhecimento seja difundido em salas de aulas. Todavia, um estudo de Ferreira (2018) revelou que estudantes consomem produtos da Nanotecnologia sem conscientização científico-social a respeito, um problema persistente na sociedade. Para ocorrer essa conscientização, não basta exemplificar na prática os conhecimentos da Nano, mas contextualizar numa maneira interdisciplinar de ensino mostrando contribuições do desenvolvimento social. Diante disso, fica claro a necessidade de aprofundamento da área por parte dos professores (Ferreira, 2018).

Segundo Berger (2020), por mais que a Nanotecnologia seja refletida em diferentes campos de aplicação (nanomedicina, nanoeletrônica, automotivos, embalagens, indústria química e petroquímica, etc.), essa interdisciplinaridade pouco chega à sala de aula. Um exemplo dessa interdisciplinaridade pode ser observada na sua dissertação, que descreve um trabalho no Ensino Médio de Química promovendo interações entre as áreas de Química e de Biologia por meio de uma Atividade Experimental Problematicadora. Essa atividade envolveu o preparo de omeletes para contextualizar o conceito de nanopartículas, influência das propriedades nanoscópicas, dimensões das gotículas de ar presentes nas emulsões, modificação de proteínas, interações intermoleculares, ligações químicas, polaridades, textura e sabor dos alimentos, dentre demais conceitos.

6.4.1.2 Algumas Implicações Científico-Tecnológico-Social-Ambiental

O desenvolvimento econômico e social das nações está fortemente relacionado com sua capacidade de inovar, criar e descobrir, a fim de buscar soluções de problemas e melhorias da qualidade de vida, produtos e serviços. Nesse contexto, a evolução da ciência, tecnologia e instrumentação na área de nanomateriais ofereceu a capacidade de produção de nanodispositivos e nano sistemas em grande escala, para a indústria eletrônica (smartphones e tablets, por exemplo), matérias inteligentes, fármacos e muitos outros (Araki *et al.*, 2014).

De certa forma, as nanotecnologias são divulgadas como sendo uma nova revolução tecnológica, capazes de ajudar a solucionar os mais diversos problemas da humanidade, como, por exemplo: no combate ao câncer, nos meios

eficientes para potabilizar água, em sistemas de acumulação de energia menores e de maior duração, embalagens que conservam melhor os alimentos e muitas outras utilidades são as promessas das nanotecnologias. Desse modo, os impactos científico-tecnológicos são dos mais variados, englobando muitos produtos do mercado (alimentos, cosméticos, eletrodomésticos, computadores, celulares, medicamentos, têxteis, cerâmicas, materiais da indústria da construção, artigos esportivos, armas, entre outros) (Foladori; Invernizzi, 2012).

Na área genética, um dos convites da nanotecnologia é despir o DNA de seu caráter simbólico como código da vida, tornando-o mais disponível (Pyrrho; Schramm, 2016). Nesse discurso científico, a flexibilidade de manipulação e réplica do DNA admitirá usos que a imaginação permitir, trazendo uma nova concepção de DNA a partir da nanotecnologia (Sibilia, 2002).

Na alimentação, as nanotecnologias são empregadas para homogeneizar a textura e enfatizar o sabor no caso dos cremes e sorvetes, ou para reduzir o conteúdo graxo, fabricação de nanoemcapsulados como Ômega3, fortificantes e redutores de peso. No campo de cosméticos, se destacam na fabricação de cremes antirrugas, filtros solares e xampus. Nos eletrodomésticos, as nanopartículas de prata como bactericidas são usadas em condicionadores de ar, refrigeradores e lava louças, por exemplo. E muitas outras aplicações cotidianas. Podemos considerar que atualmente, quase todos os ramos da indústria têm produtos de nanotecnologia no mercado (Foladori; Invernizzi, 2012).

Entretanto, apesar de haver informação científica acerca dos potenciais riscos à saúde e ao meio ambiente causados pelas nanopartículas manufaturadas, há de se reconhecer que ainda paira muita incerteza, por serem escassos os fundos públicos que se destinam a avaliar esse aspecto tão importante. Perante isto, pouco se divulga referente aos riscos e as implicações sociais das nanotecnologias. O problema da toxicidade vai além da saúde humana, engloba o meio ambiente todo, na qual o acúmulo de nanopartículas pode causar estragos nos ecossistemas e nas cadeias tróficas. Outro fator que deve ser analisado é a exposição de trabalhadores e consumidores às nanopartículas manufaturadas (Foladori; Invernizzi, 2012).

De acordo com Sibilia (2002), vivemos num panorama científico caracterizado pelo controle absoluto na compreensão e modificação dos corpos, em busca por explicar todas as dimensões da existência. O século XX mostrou um tipo

de poder distinto, voltado para o desenvolvimento do capitalismo e destinado ao crescimento e ordenação das formas de produção, por meio do biopoder (fazer viver e deixar morrer) (Foucault, 2010). Nesse cenário, a evolução tecnológica se torna mais rápida que a seleção natural (Sibilia, 2002).

Com o contínuo avanço da biotecnociência, a nanociência representa a apropriação de um território novo: a nanoescala. O mais apropriado é dizer que a Nanotecnociência é um fenômeno complexo, resultante da convergência de configurações científicas, tecnológicas, políticas e econômicas, criando um espaço para reflexões éticas e filosóficas da prática científica (Jotterand, 2005). O arsenal tecnológico da nanociência nos possibilita intervir diretamente na evolução humana, na busca por corpos e mentes parecidos como as máquinas atuais (Sfez, 1996).

Entretanto, as expectativas acerca da nanotecnologia variam entre os extremos do entusiasmo e do medo. Enquanto cientistas e mídia enfatizam os potenciais da nanotecnologia nas áreas de biomedicina, por exemplo, os ambientalistas fazem questionamentos a respeito dos impactos ambientais inesperados (Pyrrho; Schramm, 2016). Assim, alguns pesquisadores propõem um cenário de reflexão ética da área, com avaliações dos aspectos toxicológicos, contaminação ambiental, riscos à saúde, controle de tecnologias e automação de dispositivos, impactos econômicos, equidade e justiça, propriedade intelectual, acessibilidade do conhecimento, recursos políticos, aspectos bélicos, segurança nacional e outros (Pyrrho, 2008).

Na contextualização social da nanotecnologia, podemos destacar um caráter separativo, referente ao seu alcance no processo industrial todo e seus resultantes socioeconômicos, que superam as novas propriedades da matéria (Pyrrho; Schramm, 2016). Segundo Invernizzi e Foladori (2005), o esperado é que as demais tecnologias em convergência com a nanociência possam influenciar profundamente a organização econômica global, na sociedade da informação e na repercussão da divisão de trabalho, considerando novas formas de toxicidade, incrementando o monopólio nos processos de produção. A nanotecnologia surgiu em meio a iniquidades sociais e danos ambientais, alimentados por estabelecimentos institucionais e práticas sociais que acabam por favorecer as grandes indústrias em detrimento do bem-estar das populações (Sandler, 2009).

Como bem argumentado por Schummer (2004), há uma dimensão sociocultural na qual é necessária uma análise metacientífica, que considere a

dinâmica de determinação de funções na relação entre ciência e tecnologia, bem como, perceba cientistas e pesquisadores como parte da sociedade. Conforme Sandler (2009), cabe observar que os resultados socioeconômicos alcançados, positivos ou negativos, dependem de quais matérias nanoestruturados estarão em uso e para quais finalidades, onde e como serão manufaturados. Esses aspectos são influenciados por conjunturas políticas e sociais que determinam áreas de investimentos, aplicações, legitimidade social, etc.

Por final, vale ressaltar algumas implicações das nanotecnologias para o setor de emprego. Segundo Foladori e Invernizzi (2012), o mercado já comporta produtos da nanotecnologia que oferecem três características comuns: um único produto apresenta multifunções, tem maior vida útil e utiliza menos matéria-prima. Em conclusão, a manufatura desses produtos requer menos mão de obra, ou seja, menos emprego, além de reduzirem a demanda de produtos tradicionais que competem com eles. A eficiência tende a diminuir o emprego na mesma área desses produtos. Até 2012, nenhuma medida de políticas públicas paliativas foi pensada referente a essa questão.

Atualmente, podemos encontrar várias discussões a respeito da regulamentação e saúde do trabalhador da nanotecnologia, como, por exemplo, Gomes e Engelmann (2018), Ortigara (2020), Martins e Engelmann (2022) argumentam que há a necessidade de adoção de normas técnicas ISO que contenham requisitos, princípios e diretrizes coerentes com princípios jurídicos a fim de permitir que desenvolvedores de nanotecnologias promovam um desenvolvimento orientado à proteção de direitos humanos. As normas precisam colocar o ser humano e o meio ambiente como destinatários dos benefícios do nanodesenvolvimento.

Em resumo, é indispensável pensar a nanotecnologia como um complexo arranjo de diversas técnicas e modos de saber-fazer, munida de representações simbólicas, visões de mundo, instituições, regras e normas que vão além de potenciais danos derivados do bom ou mau uso de seus artefatos. A nanotecnologia ilustra a condição e a transformação humana e, como vimos, desperta controvérsias comuns a outros avanços recentes (Pyrrho; Schramm, 2016).

No contexto do ensino, na qual a Nanotecnologia está contextualizada, podemos destacar o trabalho de Santos, Silva e Batinga (2012) que elaboraram uma sequência didática com o tema Nanotecnologia para o ensino do conteúdo de colóides, considerando os aspectos conceituais, fenomenológicos,

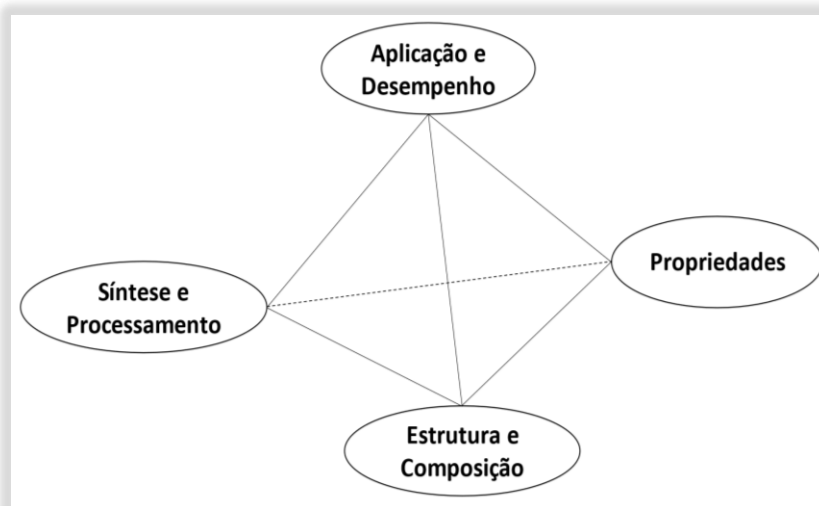
questões sociais e tecnológicas, por meio da metodologia de resolução de problemas.

Concluimos que a abordagem da Nanotecnologia pela perspectiva CTS pode trazer aos estudantes a reflexão e conscientização necessária e formação crítica quanto às aplicações das nanotecnologias na sociedade, como mostram estudos de Rebello e colaboradores (2012), Fernandes, Nascimento e Oliveira (2018), Maria (2020) e outros.

6.4.2 A Química de Nanomateriais

Segundo Zarbin (2007), são variados os ramos do conhecimento relacionados com os materiais (Química, Física, Engenharias, Metalurgia, Geologia, Biologia, etc.). Entretanto, a “Química” e “Materiais” estão diretamente relacionados, em uma integração macro e submicroscópica da matéria, caracterizando os materiais e suas propriedades úteis para cada função, como representado na Figura 38, a seguir, na qual a Química ocupa o centro da pirâmide:

Figura 38: Relação entre aplicação, estrutura, propriedades e preparação de materiais



Fonte: Adaptado de Zarbin (2007, p. 1469).

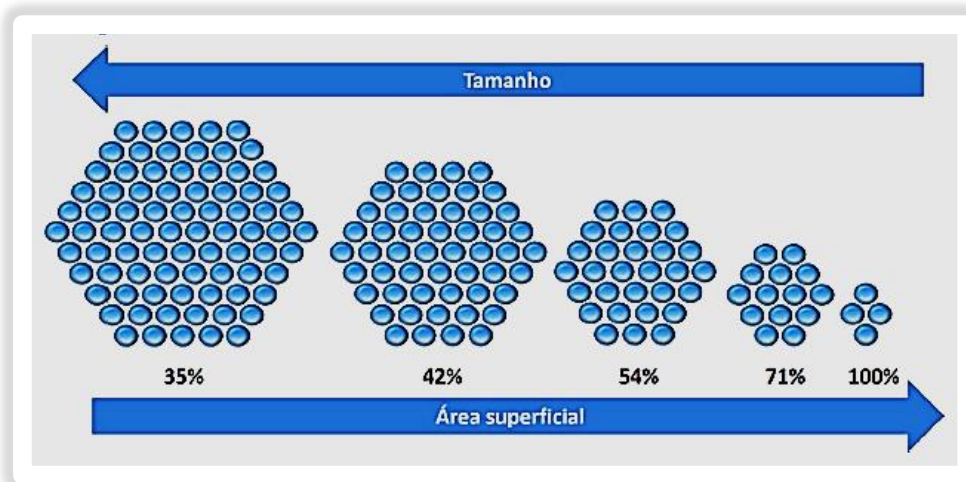
Desse modo, a “Química de Materiais” se dedica à síntese (preparação), caracterização, compreensão de propriedades e estudo de aplicações de compostos que possuem alguma função em potencial. Além da criação de novas oportunidades de compostos ou sistemas, esse ramo da Química busca por melhorias significativas em tecnologia já existentes (Zarbin, 2007).

Mas qual seria o grande alicerce da N&N para a Química dos

Materiais? A resposta parece simples: “o fato de que as propriedades dos materiais, da maneira pela qual as conhecemos, são fortemente dependentes do tamanho das partículas deste material” (Zarbin, 2007, p. 1472). Desse modo, as propriedades óticas, elétricas, magnéticas, catalíticas e de transporte dos materiais manifestam-se a partir de um determinado tamanho (crítico) de partículas (Zarbin, 2007). Portanto, a N&N permitem a evolução do conceito de substância para uma visão mais interacional ou relacional de suas propriedades, uma noção de maior complexidade conceitual, compatível com a concepção de substância do século XXI e que, portanto, é relevante ser explorada pelo Ensino de Química.

Um dos avanços da nanotecnologia é a possibilidade de mudança das propriedades físico-químicas devido ao aumento de área superficial, conforme representado na Figura 39. As propriedades como o ponto de fusão, molhabilidade, superparamagnetismo, condutividade elétrica e térmica, atividade catalítica, absorção e emissão de luz, mudam em função do tamanho na escala nanométrica (Jeevanandam *et al.*, 2018).

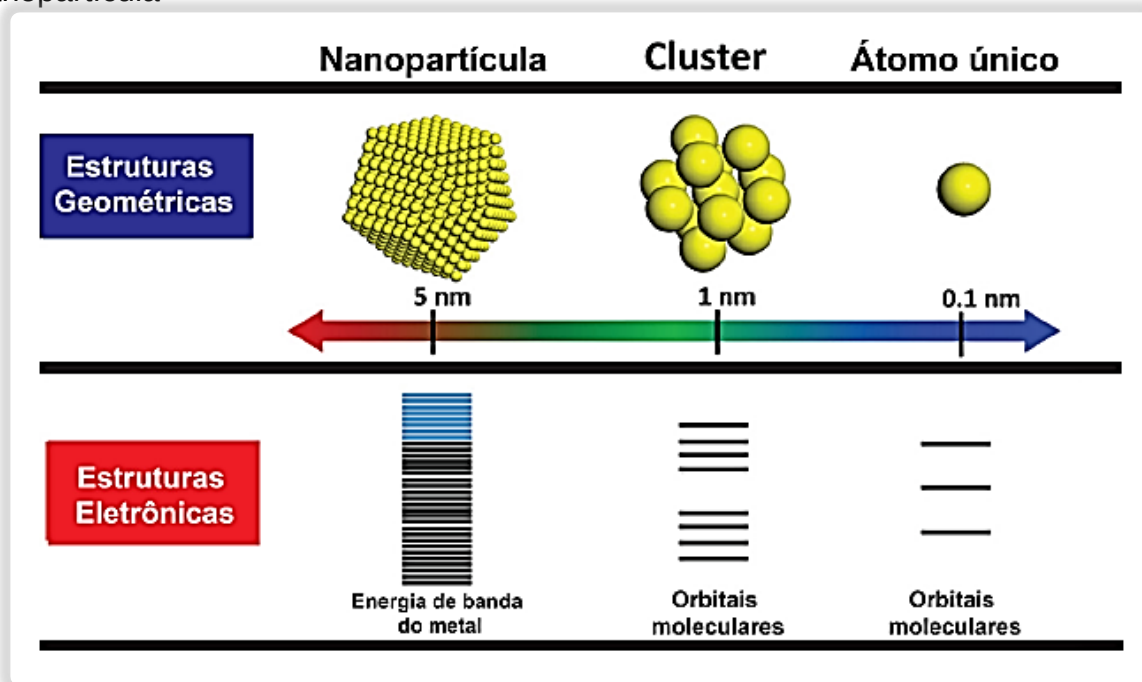
Figura 39: Relação entre tamanho, área superficial e percentual de átomos disponível na superfície de um nanomaterial



Fonte: Adaptado de Andrade Neto, Carneiro e Fachine (2020, p. 13).

Segundo estudos de Haruta (2011), Liu e Corma (2018) as nanopartículas servem como uma ponte entre os materiais macroscópicos e moléculas e estruturas ao nível atômico/molecular. A Figura 40 ilustra a mudança de propriedade eletrônica que as partículas de ouro sofrem em função de sua organização estrutural e tamanho (Andrade Neto; Carneiro; Fachine, 2020).

Figura 40: Estruturas geométricas e eletrônicas de único átomo, cluster e nanopartícula



Fonte: Andrade Neto, Carneiro e Fachine (2020, p. 14).

Lembrando que o termo “cluster” é usado para designar agregados de nanopartículas de composição mono ou multielementar com dimensões na escala nanométrica abaixo de 2 nm. As nanopartículas com um claro ordenamento de átomos ou íons são denominadas de nanocristalitos (Andrade Neto; Carneiro; Fachine, 2020).

6.4.2.1 Estratégias científico-tecnológicas e a Química Supramolecular

“Sabemos há um bom tempo que todas as coisas são feitas de átomos e agora estamos aprendendo a fazer as coisas a partir dos átomos.” (Schulz, 2005, p. 61). Trabalhar com partículas em pequeníssimas dimensões é um dos grandes desafios da Ciência e Tecnologia. Para isso, a Nanotecnologia desenvolveu dois caminhos para a síntese de nanomateriais: **Top-Down** (de cima para baixo) e **Bottom-Up** (de baixo para cima) (Schulz, 2005).

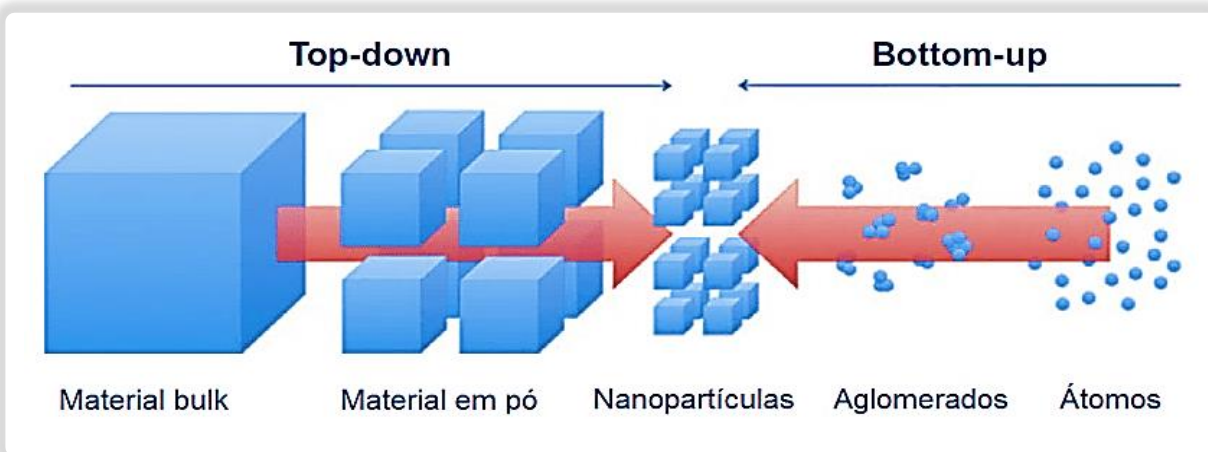
Conforme Araki *et al.* (2014), a estratégia *Top-Down* é responsável pelo contínuo aperfeiçoamento dos processos litográficos de miniaturização, se destacando como um grande sucesso na indústria eletroeletrônica. Esse conjunto de aperfeiçoamento foi possível devido ao uso de feixes de radiação ultravioleta (UV), de raios-x e de elétrons que levaram ao aumento da resolução para a escala

submicroscópica e nanométrica. Um exemplo disso é o processo de “esculpir” circuitos minúsculos nos *chips* de silício (Schulz, 2005).

Os métodos de automontagem e montagem hierárquica, que caracteriza a nanotecnologia e a estratégia *top-down*, permitem o preparo de nanomateriais e de nanossistemas com funcionalidades que dependem das propriedades dos componentes e de suas interações, além da composição química média desses. Assim, os ambientes para a manipulação dessa tecnologia necessitam ser muito limpos, pois a presença de uma partícula de poeira poderá danificar todo o conjunto de dispositivos (Araki *et al.*, 2014).

Segundo Khizroev *et al.* (2002), Ross (2003) e Biswas *et al.* (2012), a fabricação de nanomateriais pela abordagem *top-down* é feita a partir de um material *Bulk* dividido em pedaços menores até atingir a escala desejada, similar as técnicas de nanolitografia (técnica cara e de baixo volume de produção) (Figura 41). No caso da estratégia *bottom-up*, o processo é contrário. Cao e Liu (2008) e Chen e Liu (2011) comentam que a nanofabricação por *bottom-up* desperta grande interesse nos últimos anos, por ser uma técnica mais barata e permitir produção em larga escala (Chrischon, 2016).

Figura 41: Abordagens de fabricação *top-down* e *bottom-up* de nanomateriais



Fonte: Adaptado de Chrischon (2016, p. 52), retirado de Vázquez (2015).

A estratégia *bottom-up* utiliza o nível supramolecular e hierárquico de moléculas, biomoléculas, polímeros, semicondutores e dielétricos, metais, óxidos metálicos, etc. associados a métodos de modificação e funcionalização de superfície (automontagem, montagem coordenativa, montagem eletrostática, adsorção, deposição e filmes moleculares, etc.) (Araki *et al.*, 2014). As estruturas nanométricas

como nanobastões, nanofios (NWs) e nanotubos (NTs), por exemplo, podem ser fabricados por ambos os métodos *top-down* e *bottom-up* (Chrischon, 2016).

Assim sendo, a área da **Química Supramolecular** tem se destacado nos últimos anos, por se tratar de uma química além das moléculas, cuja essência e fundamentos se baseiam no fato das propriedades dos sistemas serem dependentes das interações eletrônicas, elétricas, de *spin*, etc. (Araki *et al.*, 2014). Portanto, entendemos que essa visão interacional das propriedades físico-químicas pode ser mais bem explorada no Ensino de Química por meio da Química Supramolecular.

Sabemos que a Química também foca nos compostos considerando as interações eletrônicas, então, qual a diferença da Química Supramolecular? Antes de responder à questão, imaginemos a possibilidade de construir sítios capazes de interagir com os substratos, por dois ou mais grupos, por ligações coordenadas metal-ligante, ligações iônicas, de hidrogênio e de Van der Waals? Imagine a aplicabilidade disso, por exemplo, nos sistemas biológicos? (Araki *et al.*, 2014).

A Química Supramolecular é especializada no controle da organização atômico-molecular e a estrutura hierárquica dos materiais nanométricos, seletivamente, ou seja, os sistemas supramoleculares são formados por componentes ativos (responsáveis pela execução das ações, levando a novas funcionalidades) e estruturais. Dentre as várias funcionalidades estão as propriedades catalíticas e eletrocatalíticas, de transferência vetorial de energia e de elétrons, e feitos alostéricos, de armazenamento e processos de informações, dentre outros. Para isso, são necessários blocos de construção com a incorporação de grupos ativos e grupos de ponte com determinado grau de interação eletrônica (Araki *et al.*, 2014).

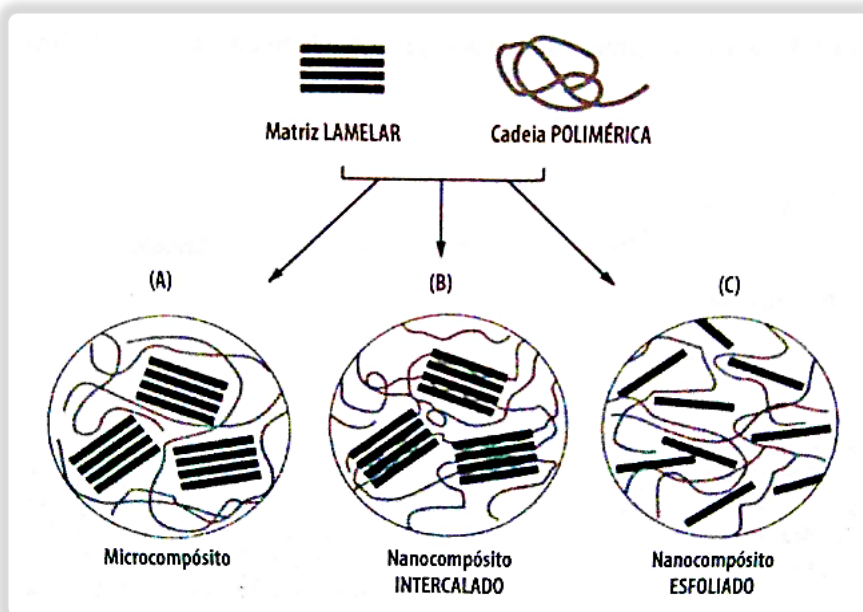
Conforme Araki *et al.* (2014), uma das grandes vantagens da química de coordenação é a possibilidade de automontagem e controle de força de interação em função das propriedades ácido-bases dos metais ligantes, maior diversidade de propriedades e geometrias, de ligações, eletrônicas, termodinâmicas e cinéticas, conferindo maior versatilidade para o *dsing* de nanomateriais funcionais. Os nanomateriais podem ser classificados em: nanocompósitos (Perez-Just *et al.*, 2005; Gargalaka *et al.*, 2012) (gerados pela incorporação de nanoativos com propriedades específicas, tais como os polímeros); e junções e interfaces funcionais (Timm *et al.*, 2010; Zamarion *et al.*, 2008; Parussulo *et al.*, 2016) (promovem processos dinâmicos).

As estratégias supramoleculares permitem a automontagem hierárquica de nanomateriais utilizando o ajuste de forças e de labilidade/inércia das

ligações com seleção de metais e ligantes, considerando o estado de oxidação do íon metálico, número de átomos coordenantes e o impedimento estérico dos sítios de coordenação. As junções e interfaces moleculares são estruturas organizadas com arranjos adequados e de componentes específicos resultando em propriedades físico-químicas bastante estratégicas. Nesse sentido, a nanotecnologia molecular visa aumentar a funcionalidade e a complexidade de novos materiais, estruturas e interfaces (Araki *et al.*, 2014).

De acordo com Araki e colaboradores (2014), os nanocompósitos podem ser produzidos por meio da incorporação de nanoaditivos com propriedades específicas em matérias tais como os polímeros. Entretanto, um mesmo nanoaditivo lamelar pode produzir os microcompósitos, nanocompósitos intercalados ou esfoliados, como representa a Figura 42:

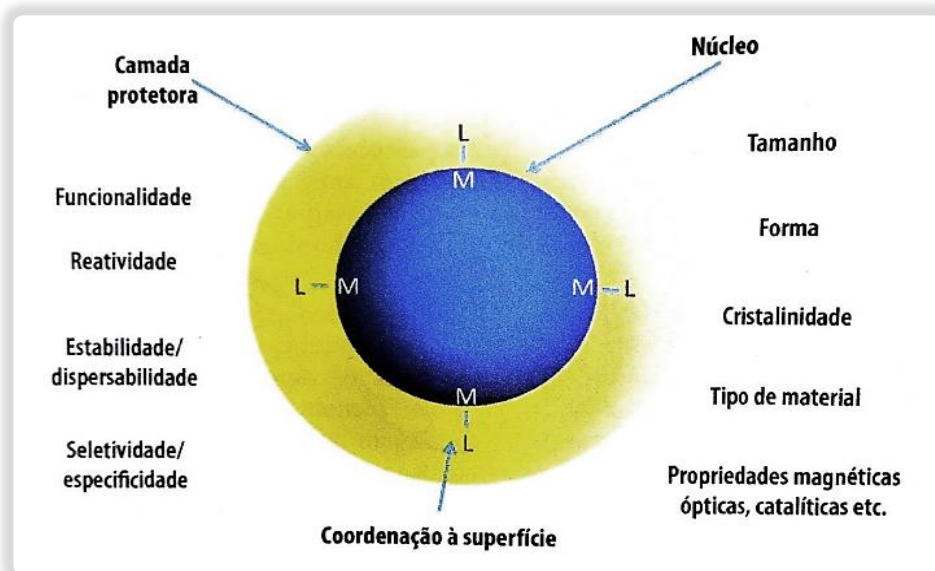
Figura 42: Esquema mostrando a incorporação de um nanoaditivo numa resina polimérica gerando (A) microcompósitos, (B) nanocompósitos intercalados e (C) nanocompósitos esfoliados



Fonte: Araki *et al.* (2014, p. 05).

A montagem coordenativa tem se mostrado uma estratégia bastante interessante no controle da morfologia das nanopartículas e das suas funcionalidades. Se considerarmos as nanopartículas como gigantes íons metálicos com grande número de sítios de ligações, as propriedades dos núcleos metálicos passam a depender não apenas do elemento, de seu estado de oxidação e dos ligantes coordenados, mas também do tamanho, forma e da fase cristalina (Araki *et al.*, 2014).

Figura 43: Esquema mostrando o núcleo e a camada molecular protetora de nanopartículas, e as características que podem ser modificadas para gerar novos nanomateriais



Fonte: Araki *et al.* (2014, p. 06).

6.4.2.2 Propriedades e Aplicações de Alguns Nanomateriais

Nanomateriais, o “fabuloso mundo novo” de materiais com dimensões que variam entre as das moléculas e as das partículas submicrométricas que apresentam propriedades bastante distintas das moléculas e dos sólidos cristalinos típicos, conforme o tamanho e superfície das partículas (Martins; Trindade, 2012). O interessante é que o tamanho crítico das partículas é diferente para cada propriedade almejada do material. Por exemplo, para as propriedades ópticas o tamanho crítico pode ser de 20 nm, por outro lado, as propriedades magnéticas necessitam de uma escala de tamanho de 80 nm. Além disso, para uma mesma escala, a propriedade pode ser diferente para cada material. E quando as partículas estão abaixo do tamanho crítico, as propriedades passam a depender das formas das partículas, se esféricas ou bastão (Zarbin, 2007).

As propriedades da matéria em nanoescala se apresentam substancialmente distintas em comparação com as partes em massa. Um exemplo disto é a solução de ouro que se mostra amarela quando a granel e parece roxa ou vermelha quando no nível de nanoescala (Varghese *et al.*, 2019; Roduner, 2006). Outro exemplo é o boro, na forma granel não é considerado um metal, mas sua rede bidimensional (borofeno) se destaca como um excelente metal (Mannix *et al.*, 2015). No caso das propriedades mecânicas, os nanomateriais são cada vez mais

melhorados com o aumento da perfeição cristalina ou redução dos defeitos cristalográficos (Tomar; Jyoti; Kaushik, 2020).

Há uma variedade de propriedades únicas dos nanomateriais, no entanto, Baig, Kammakakam e Falath (2021) destacam: Área de Superfície — Magnetismo — Efeitos Quânticos — Alta condutividade térmica e elétrica — Excelentes propriedades mecânicas — Excelente suporte para catalisadores — Atividade antimicrobiana. Para Fileti, Malaspina e Tada (2014), os nanomateriais possuem três notáveis características que destacamos no Quadro 23:

Quadro 23 Algumas Características e funcionalidades dos nanomateriais

Características	Funcionalidades
1 — Capacidade de mudança drástica de propriedades, em consequência direta de seus tamanhos de partículas;	— Um material em escala nanométrica pode assumir propriedade bastantes distintas da aquelas que esse mesmo material apresentaria em escala macroscópica (Ozin Arsenault; Cademartiri, 2008, Steed; Gale, 2012; Cao; Wang, 2011 <i>apud</i> Fileti, Malaspina e Tada, 2014). Por exemplo, uma moeda de ouro não é magnética, todavia, suas partículas de ouro em nanoescala podem apresentar magnetismo (Yang <i>et al.</i> , 2008). Um mesmo metal pode ser um semicondutor ou um isolante dependendo da sua escala.
2 — Sua razão superfície/volume é muito maior do que seria na escala macroscópica;	— Implicações quânticas importantes para todos os processos que ocorreram na superfície do material, como catálise, detecção e fluorescência (Cao; Wang, 2011; Zhang, 2009 <i>apud</i> Fileti, Malaspina e Tada, 2014).
3 — Permite a montagem átomo-átomo pelo método <i>bottom-up</i> .	— Possibilidade de auto-organização numa nanoestrutura final para formar, com precisão, estruturas supramoleculares complexas (Gale, 2012; Lehn, 1995; Steed; Turner; Wallace, 2007 <i>apud</i> Fileti, Malaspina e Tada, 2014).

Fonte: Adaptado de Fileti, Malaspina e Tada (2014).

Haja vista que os nanomateriais existem na natureza muito antes de serem identificados e transformados pela humanidade, Noya e colaboradores (2015) consideram que os nanomateriais podem ser identificados quanto a sua origem, como descrito no Quadro 24:

Quadro 24: Origens dos nanomateriais

<i>Nanomaterial</i>	<i>Origem</i>
1 — Naturais	— Criados pela própria Natureza e preferencialmente encontrados na atmosfera, como exemplos: nanopartículas provenientes de fumarolas vulcânicas ou dois terremotos e outros movimentos sísmicos; os aerossóis de origem marinha, provocados por imersão na atmosfera de sais marinhos, etc.
2 — Acidentais	— São originados por ação humana não intencionais, como a poluição do ar. Deveríamos mencionar: contaminantes sólidos, como partículas feluxe, provenientes de centrais térmicas ou derivadas da combustão de combustíveis fósseis; partículas sólidas de fábricas de cimento, alumina-alumínio e outros; à transformação na atmosfera, por oxidação catalítico com ozônio, dois poluentes gasosos comuns (NOx, SOx, COx, etc.) convertidos em partículas de tamanhos muito maiores; e alguns outros contaminantes.
3 — Fabricados	— Esses novos materiais são derivados e/ou elaborados pelos humanos e sintetizados para fins práticos e são de dois tipos: orgânicos e inorgânicos. O primeiro grupo é considerado os nanomateriais derivados do carbono (grafites, <i>buckminsterfullerenos</i> , grafenos, etc.) e certas estruturas poliméricas com características nanométricas. Dentre os nanomateriais inorgânicos, devemos apresentar alguns metais, óxidos metálicos e argilas nanométricas, bem como pontos quânticos, como nanopartículas de ouro, etc.

Fonte: Adaptado de Noya *et al.* (2015, p. 02).

André (2022) complementa que as nanopartículas são classificadas segundo a forma, tamanho e propriedades físico e químicas em: nanopartículas de carbono, metal, cerâmicas, semicondutores, poliméricos e a base de lipídios. Vejamos alguns exemplos de nanomateriais.

A produção de nanopartículas pode ser observada em estudos voltados para o Ensino de Química, como, por exemplo: nanopartículas de prata (Simomukay, 2021; Moraes, 2020; Brito *et al.*, 2021); nanopartículas de ouro (Santos, Matos; Mazali, 2022; Sarto, 2021); nanopartículas de óxido de ferro (Lavayen *et al.*, 2021); nanopartículas magnéticas (Rebello *et al.*, 2012; Maria *et al.*, 2021).

6.4.2.2.1 Exemplos de Nanomateriais à base de Carbono

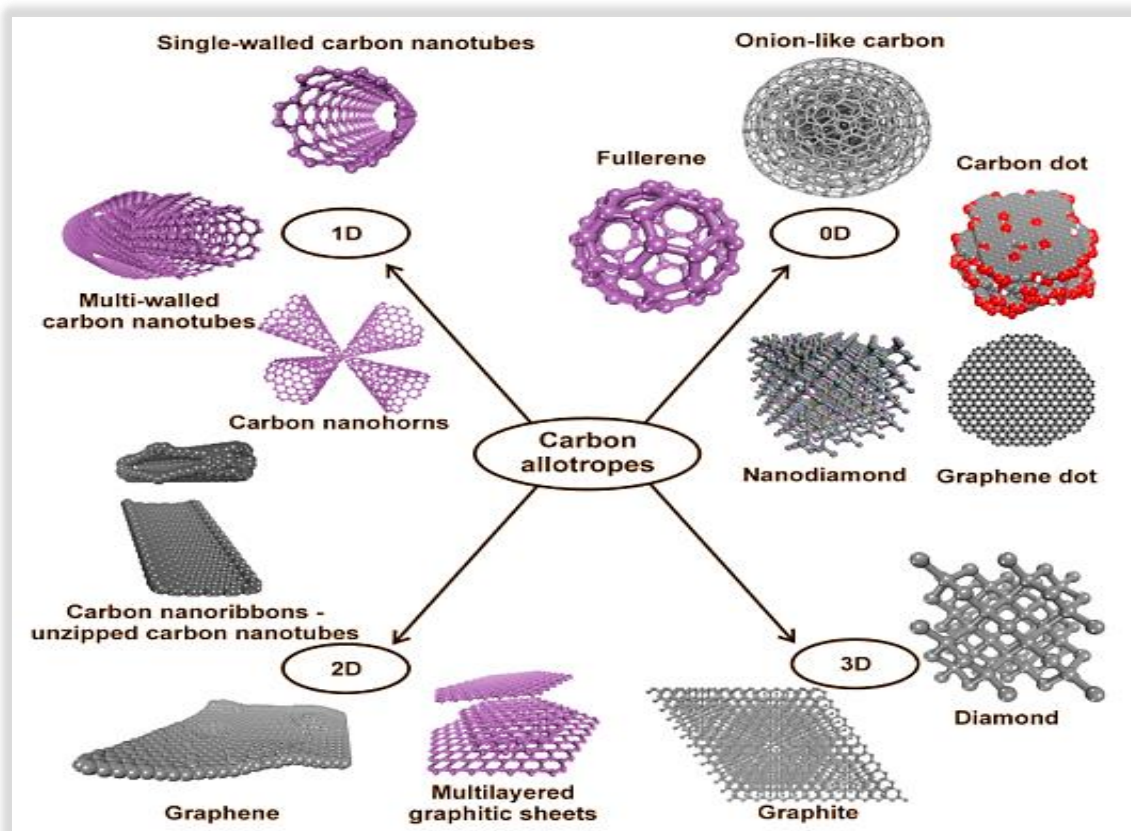
A partir do ano de 1940, a comunidade científica despertou para um grande interesse nas investigações de carbono presentes no grafite e demais formas materiais, com propriedades estruturais, eletromagnéticas e mecânicas que conferem ao material a estabilidade a temperatura ambiente, muito laminar, da espessura de um átomo (Lozano, 2014). O carbono e suas formas alotrópicas estão presentes em um variado número de processos tecnológicos que mudaram nosso mundo. A transparência e o brilho intenso e a dureza dos diamantes contrastam com o preto do grafite macio, características intrínsecas espetaculares (Alquisira, 2019).

Em se tratando dos nanomateriais de carbono, suas propriedades são determinadas pelo tamanho e pela morfologia, originando uma sintonia em suas

propriedades físico-químicas. “Os nanomateriais podem apresentar dimensões, em nanoescala, em três direções (nanopartículas), duas direções (filmes ou placas de espessura nanométrica), uma direção (nanofios) e direção zero (pontos quânticos)” (André, 2022, p. 43).

A ciência do carbono em escala nano possui dois primeiros grandes exemplos, os fulerenos (1985) e os nanotubos de carbono (1991) (Souza Filho; Fagan, 2007). Atualmente, a família dos nanomateriais de carbono é variada, incluindo nanotubos, fulerenos, grafeno, nanochifres de carbono, pontos quânticos baseados em carbono e muitos outros (Baig; Kammakakam; Falath, 2021). A Figura 44 fornece uma visão geral dos carbonos nanoalótropos, incluindo estruturas de dimensão zero (fulerenos, carbono tipo cebola, pontos de grafeno, pontos de carbono e nanodiamantes), nanotubos de carbono unidimensionais de parede única e de paredes múltiplas e nanochifres de carbono, e as estruturas bidimensionais como grafeno, grafite multicamadas nanofolhas e nanofitas de grafeno (Georgakilas *et al.*, 2015).

Figura 44: Classificação das formas alotrópicas do carbono conforme a dimensionalidade



Fonte: Adaptado de Georgakilas *et al.* (2015, p. 4805).

Em 1985, os três químicos (Prêmio Nobel de Química de 1996,) Harold W. Kroto, Robert F. Curl e Richard E. Smalley anunciaram a evidência do buckminsterfulereno (C_{60}), mais uma forma alotrópica de carbono, sendo a primeira molecular. Esse nome foi atribuído devido à forma da molécula, como uma bola de futebol e intrigou a comunidade científica da época. Mas logo em 1990, foi possível preparar fulerenos em quantidades macroscópicas, tornando o foco de uma área de pesquisa muito ativa (Rocha Filho, 1996). Do ponto de vista químico, os fulerenos são moléculas constituídas por 60 átomos de carbono ligados a três outros, formando um poliedro com faces hexagonais e pentagonais. Posteriormente, demais fulerenos foram evidenciados (C_{70} , C_{76} , C_{240} , C_{540} ...) (Melo, 2003). Os fulerenos se destacam entre as demais formas alotrópicas de carbono (grafite, diamante e nanotubos) por serem uma forma molecular de carbono (Santos *et al.*, 2010).

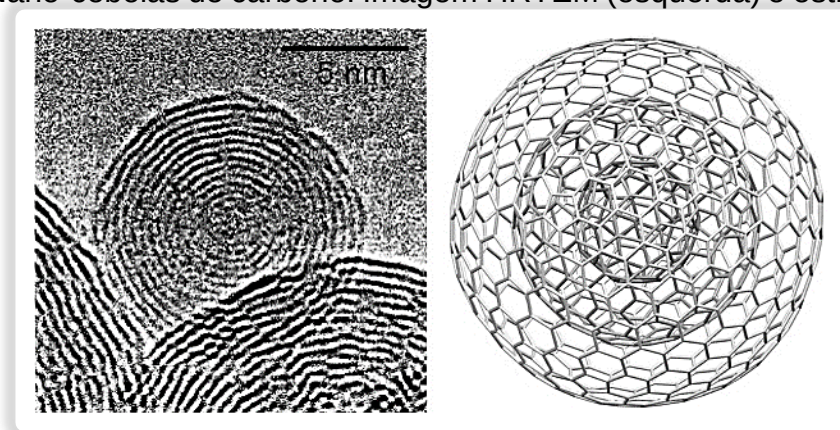
Os **Fulerenos** são sólidos pretos e, quando dissolvidos em solventes apropriados, se tornam soluções coloridas conforme a quantidade de carbonos na molécula (C_{60} , magenta; C_{70} , vinho; C_{76} , amarelo/verde). Possuem propriedades fotofísicas e eletroquímicas importantes (Rocha Filho, 1996). Desse modo, os fulerenos podem ser usados na ciência dos materiais como limitadores óticos (materiais que limitam a intensidade de luz) potencialmente úteis para proteger sensores óticos (incluindo o olho humano) dos raios lasers, por exemplo. Na literatura é possível encontrar vários outros exemplos de aplicação de derivados fullerênicos em óptica não linear, como a síntese de C_{60} -tetratíafulvalenos (Kreher *et al.*, 2002) de fulerodendrímeros (Rio *et al.*, 2002) e de C_{60} -oligo-p-fenilenoetilenos (Zhao *et al.*, 2005) dentre outros. Outra importante utilidade dos fulerenos são as aplicações fotovoltaicas (fabricação de células solares), devido a sua capacidade semicondutora (Santos *et al.*, 2010).

Também, alguns estudos com fulerenos demonstraram que a obtenção de diamante a partir de C_{60} é um processo mais simples de que a obtenção de diamante a partir de grafite, devido aos orbitais moleculares (orbitais híbridos no C_{60} são intermediários aos sp^2 , do grafite, e aos sp^3 , do diamante). Todavia, C_{60} é uma molécula extremamente tóxica para tecidos vivos, por conseguir transmitir energia extra para outras moléculas. Devido a esse potencial de toxicidade, alguns pesquisadores investigam a possibilidade de usar essa propriedade do C_{60} como tratamento de algumas formas de câncer e outras aplicações biológicas (terapia fotodinâmica, atividade neuroprotetora, atividade antimicrobiana, antiviral, etc.)

(Rocha Filho, 1996).

Uma das formas mais fascinante de carbono são os fulerenos multicamadas, denominados de nano-cebolas de carbono ou carbono tipo cebola, que podem revelar propriedades físico-químicas incomuns e grande potencial tecnológico nas áreas de eletrônica, óptica, catálise, energia, eletroquímica, hiper lubrificantes, sensores, aplicações biológicas e ambientais (Mykhailiv; Zubyk; Brzezinska, 2017). A Figura 45 mostra uma imagem de microscopia eletrônica de alta resolução (HRTEM) e a representação estrutural do carbono cebola.

Figura 45: Nano-cebolas de carbono. Imagem HRTEM (esquerda) e estrutura (direita)



Fonte: Camisasca e Giordani (2017), adaptado de Urgarte (1995).

Em resumo, os fulerenos, principalmente a molécula de C_{60} , configura um campo de pesquisa bem estabelecido e promissor em muitas áreas da Química, pois muito já se conhece acerca do potencial e das limitações desta classe de nanocompostos e das aplicações para seus derivados quimicamente modificados (Santos *et al.*, 2010).

Os **Nanotubos** são fulerenos com outra estrutura. A publicação do método de síntese de quantidades macroscópicas de fulerenos, levou cientistas em todo o mundo a pesquisarem diferentes aspectos dos fulerenos, em meados de 1991. O cristalógrafo japonês Sumio Iijima, especialista em ciência do carbono, se indagava se haveria outros tipos de moléculas de carbono formadas por esse método de síntese. Após modificações do método, Iijima observou a formação de um depósito negro sobre o eletrodo negativo (cátodo), cuja análise revelou a existência do que hoje se denomina nanotubos (Rocha Filho, 1996).

Do ponto de vista estrutural, os nanotubos de carbono podem ser classificados em dois tipos com alta perfeição: os nanotubos de carbono de parede

simples (NCPS) — considerados uma única folha de grafite enrolada sobre si mesma para formar um tubo cilíndrico, e os nanotubos de carbono de parede múltipla (NCPM) — compreendem um conjunto de nanotubos concêntricos. Suas excepcionais propriedades eletrônicas podem depender do seu diâmetro e ângulo de helicidade. As aplicações dos nanotubos de carbono incluem aditivos para materiais poliméricos, aplicações biotecnológicas, adsorventes de metais pesados em efluentes, armazenamento de hidrogênio e suporte em catalizadores (Herbst; Macêdo; Rocco, 2004).

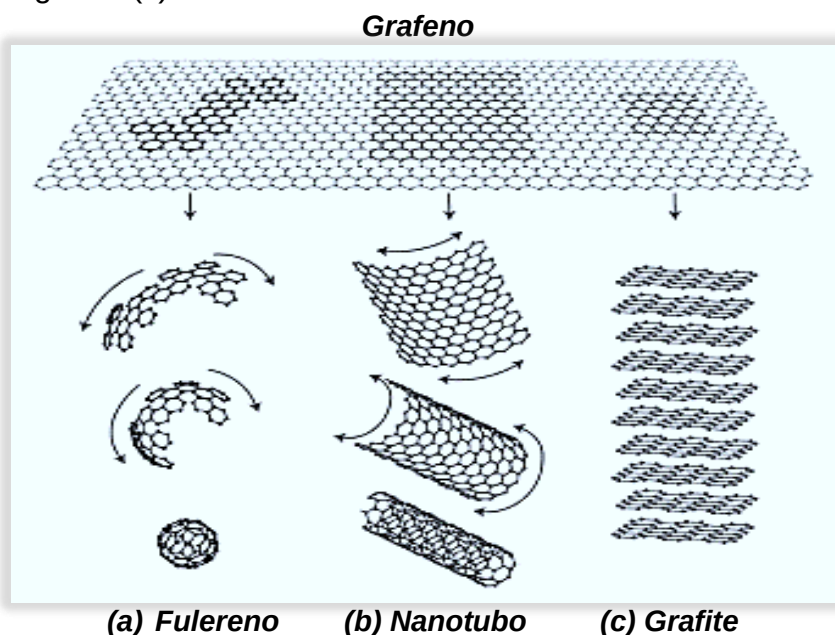
O **Grafeno** é uma alotropia do carbono, cuja organização atômica consiste em um mosaico hexagonal plano (como um favo de mel), na qual os átomos de carbono se ligam covalentemente (Lozano, 2014). Teoricamente, a estrutura do grafeno foi concebida há mais de 70 anos com os estudos do grafite, por cristalografia de raios-x (Wallace, 1947). Porém, foi obtido em laboratório em 2004 por Geim e Novoselov. Ao polirem pedaços de grafite e aderirem a uma fita adesiva, aplicaram pressão nessas e conseguiram estampar em um vidro microscópio, um mícron muito fino deste composto, para analisar suas características. Assim, Geim e Novoselov conseguiram folhas cada vez mais finas até chegarem ao grafeno. Se trata de um nanomaterial com um átomo de espessura, com camadas de átomos de carbono bastante compactas em forma de hexágonos. É possível obter o Grafeno a partir do grafite e da superfície do carboneto de silício (SiC) (Lozano, 2014).

Algumas das propriedades encontradas no Grafeno são: cristal bidimensional mais fino da natureza; possui poucos defeitos, rigidez excepcional e capacidade de se expandir muito mais do que qualquer outro material cristalino; é o único material constituído por uma única camada de átomos (que podem ser sintetizados e estudados em detalhes); apresenta propriedades eletrônicas incomuns que podem ser modificadas externamente (conforme números de elétrons) e pode suportar altas tensões de deformação (suas partículas podem suportar átomos de metais pesados, como ouro e níquel, sem deformar) (Lozano, 2014).

As aplicações do grafeno continuam em estudos, mas alguns especialistas já apontam usos nas áreas da medicina, eletrônica, indústria de matérias super-resistentes, aeronáutica, etc. Na área de eletrônica, foi observado que o grafeno processa dados dez vezes mais rápido que o silício, sendo possível a construção de telas de computador *touchscreen* muito finas, transparentes e roláveis. O grafeno apresenta propriedades como sua dureza, suas dimensões, sua eficiência e sua

economia em consumo de energia, acima de muitos materiais (Lozano, 2014). Em termos estruturais, os fulerenos, os nanotubos e a grafite são derivados da estrutura do grafeno (Geim; Novoselov, 2007) conforme mostra a Figura 46:

Figura 46: Grafeno como um bloco de construção de um fulereno (a), carbono nanotubos (b) e grafite (c)



Fonte: Adaptado de Georgakilas *et al.* (2015, p. 4781).

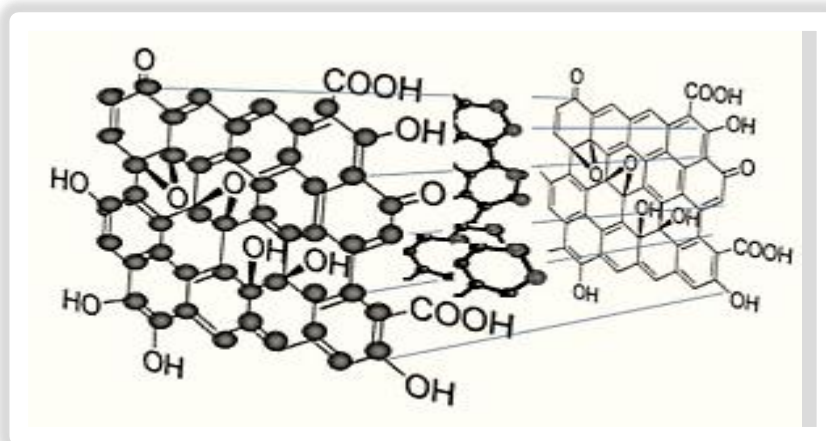
Portanto, o Grafeno é uma matriz para a formação de materiais de grafite de diferentes dimensionalidades. No grafeno, os átomos de carbono são tri-coordenados (hibridização sp^2), no grafite há primordialmente ligações Inter atômicas fortes, intra-planares e inter-planares (Van der Waals) (Lima, 2012).

Os **Nanochifres de Carbono** são constituídos por um arranjo de nanotubos de carbono em estruturação cônica (forma de chifre), que podem ser utilizados, por exemplo, nos eletrodos das pilhas, aumentando em 10 vezes o rendimento (Vieira, 2009). Os nanochifres (*nanohors*) de carbono foram evidenciados em 1999, aumentando as expectativas em muitos campos tecnológicos. Apresenta alta propriedade de bloqueio de luz comparado ao carbono amorfo e potencial tecnológico para aplicações de energia solar. Uma das vantagens dos nanochifres está na sua não toxicidade comprovada, característica atrativa para aplicações que requerem manuseio de nanopartículas ou em casos de possíveis vazamentos acidentais no ambiente (Sani *et al.*, 2015).

Os Pontos Quânticos (PQs) ou *Quantum Dots* são conhecidos como

semicondutores nanocristalinos (NCs), com propriedades óticas características, promissores nas aplicações em LED, por exemplo (Machado *et al.*, 2015; PONTES, 2022). Atualmente, com o grande interesse em nanomateriais a base de carbono, os **Pontos Quânticos de Carbono** (PQCs ou PC) são de grande interesse para os estudos da área. Segundo Li *et al.*, (2012), a literatura nos revela que os PQCs foram obtidos de forma “acidental” em 2004, durante um processo de purificação de nanotubos de carbono de parede única por eletroforese. Os materiais nanoestruturados apresentam pelo menos uma dimensão de tamanho na ordem de nanômetros: grafite — tridimensional; grafeno e óxido de grafeno — bidimensional; nanotubos de carbono — unidimensional. Mas no caso dos pontos quânticos de carbono a dimensão é zero, com nanopartículas quase esféricas inferior a 10 nm (Peng *et al.*, 2017; Zheng *et al.*, 2015).

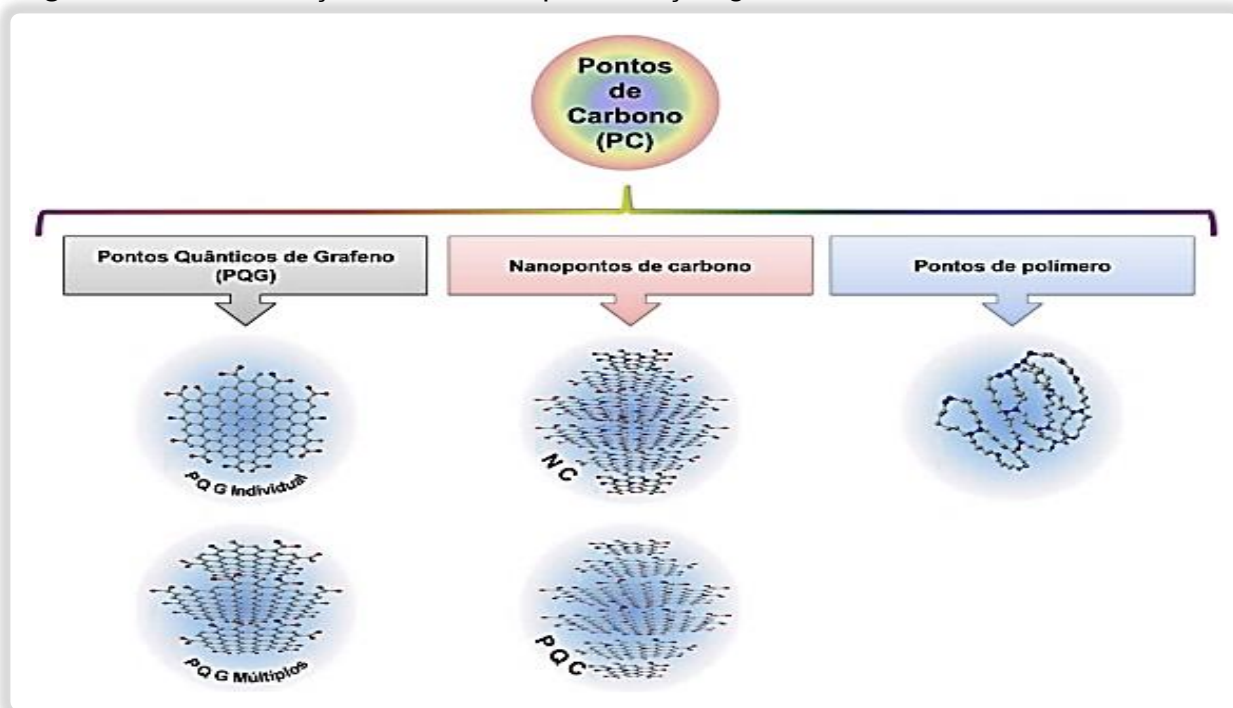
Figura 47: Esquema em ilustração 3D, proposto para os Pontos Quânticos de Carbono



Fonte: Adaptado de Demchenko e Dekaliuk (2013, p. 04).

Cao e colaboradores (2013) argumentam que os pontos quânticos de carbono (também denominados de efeito de fotoluminescência) são considerados “defeitos” estruturais que podem ocorrer em nanotubos e demais nanopartículas de carbono. Segundo Zhu e colaboradores (2015), os PQCs são divididos em três tipos: Pontos Quânticos de Grafeno (PQG, folhas de grafeno), nanopontos de carbono e pontos de polímero (agregados de polímeros) (Pontes, 2022), representados na Figura 48.

Figura 48: Classificação dos PC e representação genérica de cada um deles



Fonte: Adaptado de Pontes (2022, p. 28).

Por permitirem rotas e precursores de baixo custo e ao seu caráter não tóxico, a síntese de Pontos Quânticos de Carbono tem se destacado em aplicações biológicas e a cada dia aumenta seu impacto em aplicações tecnológicas, biotecnológicas e ambientais, em comparação com os demais PQs. A partir do tratamento na superfície química (como passivação e dopagem), os PQC's produzem elevados rendimentos quânticos (Machado *et al.*, 2014). Estudos de Duarte (2020) revelam que os PQC's também podem oferecer grandes melhorias na indústria de fibras de carbono.

6.4.2.2.2 Alguns Nanomateriais Inorgânicos

Na Química dos Materiais, os materiais metálicos são constituídos de elementos metálicos (puros ou em combinação, originando as chamadas ligas metálicas), como ferro, cobre, aço, bronze, etc. As características de alta condutividade térmica e elétrica, brilho, maleabilidade, ductibilidade e resistência mecânica resultam da presença de elétrons deslocalizados em sua estrutura. Sendo assim, são muito utilizados como fios condutores (cobre), materiais para sustentação na construção civil (aço), na indústria automobilística, em utensílios domésticos, etc

(Zarbin, 2007).

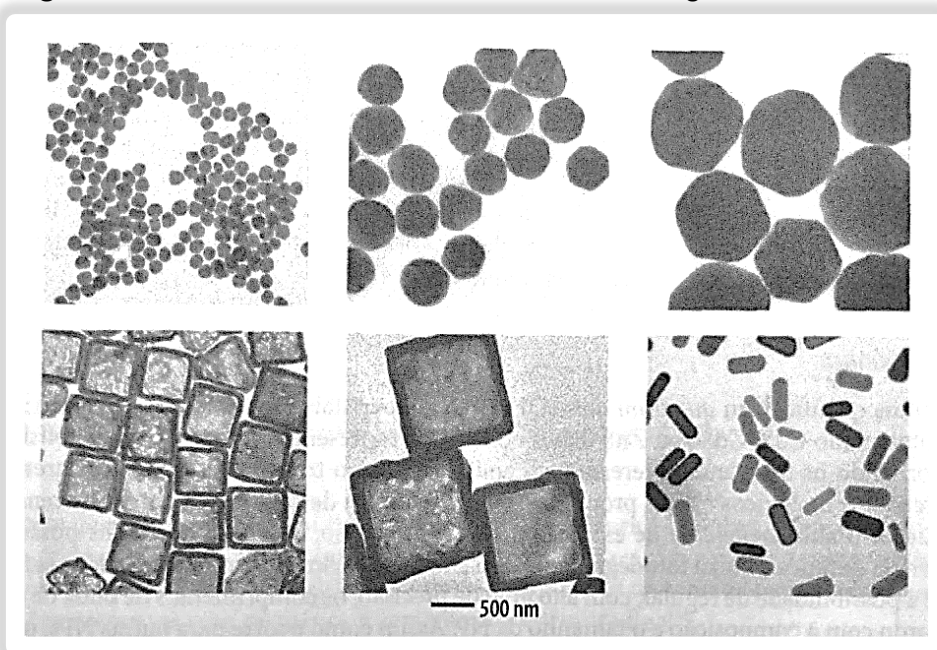
Não é difícil de imaginar o quanto os nanomateriais a base de metais, também conhecidos como **Nanomateriais Inorgânicos**, podem ser úteis em diversas áreas tecnológicas. Segundo estudo de Paul e Sharma (2020), uma das grandes aplicações dos nanomateriais inorgânicos se faz na indústria farmacêutica, devido a suas propriedades bactericidas, como nanocarregadores e outros. De modo geral, os nanomateriais inorgânicos revelam boas propriedades ópticas, térmicas, magnéticas e mecânicas, que como sabemos, podem muitas vezes ser modificadas pela manipulação de suas dimensões na escala nanométrica (Oliveira, 2021). Existem várias classes de nanomateriais inorgânicos e destacaremos alguns a seguir.

➤ **Metálicos**

A síntese de nanopartículas inorgânicas envolvem uma enorme variedade de materiais como ouro, cádmio, zinco, apatita, magnetita e sílica (Fileti; Malaspina; Tada, 2014). As mais conhecidas e utilizadas na história são as nanopartículas de ouro e prata, devido à capacidade de penetrar paredes celulares, por endocitose, e alta biocompatibilidade. Dentre as áreas mais atuais em estudo com **Nanopartículas de Prata** está a produção de antígenos virais, devido a sua comprovada propriedade antiviral para os vírus HIV, da hepatite B, herpes tipo 1, Chikungunya e influenza (Naikoo *et al.*, 2021). No momento, as aplicações das nanopartículas de ouro (NPAu) estão sendo bastante estudadas na eficiência de células voltaicas, fotocatalise, tecnologias de informação, e claro, na biomedicina (Noya *et al.*, 2015).

As **Nanopartículas de Ouro** são formadas pela reação de redução do ácido tetracloroáurico por redutores como fósforo, boro-hidreto de sódio e citrato de sódio (Turkevich; Stevenson; Hillier, 1951). Na reação, ocorre a autoagregação dos átomos de ouro originando um empacotamento hexagonal compacto. As alterações das condições experimentais como a razão das concentrações ácido tetracloroáurico/redutores permitem a formação de nanopartículas em diversos tamanhos e morfologias (triangulares, cilíndricas, esféricas e cúbicas) (Cho *et al.*, 2010; Grzelczak *et al.*, 2008). A morfologia também pode sofrer alterações conforme o tempo de estocagem das nanopartículas (Fileti; Malaspina; Tada, 2014).

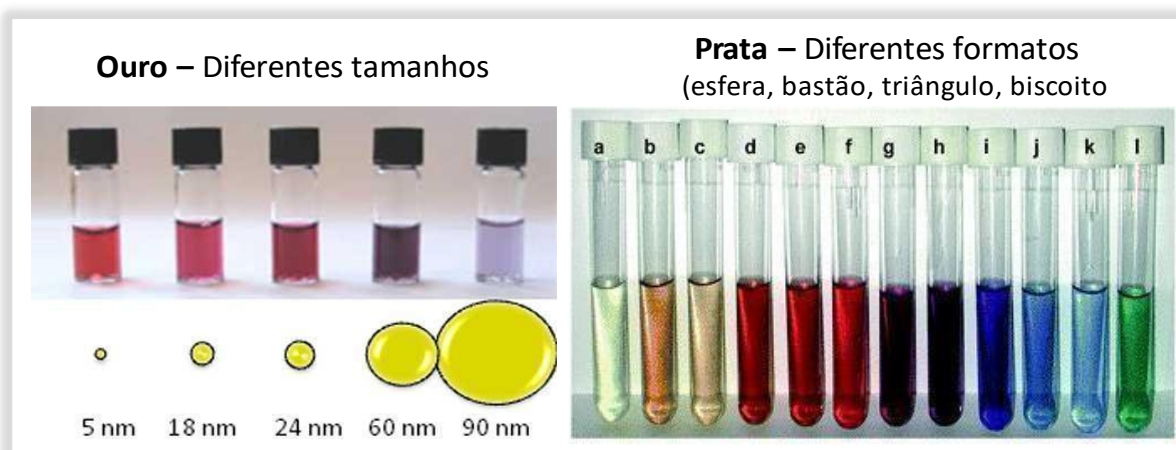
Figura 49: Diversidade de tamanhos e morfologia de NPA



Fonte: Fileti, Malaspina e Tada (2014), adaptado de Cho *et al.* (2010).

Segundo Luna (2011) e Cornejo (2015), respectivamente, numa solução com partículas de ouro, em escala nanométrica, quanto menores, mais avermelhadas se mostram. Além dos tamanhos, os formatos das partículas também influenciam na coloração, conforme mostrado na Figura 50:

Figura 50: Influência do tamanho e formato das nanopartículas metálicas na coloração da solução



Fonte: Luna (2011) e Cornejo (2015).

As **Nanopartículas de Platina** revelam excelentes propriedades catalíticas, elétricas e elevada resistência à corrosão, sendo amplamente aplicadas

em indústrias químicas, petroquímicas, farmacêuticas, eletrônicas e automotivas (Yang *et al.*, 2009). As **Nanopartículas de Cobre** se destacam por ter propriedades de alta condutividade elétrica e desempenho em aplicações de circuitos eletrônicos modernos. Entretanto, Tamilvanan *et al.* (2014) comentam que a preparação dessas partículas (CuNPs) é mais difícil em comparação aos demais metais, pois o cobre oxida facilmente em contato com o ar, necessitando de procedimentos em atmosfera de gás inerte. Há também as **Nanopartículas Bimetálicas**, formadas por dois metais diferentes, de grande interesse em pesquisas. Segundo Sharma *et al.* (2019) essas nanopartículas apresentam propriedades melhoradas, relacionadas aos metais e ao tamanho manométrico, oferecendo ótimas características óticas, antimicrobiana, catalíticas, dentre outras (Carneiro; Queiroz; Fachine, 2020).

Há um futuro bastante promissor para os estudos das nanopartículas metálicas pelo fato de possuírem diferentes rotas sintéticas, muitas das quais seguindo os princípios da química verde, em compromissos ambientais. As áreas biomédicas de tratamento de câncer também estão cada vez mais dependentes das nanopartículas metálicas, estabelecendo um importante avanço nesse segmento (Carneiro; Queiroz; Fachine, 2020).

Os **Nanofios** metálicos também representam uma parcela importante da pesquisa da Nanotecnologia com diversas aplicações em nanoeletrônica, nano optoeletrônica, nano sensores, nanobiotecnologia e coleta de energia (Jiang *et al.*, 2011).

➤ **Magnéticos**

As propriedades das **Nanopartículas Magnéticas** são influenciadas pela composição química, pelo tamanho e a forma da partícula, bem como sua morfologia. As características magnéticas e podem variar para um mesmo tipo de material, em virtude das mudanças que podem ocorrer durante as etapas de síntese (Rocha *et al.*, 2020). Suas características permitem aplicações na indústria automobilística, na produção de nanocompósitos usados em antenas dielétricas, dispositivos de gravação magneto-ópticos e magneto resistivos gigantes, aplicações terapêuticas como carreadoras de fármacos, agentes de contraste e em processos de purificação magnética (Cabuil, 2015).

A química verde procura por catalisadores que não agredem o meio

ambiente. Nesse contexto, as nanopartículas magnéticas apresentam vantagens, devido ao tamanho, à vasta área superficial e à capacidade de reutilização sem perdas da atividade, com aplicações limitadas e boa estabilidade química em meios reacionais (desde que não sejam ácidos ou corrosivos). Segundo Zhu e Hosmane (2014), essas nanopartículas podem ser separadas das misturas reacionais, por meio da separação magnética, usando um ímã (Rocha *et al.*, 2020).

As **Nanopartículas Superparamagnéticas** se destacam dentre os nanomateriais inorgânicos magnéticos, sendo constituídas por ferro, níquel ou cobalto e pertencem da classe de nanopartículas que podem ser manipuladas pelos campos magnéticos (Laia, 2020). Quando constituídas por ferro, são partículas formadas por pequenos cristais de óxido de ferro (chamados magnetite, Fe_3O_4 ou maghemite, $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), denominadas de SPION (sigla em inglês), na qual apresentam papel importante no desenvolvimento da nanomedicina, devido à sua biocompatibilidade e baixo custo de produção (Piñeiro *et al.*, 2020).

Segundo Dung *et al.* (2009) e Li *et al.* (2008), as propriedades magnéticas e a baixa toxicidade dessas nanopartículas as tornam especialmente adequadas para uma ampla gama de aplicações em vários campos, como física, medicina, biologia, ciência dos materiais, bem como para melhorar a imagem de ressonância magnético, separação de células e DNA, liberação de drogas guiada magneticamente, hipertermia, remoção de metais pesados, entre outros (Jáuregui *et al.*, 2016).

Figura 51: Nanopartículas Magnéticas



Fonte: Jáuregui *et al.* (2016, p. 404, 407).

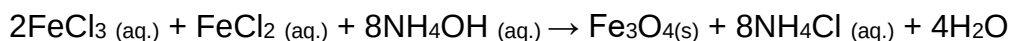
Um dos desafios dessa área da Nanotecnologia é o controle das propriedades dos materiais em escala nanométrica e a reprodutibilidade dos resultados obtidos. Contudo, a área biomédica, como exemplo, não teria se

desenvolvido da mesma forma sem a tecnologia das nanopartículas magnéticas em sistemas carreadores de fármacos, ressonância magnética, etc. (Rocha *et al.*, 2020).

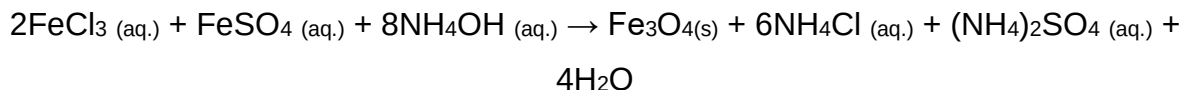
Algumas abordagens dessas nanopartículas magnéticas no Ensino de Química podem ser encontradas dentre as publicações científicas da área. Rebello e colaboradores (2012) desenvolveram atividades com o tema da Nanotecnologia em perspectiva CTS no primeiro ano do Ensino Médio de Química. As atividades utilizaram materiais de uso comum na preparação de nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) cujas propriedades magnéticas permitem sua utilização tecnológica (selantes magnéticos para motores, tintas magnéticas para cheques bancários e mídias para gravação de dados, aplicações biométricas, etc.) (Rebello *et al.*, 2012).

De acordo com Rebello e colaboradores (2012), as reações para a formação das nanopartículas de magnetita podem ser representadas pelas equações de oxirredução (1) ou (2), dependendo da fonte de íons Fe(II) : cloreto ferroso (FeCl_2 , Equação 1) ou sulfato ferroso (FeSO_4 , Equação 2).

Equação 1



Equação 2



O único reagente analítico empregado foi sulfato de cobre (II) penta-hidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Os materiais de uso comercial empregados foram; cloreto férrico anidro (FeCl_3) utilizado na confecção de placas de circuito impresso e adquirido em lojas de eletrônica sob o nome percloroeto de ferro; solução de hidróxido de amônio (20,5% p/v, aproximadamente 6 M), encontrado em farmácias; esponja de lã de aço de supermercados; além de ímã para caixa de som, encontrado em lojas de equipamentos eletrônicos. No caso do sulfato de cobre penta-hidratado, esse pode ainda ser encontrado em lojas de suprimentos para piscinas ou como fungicida (Rebello *et al.*, 2012).

Segundo Rebello e colaboradores (2012), as nanopartículas magnéticas foram preparadas por meio de com uma solução de 10 mL de Fe(II) 0,2 M (1 mmol), na qual foram adicionados 20 mL de solução de Fe(III) 0,2 M (2 mmol). A essa mistura, foram adicionados, lentamente e sob agitação, 120 mL de solução de NH_4OH 0,5M (60 mmol). Após quinze minutos de repouso, a mistura reacional apresentou a precipitação dos agregados de magnetita, atraídas pelo ímã.

Na perspectiva CTS, o experimento foi discutido para a abranger aspectos das aplicações tecnológicas e sociais, como também os aspectos da nanopoluição para que estudantes refletissem os prós e contras da utilização das nanopartículas. Ou seja, é um exemplo de atividade didática que envolve a Nanotecnologia e a CTS como mediadoras de reflexão e conscientização cidadã (Rebello *et al.*, 2012).

➤ **Semicondutores**

De modo geral, a característica mais conhecida entre Metais e materiais semicondutores é a dependência da resistividade com a temperatura, devido à possibilidade de transição de elétrons deslocados pelo material (como o exemplo de condutores eletrônicos), descrita pela teoria do orbital molecular. Desse modo, há uma relação inversa com a temperatura, na qual ocorre a diminuição da resistividade elétrica com o aumento da temperatura (Chaves *et al.*, 2020). A vasta aplicação dos semicondutores envolve a produção de dispositivos eletrônicos, tais como transistores, sensores, fotocatalisadores, biomateriais, etc. (Jungwirth *et al.*, 2006).

Assim como os materiais semicondutores em maior escala, os nano semicondutores podem ser produzidos por dopagem química, um processo químico que envolve semimetais com adição de impurezas químicas de outros elementos a fim de resultar propriedades como a semicondução controlada (Cao; Wang, 2011). O processo de dopagem é, sem dúvida, uma das técnicas mais relevantes de tratamento de matérias para a indústria de semicondutores (Leão, 2008).

Ao adicionar diferentes elementos (impurezas) na rede cristalina de um semicondutor, níveis eletrônicos surgem entre a camada de valência e condução (*bond gap*) diminuindo a energia *gap*, facilitando o melhor desempenho da semicondução. (Cao; Wang, 2011). No caso de a impureza ser “doadora” se classifica como Tipo N (elétron livre), quando for “aceitadora” é classificada Tipo P (elétron faltante/buraco). Também, as diferenças presentes nas conformações atômicas das superfícies geram diferentes propriedades eletrônicas dos dopantes incorporados. (Leão, 2008). Todavia, esse processo de dopagem é dificultado em nanomateriais, por terem tendência em reduzir sua energia de superfície pela rejeição de impurezas (Cao; Wang, 2011). A Figura 52 representa esquemas das dopagens tipo P e tipo N.

Figura 52: Mecanismos de Dopagem de Semicondutores. Exemplo: dopagem de Silício com Fósforo e Boro

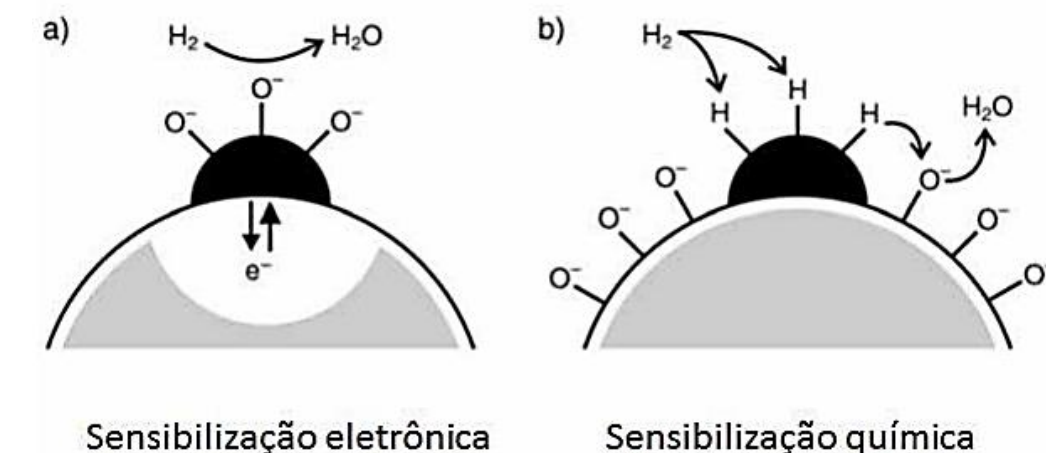


Fonte: Electronica PT (2023).

Ainda, um segundo método para reduzir a *band gap* e ainda possibilitar a “captura” de elétrons na formação de nanosemicondutores, é a decoração da superfície do material por nanopartículas metálicas ou de dióxidos metálicos (Cao; Wang, 2011). No caso de sensores de gases baseados em óxidos de metais semicondutores nanoestruturados, os metais nobres como Pt, Pd, Au e Ag são bastante utilizados para a decoração de materiais sensores, por conta dos variados efeitos que provocarem nas interações gás-superfície, permitindo melhores propriedades como sensibilidade, seletividade e tempo de resposta (Rumyantseva *et al.*, 2023).

Segundo Barbosa (2015), a decoração de superfície gera mudanças estruturais como sítios catalíticos, mudança de fase e composição, mudança de estequiometria, mudança de tamanho e forma do material e demais modificações. O processo pode ser feito por meio de dois métodos: sensibilização química (*spillover*) ou por sensibilização eletrônica, conforme a Figura 53.

Figura 53: Mecanismos para o processo de catálise que modificadores superficiais metálicos provocam na interação entre um óxido e um gás: a) Sensibilização eletrônica. b) Sensibilização química



Fonte: Barbosa (2015, p. 30).

Na sensibilização eletrônica (Figura 53.a), o metal retira elétrons da superfície do óxido criando uma região próxima a interface deficiente de elétrons facilitando interações. Na sensibilização química (Figura 53.b), há um derramamento de cargas entre a superfície do óxido e a partícula metálica, originando uma região de melhor interação, sobretudo com gases redutores.

Vários fatores influenciam as características desses nanomateriais, como, por exemplo, a área de superfície, a dispersão das partículas na superfície do óxido metálico, a homogeneidade no tamanho das partículas catalisadoras, a concentração de aditivos na superfície, dentre outros fatores (Barbosa, 2015). Assim, podemos perceber que as propriedades desses materiais correspondem a “estados”, como cita Bachelard. Esses estados são interacionais e resultantes de multifatores que podem ser modificados ou manipulados conforme as possibilidades e necessidades.

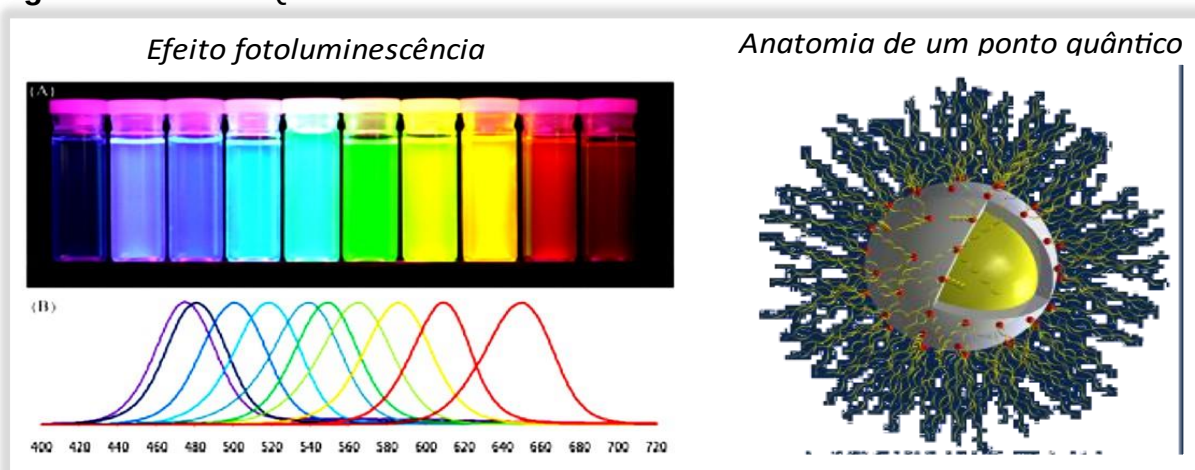
Os **Nanofios Semicondutores** (SC NWs) são considerados bastante promissores de futuras gerações de dispositivos eletrônicos devido a maior facilidade na integração destes nanofios com quantidades mesoscópicas de cristais semicondutores em comparação com outras nanoestruturas e permite controle quase em escala atômica de suas propriedades. Estudos mostram, por exemplo, que nanopartículas de ouro podem servir de impurezas para nanofios de silício. A formação de sítios interiores dos fios com a presença do ouro gera grandes efeitos nas propriedades eletrônicas com grande valor para implementações de dispositivos

com base em nanofios (Leão, 2008). Os outros estudos mostram como a síntese e caracterização de nanofios semicondutores se mostram relevantes na construção de fotodetectores, dispositivos eletrônicos, aplicações fotônicas e processamento de informação quântica (Dias, 2010).

Os semicondutores fotocatalíticos conseguem converter luz em outras formas de energia. A luz absorvida gera pares de elétrons/buracos, produzindo radicais reativos que podem oxidar ou mineralizar compostos orgânicos (Chaves *et al.*, 2020). Os **Pontos Quânticos** (PQs) ou *Quantum Dots* são conhecidos como semicondutores nanocristalinos, com propriedades óticas características, promissores nas aplicações em LED, por exemplo (Machado *et al.*, 2015; Pontes, 2022).

De acordo com Dong e colaboradores (2012), os Pontos Quânticos, surgem após excitação por radiação eletromagnética, na qual produzem um par elétron-buraco (*éxciton*) que manifesta algumas propriedades ópticas interessantes como, por exemplo, a fotoluminescência. Podem ser sintetizados com materiais semicondutores como, por exemplo, CdS, CdSe ou ZnS, com capacidades para aplicações como transistores, células solares, diodos e marcadores biológicos (Fileti; Malaspina; Tada, 2014). No entanto, há um alto risco de toxicidade ambiental na maioria das rotas sintéticas, por empregarem metais pesados, nesse caso, como o Cádmio, limitando suas aplicações (Sun *et al.*, 2006).

Figura 54: Pontos Quânticos



Fonte: Martins e Trindade (2012, p. 1436, 1440).

A primeira imagem (Figura 54) acima mostra a propriedade de fotoluminescência de solução contendo pontos quânticos. A “cor” da emissão dos pontos quânticos de CdSe pode ser ajustada para varrer o espectro do visível. (A)

apresentam-se colóides de QD de CdSe (revestidos com ZnS) com diferentes tamanhos médios (de cerca de 2 a pouco mais de 8 nm) e (B) os respectivos espectros de fotoluminescência. A segunda imagem ilustra a anatomia de um ponto quântico composto por um núcleo do material semicondutor opticamente ativo, revestido por uma camada de um semicondutor de hiato ótico superior e por moléculas surfactantes coordenados à superfície da nanopartícula (Martins; Trindade, 2021).

Segundo Fileti, Malaspina e Tada (2014), a preparação dos pontos quânticos pode ser feita por dois tipos de técnicas, uma por meio da química coloidal e a outra por crescimento epitaxial (como camadas de *wafer*). No entanto, há um alto risco de toxicidade ambiental na maioria das rotas sintéticas dos PQs, porempregarem metais pesados, como, por exemplo o Cádmio, limitando suas aplicações (Sun *et al.*, 2006). Portanto, como lemos acima, os Pontos Quânticos de Carbono possuem essa vantagem, de não toxicidade, em relação aos Pontos quânticos Inorgânicos.

Outra classe de semicondutores é as **Nanopartículas Dielétricas**, cujo material é considerado isolante elétrico, usado na proteção elétrica de equipamentos eletrônicos, ou como capacitores (aumento da capacitância), podendo ser de natureza polimérica, vítrea ou cerâmica (Chaves *et al.*, 2020). Dentre as aplicações dos nanomateriais dielétricos em dispositivos eletrônicos estão os capacitores, sensores, células solares, etc. (Bharat *et al.*, 2019; Das *et al.*, 2019; Mukherjee *et al.*, 2014; Okutan *et al.*, 2018; Ahmad *et al.*, 2019). Além disso, estudos de Das e colaboradores (2019), Mann e Rastogi, (2017), Johar e colaboradores (2015), Oh e colaboradores (2019) e Oruç e Altindal (2017) mostram alguns materiais cerâmicos, que antes estudados somente em escala macro e micro, agora vêm sendo sintetizados na forma de nanopartículas. Exemplos: ZnO, CuO, BiFeO₃, BaTiO₃, Ba_xSr_{1-x}TiO₃, PbTiO₃, CaCu₃Ti₄O₁₂, Bi_xCuFe_{2-x}O₄, entre outros

➤ **Poliméricos**

Os polímeros são constituídos por moléculas bastante longas de alto peso molecular variando de milhares a milhões de g/mol e revelam uma enorme diferença das moléculas de baixo peso molecular. O polímero possui a capacidade de combinação entre monômeros que se repetem para formar as longas cadeias. Devido ao alto peso molecular e a composição, os polímeros podem compor uma grande variedade de materiais com diferentes comportamentos e desempenhos mecânico,

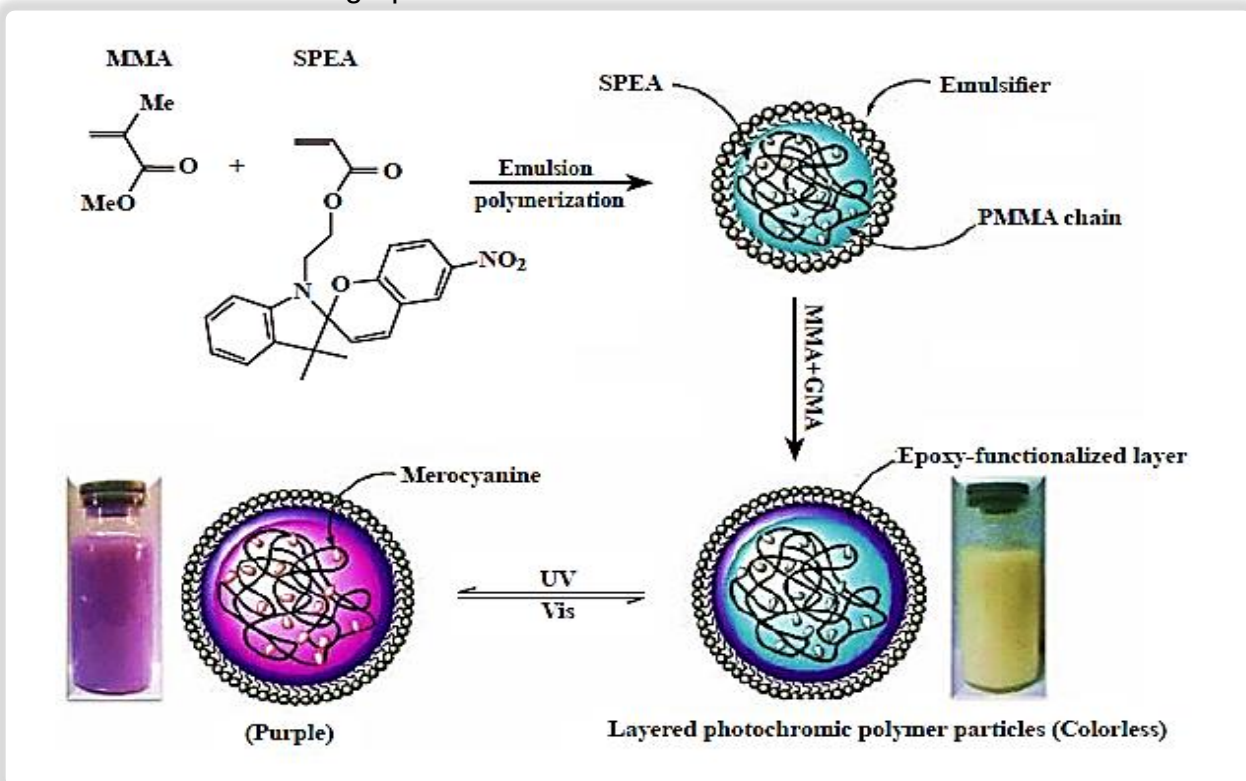
térmico, propriedades físico-químicas e outras (Oliveira; Fachine, L.; Fachine, P., 2020).

Uma das áreas de aplicação das **Nanopartículas Poliméricas** (NPPs) é no tratamento de câncer. O processo envolve diferentes nanopartículas poliméricas projetadas como transportadores de drogas para aperfeiçoar a distribuição de fármaco *in vivo* e aumentar o índice terapêutico da droga. As nanopartículas de poli(alquil-cianoacrilato) (PACA) são consideradas um dos transportadores poliméricos de fármacos biodegradáveis mais promissores nesse contexto, com potencial farmacológico em aplicações no tratamento de tumores, despertando grande interesse para a formulação de novos sistemas de *drug delivery* (Oliveira; Fachine, L.; Fachine, P., 2020).

As **Nanopartículas Fluorescentes** (NPFs) também oferecem benefícios tecnológicos. Podem ser produzidas por meio de um substrato (sílica, cristais inorgânicos e polímeros) introduzido por uma espécie fluorescente, apresentando propriedades versáteis, como polaridade e estrutura molecular importantes. As aplicações desses materiais são bastante amplas em dispositivos diodos emissores de luz (Zhao *et al.*, 2010), sondas terapêuticas, detecção de imagens (Jiang *et al.*, 2018), corantes não citotóxicos (Liu; Zhang; Deng, 2014), dentre outras aplicações (Oliveira; Fachine, L.; Fachine, P., 2020).

Segundo Wan e colaboradores (2014), os compostos fluorescentes incorporados as nanopartículas são sensíveis aos estímulos, sendo assim, podem exibir mudanças reversíveis ou irreversíveis por agentes externos como pH, temperatura, força iônica, irradiação de luz, forças mecânicas, campos elétricos, magnéticos e acústicos, produtos químicos específicos ou aditivos externos. A Figura 55 representa uma síntese de um derivado de espiropiran modificado com acrílico, 1'-(2-acriloxietil)-3',3'-dimetil-6-nitrospiro-(2-H-1-benzopirano-2,2'-indolina) (SPEA), por meio da polimerização via emulsão, demonstrando a estratégia para preparação de nanopartículas poliméricas fotocrômicas (PCPNPPs) (Abdollahi; Mahdavian; Mobarakeh, 2015).

Figura 55: Representação esquemática para preparação dos látex fotocromicos funcionais contendo os grupos SPEA



Fonte: Abdollahi, Mahdavian e Mobarakeh (2015, p.10).

A polimerização em emulsão foi estabelecida na primeira etapa com a incorporação de SPEA no núcleo hidrofóbico das partículas de látex. Na segunda etapa de polimerização, os monômeros de metacrilato de metila (MMA) e metacrilato de glicidila (GMA) foram adicionados ao látex acima para formar uma camada externa funcionalizada com epóxi no núcleo hidrofóbico contendo SPEA (Oliveira; Fachine, L.; Fachine, P., 2020).

Segundo Abdollahi, Mahdavian e Mobarakeh (2015), as nanopartículas preparadas contendo grupos funcionais epóxi, fornecem a reatividade de partículas de látex com matriz celulósica para preparar papel celulósico sensível a estímulos. As propriedades fotocromicas adequadas no papel celulósico foram produzidas por meio da impregnação com o látex fotocromico preparado e seco. A reação de abertura de anel entre grupos hidroxila de celulose e substituinte epóxi estabeleceu uma ligação covalente entre as partículas de látex e a matriz de celulose, evitando o fototropismo indesejado. Os papéis fotocromaticos modificados com látex podem ser usados como detectores químicos, computadores ópticos e sistemas de autenticação pela inclusão de nanopartículas fluorescentes funcionalizadas (Oliveira;

Fechine, L.; Fechine, P., 2020).

De acordo com Oliveira, Fechine e Fechine (2020), as **Nanopartículas Poliméricas Magnéticas** (MPMs) também ganharam destaque nas últimas décadas, devido às suas possíveis aplicações em técnicas de bioimagem (Li; Liu, 2012), separação magnética (Benjaminsen *et al.*, 2011), sistemas de administração de medicamentos (Oka *et al.*, 2015) e tratamento de câncer por hipertermia (Ashjari; Khoee; Mahdavian, 2012). As nanopartículas inorgânicas como óxido de ferro, óxido de ferro projetado por magnetismo e metais de valência zero são empregados como materiais superparamagnéticos (Rao; Gruenberg; Geckeler, 2015).

Vale ressaltar que as nanopartículas poliméricas estão em ascensão na pesquisa no desenvolvimento de nanomateriais. Com o interesse da comunidade científica e investimentos, é possível que, num futuro próximo, as NPPs permitam uma mudança na nossa vida diária, com relação ao seu envolvimento crescente em vários aspectos, como biomedicina, energia, robótica, sensores, pintura, agricultura, espaço e aeronáutica (Oliveira; Fechine, L.; Fechine, P., 2020).

Uma das áreas em constante ascensão são estudos da Nanotecnologia de polímeros e a produção de superfícies hidrofóbicas com diversas aplicações, como, por exemplo: máscaras de EPIs (Paula *et al.*, 2023); biossensores (Moraes *et al.*, 2009); misturas asfálticas (Carneiro *et al.*, 2012); verniz poliuretano acrílico (Ghedin, 2023); vidros (Cruz, 2022), dentre demais publicações.

No Ensino de Química, o conteúdo de superfícies hidrofóbicas pode ser bastante explorado pelo tema da Nanotecnologia, como mostra a pesquisa de Moura e colaboradores (2018) desenvolvida com estudantes de licenciatura em Química. O estudo envolveu o ensino de superfícies hidrofóbicas e a apresentação de alguns materiais potenciais para uso no Ensino Médio. Além disso, foram utilizados experimentos que simulavam práticas nanotecnológicas com matérias como tinta, desodorante, raspas de vela, fuligem, folhas e flor de lótus que podem simular facilmente as superfícies hidrofóbicas. Esses materiais são de fácil acesso aos professores e podem servir como recursos relevantes ao Ensino de Química.

Segundo Moura e colaboradores (2018), a grande relevância do ensino de superfícies hidrofóbicas está em seus potenciais nas aplicações industriais, como na produção de camisetas que não ficam sujas, sapatos que não permitem a passagem de líquidos, vidros de carros e até mesmo na medicina. Diante disto, considera-se que a Nanotecnologia está presente no cotidiano da população, sendo

indispensável sua inserção no Ensino de Química.

➤ **Biomateriais**

O uso de biomateriais constituídos por metais, cerâmicas, polímeros, híbridos e compósitos já é consolidado nas mais diversas aplicações, como, por exemplo, em dispositivos biomédicos, materiais implantáveis, liberação de medicamentos, órgãos artificiais, curativos, dentre muitos outros. Portanto, podemos considerar de biomateriais aqueles dispositivos entrando em contato com sistemas biológicos (válvulas cardíacas, implantes, vacinas cirúrgicas ou terapêuticas, aplicações diagnósticas, etc.) (Pires; Bierhalz; Moraes, 2015).

As etapas de produção de biomateriais requerem rigorosas análises e controle de profissionais especializados em diferentes áreas como químicos, farmacêuticos, engenheiros, físicos, biólogos, médicos e dentistas, estabelecendo uma abordagem multidisciplinar que prioriza a convergência de metas. Dentre as propriedades almejadas na produção de biomateriais estão a biocompatibilidade, estimulação de adesão e proliferação celular; as propriedades físicas, como morfologia da superfície, energia superficial, encaixe anatômico, rugosidade, porosidade, cor, transparência e permeabilidade, propriedades mecânicas como tensão de ruptura, alongamento e flexibilidade e propriedades químicas, como densidade, estabilidade, resistência à esterilização e forma de degradação quando em contato com o organismo (Pires; Bierhalz; Moraes, 2015).

Desenvolver materiais manométricos que atendam todos os requisitos é bastante desafiador, por ser necessário considerar as propriedades e técnicas de produção cientificamente exigentes, além dos potenciais efeitos toxicológicos desses materiais, de cujas dimensões permitem transpor as barreiras celulares (Tischer, P.; Tischer, C. 2012). Cada aplicação desejada reque o controle do tamanho de cristalito e da morfologia dos nanomateriais (Lima *et al.*, 2020).

Os **Nanofostatos** são biomateriais bastante utilizados na medicina. Segundo Combes, Cazalbou e Rey (2016), os **nanofosfatos de cálcio** são os principais constituintes de tecidos (ossos) duros em seres vivos e apresentam-se na fase de hidroxiapatita de cálcio. Semelhantemente ao grupo das apatitas, os nanofosfatos de cálcio possuem diversas vantagens em relação a outros fosfatos devido às propriedades físico-químicas e estruturais, que, além de fornecerem

resistência mecânica aos tecidos mineralizados, permitem manutenção da homeostase por meio de troca iônica. A fórmula estequiométrica da hidroxiapatita de cálcio é $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, apresenta estrutura monoclinica e hexagonal bipiramidal, arranjo este que permite uma maior troca iônica (Corno *et al.*, 2010). Outro monofosfato que podemos citar é o **Fosfato Tricálcio** — $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ que possuem maiores bioatividade e osteocondução do que as apatitas (Lu; Yu; Chen, 2018).

Os **cimentos odontológicos** são os biomateriais mais utilizados na odontologia e medicina. Podem ser classificados como silicatos biocerâmicos nanoestruturados (alita, bredigita, hardystonita e baghdadita). As fórmulas e propriedades estão descritas no Quadro 25 (Lima *et al.*, 2020).

Quadro 25: Exemplos de silicatos biocerâmicos nanoestruturados e propriedades

<i>Biomaterial</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Propriedades</i>	<i>Aplicações</i>
<i>Alita</i>	Ca_3SiO_5	Boa bioatividade e citocompatibilidade...	Substituição óssea, restauração dentária...
<i>Bredigita</i>	$\text{Ca}_7\text{Mg}(\text{SiO}_4)_4$	Boa bioatividade e citocompatibilidade, estimula restauração óssea...	Aplicações biomédicas, engenharia de tecidos de reparo ósseo bioativo, hipertermia para osso cancerígeno...
<i>Hardystonita</i>	$\text{Ca}_2\text{ZnSi}_2\text{O}_4$	Estável quimicamente, boa biocompatibilidade e biodegradabilidade, resistência mecânica...	Implantes ósseos metálicos, regeneração óssea, liberação de fármacos...
<i>Baghdadita</i>	$\text{Ca}_3\text{ZrSi}_2\text{O}_9$	Boa bioatividade e citocompatibilidade, estimula restauração óssea...	Implantes, preenchimentos e restaurações ósseas...

Fonte: Com base em Lima e colaboradores (2020).

Com o passar dos últimos anos, diversos biomateriais compósitos de propriedades inovadoras tem sido elaborados, mesclando nanopartículas minerais, metálicas e poliméricas, agentes carreadores e fármacos, nanofibras e metodologias de reticulação de futuro promissor (Lima *et al.*, 2020). É notável o quando a Nanotecnociência representa a Química Moderna da visão de Bachelard (2009), visto que esta usa a manipulação atômico-molecular-energética para criações.

6.4.3 A visão relacional do conceito de substância na N&N: considerações

Este tópico do texto visa destacar e resumir alguns dos aspectos mais relevantes dos conhecimentos da Nanotecnociência para a compreensão de uma concepção mais complexa de substância química, como já proposto desde o início. Antes disso, retomamos as ideias obtidas pelas investigações de Ngai, Sevia e

Talanquer (2014) e as de Silva (2011), neste caso, referentes as concepções mais complexas de substância (Quadro 26).

Quadro 26: Visão mais complexa/sofisticada da substância

Zona de Perfil Conceitual (Silva, 2017)	Grau de sofisticação conceitual Ngai <i>et al.</i> , (2014).
Relacional: o conceito de substância é considerado como um modelo teórico para explicação do comportamento da matéria, ou seja, a ideia da existência de substâncias com 100% de pureza, com propriedades físico-químicas bem definidas é considerada como uma aproximação teórica. Nesse sentido, uma substância não se apresenta estática dentro de um sistema e nem possui propriedades bem definidas. Seus átomos e moléculas estão em constante interação com as espécies do meio, havendo trocas energéticas e diversos fatores que irão influenciar suas propriedades.	Interacionismo: tendência para exibir as propriedades da matéria como emergentes das interações dinâmicas entre os componentes.

Fonte: Adaptado de Silva (2017) e Ngai, Seviran e Talanquer (2014).

Consoante Ben-Zvi, Bat-Sheva e Silberstein (1986), estudantes iniciantes de química tendem a atribuir propriedades às partículas submicroscópica. Pensam que os átomos apresentam a mesma cor de uma amostra de um material, por exemplo. Taber (2002) argumenta que estudantes acreditam que os átomos se expandem quando a amostra é aquecida. Essas concepções alternativas podem ser entendidas como decorrentes de uma única suposição subjacente: a matéria é homogênea em todas as escalas, ou seja, possui propriedades invariantes. Diante disto, os indivíduos podem ter diferentes concepções alternativas mediante a análise de suas explicações de um determinado fenômeno e ter suposições semelhantes referente as propriedades dos componentes de um sistema (Ngai; Seviran; Talanquer, 2014).

As limitações de suposições intuitivas dos estudantes prejudicam o seu desenvolvimento de noção de “substância” como conceituada pelos cientistas químicos, bem como a compressão das estratégias intelectuais e experimentais usadas por cientistas para inferir a identidade química (Ngai; Seviran; Talanquer, 2014). Para Johnson (2000), são necessárias intervenções adequadas para que estudantes aprendam a reconhecer que substâncias individuais exibem comportamentos diferentes daqueles de materiais misturados homogeneamente ou, que novas propriedades podem emergir de interações entre componentes (Solominodou; Stavridou, 2000).

Nesse caso, Ngai, Seviran e Talanquer (2014) concluem que a conceitualização mais produtiva seria pensar em substâncias como entidades dinâmicas (ou seja, processos), cujas propriedades estáveis emergem das interações de seus componentes (interacionismo). Perante esta visão, as propriedades

emergentes da matéria como densidade, ponto de fusão e solubilidade são resultantes das interações entre partículas no nível molecular, enquanto as propriedades químicas de moléculas individuais emergem de interações entre componentes subatômicos.

Cabe observar que os resultados da pesquisa de Ngai, Sevia e Talanquer (2014) revelaram que estudantes podem ter suposições diferentes em propriedades diferentes, por exemplo: supor principalistas quanto a cor, e interacionistas referente ao ponto de fusão, sendo difícil construir uma descrição detalhada de uma progressão hipotética das ideias de estudantes. Estudantes não apresentam uma visão monolítica da natureza, portanto, diferentes classes de substâncias podem evoluir de maneiras diferentes que irão depender do conhecimento prévio e experiências pessoais com tipos particulares de matéria.

Devido à diversidade de materiais presentes em nosso meio, espera-se que cidadãos cientificamente alfabetizados tenham uma compreensão, ao menos básica, das ideias e práticas centrais envolvidas nos estudos de substâncias químicas. Nesse contexto, o conselho nacional de pesquisa dos Estados Unidos — *National Research Council* (NRC) (2011, 2013) destacam a relevância do uso de conceitos transversais, como escala, estrutura e energia, para analisar as propriedades de diversos sistemas e para construir conexões significativas entre esses sistemas. Além disso, a abordagem de conceitos transversais para organizar currículos permite que professores orientem o pensamento dos estudantes para concentrarem sua atenção na busca por respostas para perguntas essenciais na Ciência (Ngai; Sevia; Talanquer, 2014).

Ngai, Sevia e Talanquer (2014) considera que os conceitos transversais, quando destacados em padrões educacionais, tendem a ser construtos interdisciplinares, relevantes em diferentes áreas da ciência. Como já vimos, a Nanotecnologia é uma área multidisciplinar que possui vários temas e conceitos transversais (incluindo escala, estrutura e energia) que podem ser explorados no ensino de substância química. Ainda, podemos considerar que a introdução de métodos espectroscópicos nas análises químicas levaram a uma reconceitualização radical do conceito de identidade química, por meio da composição e propriedades ao nível molecular e submicroscópico.

Com relação aos estudos de Silva (2011), foi observado que, dentre os estudantes de Ensino Médio, a maioria das respostas ao questionário não

apresentava uma diferenciação coerente entre os conceitos de substância, elemento químico e material, sendo utilizados modos de falar no “senso-comum”. No caso de licenciandos, foi observado que estes, apesar de em determinados momentos terem uma certa visão racional e relacional de substância, também não conseguiram diferenciar com clareza os conceitos de substância, elemento químico e mistura. De modo geral, a literatura mostra a dificuldade que os estudantes possuem em construir ideias racionalistas acerca de um conceito.

Ngai, Sevian e Talanquer (2014) também apontam para a necessidade de reestruturação da abordagem de transição da visão macro para submicroscópica. Segundo esses autores, estudantes de química tendem a desenvolver um raciocínio acerca de substâncias químicas ao nível submicroscópico bastante influenciado pelas suposições que fazem das propriedades e comportamentos ao nível macroscópico. Diante disto, a Nanotecnologia poderá ser utilizada no ensino para gerar novos olhares a respeito das propriedades das substâncias em diferentes escalas. Também, esperamos que a abordagem histórico-filosófica da química, em conjunto com a Nanotecnologia, possa mediar a compreensão da diferenciação entre os conceitos de elemento, substância e mistura, por exemplo, como também auxiliar na evolução conceitual para uma visão mais complexa da substância.

As concepções de substância formadas pelo jogo dialético das ideias presentes nas zonas racionalista/relacional são levadas a um nível mais complexo de compreensão do conceito. Segundo Bachelard (1978), a categoria “ultra racionalista” possui uma natureza problematizadora nada admissível nas demais zonas. Segundo Silva (2011), nesse contexto podemos utilizar de meios para trazer a noção relacional de substância como, por exemplo, citar o advento da mecânica quântica para explicar a natureza microscópica da matéria. Na zona relacional, uma série de fenômenos (como reações químicas e a síntese de substâncias) podem ser explicados por meio das relações entre matéria e energia.

Diante do exposto, entendemos que a Nanotecnologia é um campo fértil para o ensino de conceitos químicos, sobretudo o de substância química, por permitir a abordagem de diferentes conceitos transversais, aspectos relacionais das propriedades dos materiais, em termos de tamanho de partículas, interações atômico-moleculares, interações energéticas e outras. Segundo Silva (2011), a energia associada à substância nos leva a uma resignificação da ideia de substância estática,

imutável e com propriedades bem definidas, para a visão mais relacional, na qual as propriedades mudam conforme a energia.

Destacaremos, no Quadro 27, um resumo de certas propriedades de substâncias em nanoescala e algumas de suas dependências, ou condicionamentos, interacionais/relacionais atômico-molecular-eletrônicas:

Quadro 27: Algumas propriedades relacionais de substâncias em nanoescala

Substância Nano	Algumas propriedades	Dependências
Ouro	— Físico-químicas e biológicas: elétricas, térmicas, magnéticas, <i>plasmon</i> de superfície, radioatividade e alto coeficiente de absorção de raios-x, ópticas (frequências de luz visível), fluorescência aprimorada de superfície, conversão fototérmica e fotoquímica, espalhamento de Raman, alto coeficiente de absorção molar, ligações químicas específicas, biocompatibilidade, atividade catalítica, força de ligação e densidade, etc.	— dimensão, forma, composição, interações entre ligantes e superfície metálica, perturbação eletromagnética, distância entre moléculas, densidade local, solvente e interações com microambiente, morfologia e formação de dímeros e oligômeros, etc.
	Ex: Coloração vermelho — azul-escuro	— morfologia e formação de dímeros e oligômeros.
Prata	— Físico-químicas e biológicas: microbiana e fungicida, imunológica, antiviral, anti-inflamatória, antitumoral, elétricas, térmicas, ópticas, eficiência de liberação de íons, reatividade em solução, etc.	— dimensão e interações entre ligantes e superfície metálica, relação superfície/volume, distribuição de tamanho, composição, morfologia, química de superfície, etc.
	Ex: mudança de coloração em solução	— área de superfície e morfologia
Platina	— Físico-químicas e biológicas: ópticas, <i>plasmon</i> de superfície, catalíticas, condutividade elétrica, resistência a corrosão, biocompatibilidade, etc.	— dimensão, forma, composição, interações entre ligantes e superfície metálica, perturbação eletromagnética, etc.
	Ex: reatividade catalítica	— altamente dependente da morfologia
Carbono	— Físico-químicas e biológicas: nanoalotrópicas, ópticas, mecânicas, elétricas, térmicas, morfológicas, catalíticas, biocompatibilidade, etc.	— dimensão, morfologia, rede eletrônica, interações atômico-eletrônicas, intermoleculares, superfície, número de átomos, ligações químicas, etc.
	Ex: Cores de fulerenos em solução (magenta, vinho, amarelo/verde)	— quantidade de átomos na molécula
	Ex: fotoluminescência em grafenos	— manipulação da rede eletrônica
Nanomagnetita Fe₃O₄	— físico-químicas e biológicas: magnéticas, baixa temperatura de Curie, biocompatibilidade, transporte molecular, alta coercividade, baixa toxicidade etc.	— dimensão, morfologia, estrutura cristalina, temperatura, dispersão e distribuição de tamanho, efeito mesoscópio, tamanho quântico, efeito de superfície, etc
	Ex: Superparamagnetismo	— modificação de superfície
Nanodióxido de Titânio TiO₂	— físico-químicas e biológicas: fotocatalíticas, hidrofobicidade microbiana, antibactericidas, antifúngicas, desodorizantes, autodesinfetantes, alta estabilidade fotoquímica, redox, etc.	— dimensão, morfologia, estrutura cristalina, dispersão e distribuição de tamanho, química de superfície, radiação UV, etc.
	Ex: autodesinfetante	— radiação UV

Fontes: Com base em Alves (2014), Bai *et al.*, (2020), Silva (2009), Grassechi (2015), Benedito, Silva e Santos (2017), Zhang

et al. (2016), Cornejo (2015), Luna (2011), Peng e Yang (2009), Fileti, Malaspina e Tada (2014), Naikoo *et al.* (2021), Stepanov *et al.* (2014), Cao *et al.* (2013), Rocha Filho (1996), Piñeiro *et al.* (2020), Scapim *et al.* (2017), Wei *et al.* (2012), Bogdan *et al.* (2015).

Em observação a alguns termos do quadro, a propriedade física de espalhamento Raman, revelada pelas nanopartículas de ouro, surge quando a luz monocromática atinge a superfície de uma partícula, quando a partícula é muito menor que o comprimento de onda da luz ocorre a dispersão de Rayleigh. O espalhamento Raman representa a diferença de energia entre o fóton espalhado e o fóton incidente, que corresponde à energia do modo vibracional da molécula adsorvida. Portanto, uma imagem Raman pode fornecer informações vibracionais com alta resolução, próximo a 0,1 nm, denominada de impressão digital química de moléculas únicas (BAI *et al.*, 2020).

Referentes as cores apresentadas pelas nanopartículas, vale observar que metais como Au, Ag e Cu apresentam oscilações coletivas da densidade eletrônica de elétrons livres (*plasmons* de superfície) na banda de condução, originando cores intensas nos sistemas (Silva, 2009).

Segundo Wessels *et al.* (2004), as propriedades elétricas de filmes com nanopartículas de ouro podem ser, também, influenciadas conforme a conjugação de grupos ligantes e distância entre partículas. Desse modo, as moléculas podem ser constituídas por conexões seriais de partes eletricamente isolantes (não conjugadas) e condutoras (conjugadas). De certa forma, o tipo de contato da molécula tem uma influência pronunciada sobre as propriedades óptica e elétricas dos filmes.

No caso da propriedade de conversão fototérmica, as nanopartículas de ouro, após absorver fótons, convertem a energia da luz em energia cinética. Parte dessa energia cinética é transformada em energia de vibração da rede (devido aos elétrons em movimento espalhados pela rede). A energia de vibração gerada pela rede é finalmente expressa em forma de calor, denominado de “efeito fototérmico”. Essas propriedades das nanopartículas de ouro as tornam adequadas em tratamentos e diagnósticos de tumores, dentre outras aplicações já citadas anteriormente (Bai *et al.*, 2020).

A baixa temperatura de Curie, uma propriedade da nanomagnetita, se refere ao ponto Curie (Pierre Curie), ou ponto crítico de temperatura acima da qual os materiais perdem suas propriedades magnéticas permanentes (Costa, 2013).

Em análise do quadro de propriedades de substâncias em nanoescala

apresentado, podemos observar que as propriedades são reveladas de acordo com uma variedade de condições, inclusive podem, também, depender de alterações de outras propriedades. Segundo Silva (2011), essa visão relacional de substância dificilmente pode ser observada entre estudantes de Ensino Médio e, em alguns casos, até entre estudantes de graduação. Geralmente, estudantes possuem uma concepção relacional referente às propriedades das substâncias apenas quando se referem a condições de temperatura e pressão, sem considerar as relações com o meio, por exemplo.

Considerando que um dos maiores problemas da Ensino de Química para muitos estudantes é pensar em substância como objeto estático com propriedades fixas, é preciso priorizar o ensino que permita uma evolução conceitual de substância. Na visão interacionista, por exemplo, a perspectiva de identidade química poderá ser aprimorada e mais bem explorada se atentando as interações e aos fatores que afetam as propriedades das substâncias, ao invés de focar em componentes individuais (Ngai; Sevia; Talanquer, 2014).

Silva (2011) conclui que falta reflexão acerca desse tipo de concepção relaciona/interacionista de substância na graduação, a fim de que essas ideias sejam difundidas ao nível de abstração necessário para se conceber o conceito de substância. Ngai, Sevia e Talanquer (2014) alertam quanto a necessidade de uma abordagem conceitual mais gradual, sistemática e coerente no Ensino de Química, por meio da qual a ideia de identidade química emergja a partir da compreensão significativa dos conceitos básicos da química, como, por exemplo, a substância química. Nesse caso, o ensino deve explorar a resposta das propriedades a diversas interações e envolver o estudante no mundo submicroscópico.

A ideia de propriedades relacionais no ensino não é nova. Mortimer (1997) já havia abordado essa visão ao discutir as categorias para um perfil conceitual de molécula, mostrando que algumas propriedades químicas (acidez, basicidade, redox, etc.) dependem de interação entre moléculas. Entretanto, queremos sugerir a composição textual da HFCTS como mais uma possibilidade de abordagem para aprimorar o ensino de substância química, conceito este que representa a espinha dorsal da Ciência Química, como destaca Pauling (1967).

Essa composição textual apresenta a Nanotecnologia como um tema a ser abordado no ensino de substância química em complementação ao texto histórico-filosófico, a fim de trazer possibilidades de compreensão dos modos de

pensar o conceito de substância na história e no ensino. Além disso, esperamos impulsionar a evolução conceitual no sentido de uma visão mais complexa de substância, condizente com a ciência do século XXI. Segundo Bogdan e colaboradores (2015), a Nanotecnologia criou uma oportunidade única para modificar a matéria ao nível atômico-molecular e partículas, apresentando materiais estruturalmente alterados, com propriedades físicas, químicas e biológicas totalmente diferentes dos seus materiais correspondentes em microescala, que podem ser bastante exploradas no Ensino de Química.

6.4.3.1 A substância nano e a epistemologia de Bachelard: algumas relações

Delinearemos, também nesse tópico, alguns estudos referentes à Nanotecnologia e a epistemologia de Bachelard. Alguns obstáculos epistemológicos da divulgação da Nanociência e Nanotecnologia foram analisados por Sánches-Mora e Parga (2011) que consideram que a percepção das nanoescalas podem funcionar como obstáculos da compreensão do conhecimento científico, durante o ensino, visto que a nanoescala não é visível ao olho nu (um obstáculo primário, segundo Bachelard).

Além disso, Crone (2006) observa que o público não é familiarizado com conceitos de átomo, moléculas e descontinuidade da matéria, de modo que raciocinam erroneamente que as propriedades das substâncias em nanoescala são as mesmas das substâncias em demais escalas. Esse, dentre outros fatores, torna a apropriação da Nanotecnologia pelo público um desafio que necessita da superação de vários obstáculos.

Diante disso, entendemos que abordar, inicialmente, as substâncias em escala nano, integradas as suas múltiplas propriedades relacionais/interacionais e aplicações tecnológicas no ensino, permite que estudantes principiarem de um conhecimento prático dessas substâncias e desses materiais, no qual as propriedades e aplicações sejam, de certo modo, observáveis ou mais bem compreendidas. Posteriormente, é possível estudar melhor a escala nano e suas partículas (átomos, moléculas...). Um exemplo seria citar a influência do tamanho e formato das nanopartículas com a coloração em solução (rever Figura 49), uma forma de trazer um conhecimento aparente aos olhos. Desse modo, assim como argumentado por Sánches-Mora e Parga (2021), à medida que superamos ou esclarecemos um

obstáculo primário, facilitaremos a introdução do tema da Nanotecnologia ao público.

Segundo Bachelard (2009), o pensamento científico possui dupla direção, um sentido à explicação (à unidade) e outro sentido à “descoberta” e à invenção. Para o autor, a Química Moderna tem um lado artificial da experimentação química que pode levar a interrupções e modificações estruturais da matéria. Como sugerido por Chaverri e Barquero (2014), esse trabalho inclui a Nanotecnologia como uma representante da ciência “artificial” da Química Moderna com grandes inovações científico-tecnológicas e potencialidades para enriquecer o Ensino de Química, além de aproximar estudantes da visão relacional de substância química.

A Nanotecnologia permite a criação de nanomateriais e nano substâncias com propriedades peculiares e fenômenos diversos, bastante impactantes para a sociedade tecnologia, como visto no item 6.4. Perante isso, podemos considerar que a Nanotecnologia cumpre um papel que Auguste Laurent, citado por Bachelard (2009), denomina de “prever novos fatos”. Nesse contexto a Ciência Química não limita à descrição de fenômenos, mas antecipa novos.

Ao observarmos os processos e estratégias de síntese de nanomateriais, fica claro que cada qualidade/característica/propriedade é regulada e esperada pelos métodos previamente desenvolvidos cientificamente. Bachelard (2009) argumenta que um fenômeno químico é provocado e é justamente esse o caráter profundo de ciência artificial da Química Moderna. Assim, para o filósofo, as pesquisas modernas precisam suscitar a própria substância química e à criação de novas substâncias.

Outro aspecto observável é que, a complexidade de uma substância nano requer uma pluralidade de informações quanto às suas propriedades, características, casualidades intermoleculares e externas para podermos nos aproximar de seu “estado atual”. Tomamos como exemplo o Carbono Nano, cuja dimensão, morfologia, rede eletrônica, interações atômico-eletrônicas, intermoleculares, superfície, número de átomos, ligações químicas e demais fatores influenciam diretamente em suas propriedades, e assim como demais nano substâncias representadas no Quadro 27. Isso mostra o quanto falhamos em limitar o conceito de substância em propriedades bem definidas.

Esse aspecto de complexidade das nano substâncias está relacionado às concepções de Bachelard (2009). O autor comenta que os químicos do final do século XIX não compreenderam bem essa visão (relacional), com exceção

de Oswald que revelou a necessidades de se imaginar uma pluralidade de propriedades para se indicar uma substância em particular. Diante disso, Bachelard enfatiza ser necessário estabelecer uma variedade de correspondências (reações, agentes físicos externos) da substância para que se possa compreender as propriedades da substância. Além disso, as nano substâncias permitem o entendimento da visão relacional ao delinear as interrelações entre matéria e energia por meio de seus condicionamentos atômico-molecular-eletrônicas, gerando diferentes fenômenos óticos, por exemplo. Esse contexto pode ser elucidado pelas palavras de Bachelard:

[...] quando se vê um fenômeno como simples fusão intervir de maneira tão complexa na evolução de um substância definida pelos critérios em geral mais seguros, é se levado a restabelecer uma relatividade essencial entre as características químicas e as características físicas. Já não se pode ceder à sedução de uma ideia simplista que julga poder atribuir, de uma vez por todas, uma propriedade a uma substância, deixando às circunstâncias a tarefa de explicar certas modalidades dessa propriedade (Bachelard, 2009, p.51).

Em outras palavras, convém considerar as circunstâncias internas e externas, físicas e químicas, para se compreender a manifestação de uma propriedade e o estado da substância. O mesmo ocorre quando se trata de categorizar ou classificar substâncias. Se substâncias são “estados” (como dito por G.Urbanin), eles representam apenas um aspecto que serve de primeira observação, sendo insuficiente para determinar parentescos entre substâncias (Bachelard, 2009).

Entendemos que essa concepção precisa ser desenvolvida por professores em formação. Pois, percebemos em livros didáticos e no Ensino de Química, em geral, a grande tendência em ensinar Substância Química por meio de classificação de propriedades, no entanto, sem abranger esse aspecto interacional. A seguir apresentaremos algumas sugestões de abordagens para a CT e o Ensino de Química, lembrando serem apenas modelos sugestivos e que, portanto, cabe aos professores as devidas modificações e elaborações necessárias a cada contexto.

6.5 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES PARA O ENSINO DE QUÍMICA

Consideramos que essa proposta de Composição Textual (CT), elaborada na perspectiva da HFCTS, representa um modelo que oferece, ao professor em formação, o conhecimento da noção de perfil conceitual contextualizado. A CT é

sugerida como um possível recurso de ensino que apresenta potencialidades para que professores possam elaborar estratégias didáticas voltadas à evolução conceitual de substância, progressivamente, viabilizando uma aprendizagem significativa de conceitos químicos.

Mortimer (1996) elaborou a teoria do perfil conceitual como modelo alternativo à ideia de mudança conceitual do construtivismo, pois estudos revelam que ideias prévias de estudantes não são simplesmente “abandonadas” como esperado. E como bem cita Bachelard (1978), uma única doutrina filosófica (ou modos de pensar) não é suficiente para descrever/explicar um conceito científico. Como sugestão de ensino, o texto da proposta HFCTS pode ser adaptado em diferentes formatos, segundo os objetivos, para o ensino na formação docente e em curso de formação continuada de professores, permitindo uso de métodos de ensino e de aprendizagem construtivistas avaliativos, como, por exemplo, Mapas Conceituais (Moreira, 1980, 2006) ou Diagramas V (Gowin, 1981; Novak; Gowin, 1996; Moreira, 2006).

A composição textual pode ser dividida em módulos de estudos e acompanhada de atividades relacionadas. Para o Ensino Médio, entendemos ser necessário fazer adaptações que torne a linguagem mais acessível. Ainda, é possível, que professores escolham recortes do texto para abordagem de outros conceitos químicos, como, por exemplo, discutir o átomo e seu realismo/substancialismo na História da Química e explorar o mundo submicroscópico de possibilidades do átomo da Química Moderna, como descrito por Heisenberg:

Nas experiências com fenômenos atômicos, temos que lidar com coisas e fatos, com fenômenos que são tão reais quanto aqueles da vida cotidiana. Mas os próprios átomos e partículas elementares não exibem o mesmo tipo de realidade: eles dão lugar a um universo de potencialidades ou possibilidades, em vez de um mundo de coisas e fatos (Heisenberg, 1987, p. 140).

A Nanotecnologia se enquadra adequadamente ao Ensino de Química por meio de uma abordagem inter e multidisciplinar do Ensino de Ciências da Natureza, por exemplo. Portanto, essa proposta de composição textual permite inúmeras adaptações criativas ao ensino e aprendizagem de química, além da proposta de evolução conceitual de substância química.

Nessa composição textual incluímos e parafraseamos a teoria de perfil conceitual para substância durante o texto, com o intuito de que a ideia completa,

como proposta, seja avaliada por especialistas na área. Entretanto, no caso de uma abordagem de ensino cujo objetivo seja investigar os perfis conceituais individuais de estudantes, como feito por Silva (2011), o texto deve ser adaptado contendo apenas as discussões históricas, epistemológicas, científicas, tecnológicas e atividades pertinentes, sem revelar a teoria de perfis conceituais de substância, para que isso não interfira na investigação da aprendizagem.

Desse modo, o texto poderá explorar os recortes históricos e epistemológicos, os perfis de Bachelard, e principalmente, as propriedades das nano substâncias e suas dependências, como vimos no quadro acima. A partir disto, com a análise de respostas aos devidos questionamentos (referente a substância química, elementos, molécula, etc.), é possível esboçar o perfil conceitual individual.

Lambach e Marques (2011), que investigaram estilos de pensamentos e obstáculos epistemológicos na construção do conceito de substância química, concluem, com base em realistas críticos como Bachelard e Ludwik Flek, que o conhecimento de um certo objeto de estudo é um construto histórico, desse modo, a verdade a respeito de tal objeto não está nem no passado e nem no presente, mas é foco constante de investigação crítica para ser mais bem conhecida no futuro. Nesse contexto, a substância química no ensino pode ser explorada de tal modo a promover uma reflexão com os momentos históricos, com questões como: do que são constituídos os materiais, os objetos que nos rodeiam? Como os pré-socráticos, os atomistas, os pneumaticistas, por exemplo, responderiam a essas mesmas indagações? São exercícios de reflexão que podem contribuir para que estudantes elaborem o conhecimento de modos de pensar distintos do fazer científico e conseqüentemente, seus perfis conceituais.

Além das propriedades dos nanomateriais e suas sujeições, professores poderão explorar outros conceitos da química com suas noções interacionistas, como, por exemplo: acidez/basicidade, comportamento redox, efeito dos solventes em reações (exemplos de propriedades químicas relacionais que dependem das interações entre moléculas, além de sua estrutura) (Mortiner, 1997); estereoquímica (enantiômeros dependem da não sobreposição de moléculas); valência, eletronegatividade (não existe por si mesma e nem é uma propriedade elementar de um determinado elemento, mas emerge da relação entre átomos de elementos quando em ligações químicas) (Silva, 2017; Oliveira, 1995).

Fiorentini e Roletto (2000) atentam para a necessidade de se adequar

o ensino do conceito de substância com uma abordagem que tenha como partida do nível macroscópico para o nível submicroscópico. Diante disso, podemos concluir que a Composição Textual na perspectiva da HFCTS possibilita esta organização, visto que os momentos históricos abordam, inicialmente, uma visão macroscópica da matéria que segue se modificando ao longo da história até se chegar ao conhecimento do nível submicroscópico, que nesse caso, pode ser bem representado pela Nanotecnologia.

Ao analisarmos os trabalhos desenvolvidos na área, podemos destacar algumas atividades que podem ser articuladas com a composição textual apresentada e com suas devidas adaptações, como representa o Quadro 28. Na sequência, o Quadro 29 apresenta um modelo de como utilizar a Composição Textual HFCTS no planejamento de Ensino de Química e na análise do processo de aprendizagem.

Apesar da proposta da Composição Textual da HFCTS ser destinada à Formação Docente inicial e continuada, optamos por elaborar um modelo de planejamento de aula “genérico” (Quadro 29). Desse modo, esse modelo poderá ser utilizado em um curso para professores e, também, servir de exemplar para que professores utilizam a CT no Ensino Médio de Química, respeitando as devidas adaptações necessárias à cada contexto.

Quadro 28: Potenciais papéis/articulações que a Composição Textual (CT) poderá desempenhar com base nas atividades de investigações de ensino apresentadas na literatura pesquisada

Atividades e Sugestões, Nelson (2002) :
“Ensino de Química progressivo: das substâncias a átomos e moléculas, a elétrons e núcleos”. O autor sugere a organização de ensino em três níveis: nível um — macroscópico ou a granel; nível dois — atômico e molecular; nível três — eletrônico e nuclear. A Química no nível dois e três pode ser derivada de observações no nível um. Sugestões de ordem de conceitos para abordagens no ensino: Nível um ao nível dois: transformações químicas; fenômenos básicos (lei da conservação da massa, fenômeno de composição constante, proporções múltiplas, volumes gasosos proporcionais); átomos e moléculas (teoria de Dalton e Hipótese de Avogadro, composição constante); composição atômica (Cannizzaro, massa atômica da molécula); substâncias moleculares e não moleculares (voláteis, semivoláteis, não voláteis...); valência; tabela periódica. Nível três: eletrólitos; íons; cargas iônicas; o elétron; isótopos, núcleo e a estrutura atômica.
Articulações com a CT
Se observarmos a organização da CT, podemos perceber que ela está conforme as sugestões de ensino de Nelson (2002). A CT permite o ensino progressivo de Química e uma articulação entre os três níveis da Química, na qual é possível explorar cada conceito científico partindo da filosofia grega e alquimia (nível macroscópico do conceito de substância e elementos primordiais da matéria), perpassado pelo conceito de substância da Idade Moderna (noção de elemento químico); pela substância na Idade Contemporânea (nível atômico-molecular de substância, elemento, átomo, molécula) e por final, pela substância química no século XX e XXI (nível eletrônico e nuclear). Nesse contexto, a Nanotecnologia exerce papel importante por trabalhar as propriedades dos materiais nos três níveis de complexidade e, principalmente, no nível eletrônico. Portanto, a CT gera possibilidades para o ensino e para a aprendizagem de vários conteúdos estruturantes da Química, além do conceito de substância, sem o descomprometimento com as questões epistemológicas.
Atividades e Sugestões, Silva (2011); Sabino e AmaraL (2018):
Silva (2011) elaborou um questionário para avaliação prévia de zonas de perfis conceituais de substância química entre estudantes de Ensino Médio e de Graduação em Química. O mesmo questionário foi utilizado por Sabino e Amaral (2018) com o mesmo intuito, porém com a experiência de diferentes atividades de ensino e de aprendizagem em uma sequência didática. Segue algumas das questões de Silva (2011): 1) Para você, o que é uma substância química? 2) Cite ao menos 5 exemplos de elementos químicos, substâncias e materiais. Justifique sua classificação. 3) Avalie se as afirmações abaixo estão corretas, justificando cada resposta. — O ouro é amarelo, logo átomos de ouro são amarelos. — O calor é uma substância que se encontra dentro dos corpos. — Uma maçã contém várias substâncias. — Uma molécula individual possui as mesmas características da substância inteira da qual ela faz parte. — O ponto de ebulição de uma molécula de água seria 100°C 4) Para Aristóteles e outros filósofos, a água, terra, ar e fogo, eram substâncias ou elementos primordiais a partir dos quais toda Natureza foi formada, considerando determinadas combinações. Você concorda com essa visão filosófica? Ela é semelhante à visão química de substância que temos hoje? Justifique. 5) O que você entende por substância pura? Dê um exemplo. 6) Qual a afirmação abaixo está correta? Justifique. — Átomos semelhantes se juntam e formam os elementos (substâncias elementares). Esses elementos, por sua vez, podem se combinar para formar um composto (substâncias compostas). Estes compostos são, portanto, formados por substâncias elementares. Várias substâncias compostas juntas, formam um material. — Vários materiais juntos formam uma substância. Esta pode ser decomposta em seus elementos de origem (ou substâncias elementares). Várias moléculas iguais juntas, de mesma propriedade, formam o que conhecemos por “elemento químico”. 7) Existem características que são próprias das substâncias químicas. Podemos considerar que uma substância apresenta essas características ou propriedades em qualquer condição de temperatura e pressão? Em qualquer sistema, ela sempre apresentará sempre as mesmas propriedades? Justifique. 8) Qual a importância de sabermos as propriedades das substâncias?
Articulações com a CT
Visto isso, podemos articular a CT com o mesmo questionário, ou com adaptações, caso necessário. Com base na ordem de planejamento de ensino proposta por Nelson, na proposta de planejamento com base no perfil conceitual de Sabino e Amaral (2018) e no questionário de Silva (2011), podemos propor uma conjuntura de ensino aprendizagem para a CT em módulos: — Módulo 1: Item 6.1(Da Substância à Substância Química) até o item 6.1.3 (Substância na Idade Moderna); — Módulo 2: item 6.1.4 (Substância na Idade Contemporânea) até item 6.1.4.2 (Século XIX: reconstrução de contextos) — Módulo 3: item 6.1.4.3 (Substância no Século XX: matéria, energia e propriedades) até item 6.4 (Substância Química na Nanotecnologia). Segue a proposta de ensino no quadro a seguir.

Fonte: A própria autora.

Quadro 29: Sugestão de utilização da Composição Textual HFCTS no Planejamento de Ensino de Química e na Análise do Processo de Aprendizagem

Nível de Complexidade	Atividades com a CT		Dimensão Epistêmica da HFCTS	Dimensão Pedagógica
	Descrição	Objetivo	Objetivo	Ações
Aula 1: Questionário de avaliação prévia das zonas de perfil conceitual para Substância Química.				
Aulas 2 e 3				
Nível 1: macroscópico	Leitura Módulo 1 da CT	Discutir aspectos históricos, epistemológicos e contextuais relacionados ao conceito de substância.	Conhecer a dimensão histórica e filosófica da concepção de substância.	Leitura individual/coletiva do texto.
	Discussão em pequenos grupos.	Promover discussões referentes às concepções relacionadas com zonas do perfil conceitual.	Elaborar o perfil conceitual de substância e elemento químico no contexto histórico e epistemológico da construção e conceitual	Pequenos grupos de discussões de questionamentos.
	Atividades com exemplos do cotidiano (maçã que escurece após cortada, prego enferrujado, estados físicos...).	Discutir aspectos visíveis de transformação de substâncias, propriedades organolépticas, físicas e químicas das substâncias.	Compreender a visão macroscópica das propriedades das substâncias químicas.	Aula expositiva e prática, conforme os materiais selecionados.
	Construção de Mapas Conceituais A	Analisar a representação visual dos conhecimentos sintetizados por estudantes.	Viabilizar a construção do conceito de substância do nível macroscópico no contexto histórico e filosófico.	Exposição e explicação de Mapas Conceituais.
Aulas 4 e 5				
Nível 2: atômico e molecular	Leitura Módulo 2 da CT	Discutir aspectos históricos da construção dos conceitos de elemento químico, moléculas, substâncias simples e compostas, e misturas pelo aspecto atômico molecular.	Conhecer a dimensão histórica e científica da concepção de substância.	Leitura individual/coletiva do texto.
	Discussão em pequenos grupos.	Promover discussões referentes às concepções relacionadas com zonas do perfil conceitual.	Elaborar o perfil conceitual de substância, elemento químico, molécula, substância simples e misturas no contexto histórico e científico da construção conceitual.	Pequenos grupos de discussões de questionamentos.
	Atividades com substâncias ácidas e básicas...	Discutir as propriedades das substâncias e comportamentos em diferentes meios.	Compreender a visão atômica e molecular da concepção de substância química	Aula expositiva e prática, conforme os materiais selecionados.
	Construção de Mapas Conceituais B	Analisar a representação visual dos conhecimentos sintetizados por estudantes	Viabilizar a construção do conceito de substância do nível atômico-molecular no contexto histórico e científico.	Exposição e explicação de Mapas Conceituais.
Aulas 6 e 7				
Nível 3: eletrônico e nuclear	Leitura Módulo 3 da CT	Discutir aspectos científico-tecnológicos do conceito de substância química no nível eletrônico e nuclear.	Conhecer a dimensão científica, tecnológica e social da concepção de substância.	Leitura individual/coletiva do texto.
	Discussão em pequenos grupos.	Promover discussões referentes às concepções relacionadas com zonas do perfil conceitual.	Elaborar perfil conceitual e a noção de propriedades interacionais das substâncias químicas.	Pequenos grupos de discussões de questionamentos.
	Atividades com imagens/vídeos e representações de Nanomateriais	Discutir as propriedades relacionais dos nanomateriais.	Compreender a visão eletrônica e nuclear de substância química.	Aula expositiva e prática, conforme os materiais selecionados.
	Construção de Mapas Conceituais C	Analisar a representação visual dos conhecimentos sintetizados por estudantes.	Viabilizar a construção do conceito de substância do nível eletrônico nuclear no contexto científico, tecnológico e social	Exposição e explicação de Mapas Conceituais.
Aula 8: Questionário de avaliação final das zonas de perfil conceitual para Substância Química.				

Fonte: A própria autora.

Vale destacar que as quantidade de aulas sugeridas no Quadro 29 é apenas uma conjectura, pois entendemos que as atividades que poderão ser articuladas à CT (mesmo que esta seja resumida/recortada/adaptada previamente pelo professor), bem como a avaliação por mapas conceituais, demandarão maior tempo e, portanto, o número de aulas deverá ser ajustado.

Esse exemplo de planejamento de Ensino de Química gradual, permite que professores avaliem diferentes aspectos do ensino e da aprendizagem, além da evolução das zonas de perfil conceitual de substância, como, por exemplo, avaliar a potencialização da aprendizagem de conceitos científicos por meio da elaboração de mapas conceituais. Segundo Moreira (2012), os mapas conceituais são potencialmente facilitadores de uma aprendizagem significativa de conceitos científicos, além de evitar técnicas de aprendizagem mecânica. Nesse contexto, professores podem atribuir novos significados aos conceitos de ensino, aprendizagem e avaliação. Esperamos que essa proposta de Composição Textual da HFCTS possa “frutificar” nas pesquisas e no Ensino de Química.

7 PERCURSO TEÓRICO-METODOLÓGICO DA PESQUISA

O encaminhamento teórico-metodológico foi conduzido tendo como base a pesquisa das publicações científicas referentes à temática, dentre outros, seguida pela elaboração da Composição Textual HFCTS e do questionário avaliativo. Na sequência, apresentamos a natureza da pesquisa, os aspectos teórico-metodológicos da elaboração da Composição Textual (CT), os aspectos relevantes dos saberes docentes para a avaliação da CT e a Análise de Conteúdo do Questionário.

7.1 NATUREZA E FUNDAMENTOS DA PESQUISA

Segundo Silveira e Córdova (2009), a atividade nuclear da Ciência é a pesquisa, visto que promove uma aproximação e entendimento entre a realidade e a investigação, por meio de um inquérito ou exame minuciosos. A pesquisa, cumpre, entre outras funções, a função social, dentre as várias atividades importantes das instituições universitárias, pois se compreende que o ensino não pode ser organizado como simples transmissor de conhecimentos, tampouco visto como reprodutor de informações (Reis, 2009).

A pesquisa qualitativa ocupa lugar de destaque na área de Ensino e Educação. Por meio dessa modalidade de pesquisa, é possível compreender conteúdos além de suas descrições, desvendar seus significados subjetivos. Nesse contexto, o papel do pesquisador não se limita em observar fenômenos, mas construir significados por meio de análises, sendo também, um determinante do conhecimento produzido (Reis, 2009). Para Bardin (2016) uma análise de dados qualitativos traz a possibilidade de um procedimento mais intuitivo, adaptável e maleável referente à evolução das proposições, sendo válida na elaboração das deduções específicas a respeito de um acontecimento ou uma variável de influência precisa.

Quanto à sua natureza, a presente pesquisa pode ser classificada como qualitativa, pois visa revelar percepções e compreensões do contexto apresentado. Malhotra (2006) enfatiza que a investigação qualitativa permite melhor visão e compreensão do contexto do problema. Quanto ao objetivo geral, se enquadra como uma pesquisa exploratória, visto que envolve uma investigação por meio de questionário promovendo o intercâmbio entre pesquisador e participantes. Para Gil

(2002), a pesquisa exploratória busca, principalmente, aprimorar ideias ou revelar intuições.

Reis (2009) comenta que a etapa de pesquisa de revisão de literatura, por meio da qual se busca por autores e obras que tratam da mesma temática, permite que o pesquisador se aproprie de conhecimentos necessários para a compreensão mais profunda do assunto. Desse modo, foi realizada uma revisão de literatura por meio de plataformas digitais com o uso de palavras e frases-chave dos assuntos pertinentes à pesquisa em idiomas português, inglês e espanhol. Assim, os capítulos 1, 2 e 3 desta tese foram organizados para apresentar o resultado do estudo de revisão das publicações científicas para melhor delineamento do objetivo e do problema de pesquisa. A partir desses capítulos, deu-se a elaboração dos capítulos 4 e 5 com os pressupostos básicos da composição textual. A composição textual resultante foi apresentada no capítulo 6.

7.2 A COMPOSIÇÃO TEXTUAL (CT)

Segundo Batista (2016), a investigação de HFC em abordagens contextualizadoras busca a construção de circunstâncias favoráveis de aprendizagem. Contudo, um dos problemas relevantes de produzir uma narrativa/síntese/construção histórico-epistemológica é que professores (em formação, ou já formados) não têm acesso adequado a reconstruções histórico-epistemológicas em diversos assuntos das ciências, sendo muitas delas em línguas estrangeiras. Diante desse quadro de dificuldades, Batista (2016) sugere como proposta de solução o enfoque teórico-metodológico para elaboração de “composições histórico-filosóficas”.

O principal objetivo do processo metodológico de composição é construir uma abordagem histórico-epistemológica que esclareça a epistemologia de um fenômeno (ou conceito) por meio de episódios históricos, na qual os conceitos condutores da construção textual proposta são a inteligibilidade, os valores cognitivos e a fidedignidade história da informação difundida (Batista, 2016). Nesta pesquisa, elaboramos uma composição textual histórico-epistemológica e científico-tecnológica para elucidar a construção do conceito e dos diversos modos de pensar a substância química no seu processo de evolução histórica. Portanto, essa composição textual HFCTS condiz com uma organização interdisciplinar, envolvendo diferentes áreas de

conhecimentos, desde a História, e Filosofia da Ciência e a CTS com a Nanotecnociência, cuja essência é multidisciplinar.

Pinheiro, Silveira e Bazzo (2007) argumentam que para ocorrer a compreensão da inter-relação entre CTS por estudantes, é preciso haver reflexões que levem a uma alfabetização científica e tecnológica, diante dos avanços tecnológicos atuais. Assim, essa proposta de Composição Textual aborda o tema da Nanociência e Nanotecnologia como sugestão de abordagem CTS, enfatizando as inovações tecnológicas de novos materiais e substâncias, com o intuito de atingirmos o principal objetivo: trazer reflexões aos futuros professores quanto a Evolução Conceitual de Substância para uma noção interacionista ou relacional (visão da Química Moderna).

Como orientado por Batista (2016), essa composição textual da HFCTS atentou para a preservação da racionalidade e do contexto de cada episódio histórico construído, por meio de referenciais teóricos selecionados. De acordo com Matthews (1995), o sucesso do enfoque da História da Ciência como uma visão mais rica das ciências em sala de aulas depende, antes de tudo, da formação apropriada de futuros professores. Nesse sentido, essa composição textual intitulada “Da Substância à Nanotecnologia” com base na HFCTS é direcionada para a compreensão da evolução do conceito de substância química na formação docente, na formação continuada ou em serviço.

A composição textual, como proposta para o ensino na formação docente, foi elaborada com articulações de recortes histórico-epistemológicos específicos mais relevantes ao contexto do tema em questão e aos objetivos do seu ensino. Entretanto, alguns conceitos químicos secundários (atomismo, afinidade química, radioatividade, etc.) também foram comentados, devido ao seu grau de importância para a construção conceitual de substância em determinado momento histórico. Os capítulos 4 e 5 da tese contêm os pressupostos teóricos para uma composição textual (capítulo 6), ou seja, representam as fundamentações necessárias para a elaboração e organização do texto.

A pesquisa qualitativa lança mão de instrumentos de coleta de dados para serem, posteriormente, analisados e interpretados a fim de identificar novos conhecimentos a respeito do tema estudado (Reis, 2009). Segundo Gómes, Flores e Jiménez (1999), nessa fase, é importante que a pesquisadora ou o pesquisador exercite sua capacidade de flexibilizar o projeto de pesquisa, se permitindo tomar

decisões quanto às possíveis necessidades de modificações ou adequações que alterem o desenho da investigação, para que esta se torne mais produtiva. Cruz Neto (1998) diz que, após selecionar o campo da investigação, o pesquisador precisa se atentar a alguns cuidados como: a aproximação com os sujeitos, a apresentação da proposta de estudo, a sua postura em relação à temática e o cuidado teórico-metodológico.

Para analisar a composição textual proposta a partir da perspectiva de especialistas e profissionais de ensino na área, organizamos um único documento (Proposta de Composição Textual para o Ensino de Substância Química) contendo uma apresentação, fundamentação da proposta, a composição HFCTS de Substância Química, algumas sugestões para o ensino e um questionário, para discutir a relevância da proposta destinada à formação docente em Licenciatura em Química. O grupo de oito avaliadores foi composto por mestres e doutores em Ensino de Ciências (Química/Física), mestres e doutores em Química, e docentes do Ensino Médio de Química e da Licenciatura em Química. Logo, o Quadro 30 mostra (em tópicos) como a proposta foi apresentada aos analistas.

Quadro 30: Organização dos componentes da Composição Textual para a análise de profissionais do Ensino de Química

<i>Componentes</i>	Proposta de Composição Textual da História, Filosofia, Ciência, Tecnologia e Sociedade (HFCTS) para o Ensino de Substância Química
<i>Inicial (Pressupostos Teóricos)</i>	Apresentação e Introdução
	Unidade 1 - Pressupostos teóricos gerais para elaboração da proposta HFCTS na formação docente.
	Unidade 2 - Pressupostos teóricos específicos e organização da proposta HFCTS para evolução do perfil conceitual de substância química.
<i>Intermediário (CT)</i>	Unidade 3 - “ DA SUBSTÂNCIA À NANOTECNOLOGIA ”: uma composição textual na perspectiva da HFCTS para evolução do perfil conceitual de substância química na formação docente.
	Algumas Considerações e Sugestões para o Ensino
<i>Final (Avaliação)</i>	Questões para avaliação da Composição Textual (CT)

Fonte: A própria autora.

A parte inicial, composta pela apresentação e pelas unidades 1 e 2

compreendem os principais fundamentos teóricos que influenciaram a elaboração e compreensão da composição textual. Portanto, são conhecimentos prévios necessários para que o/a avaliador(a) (profissionais da área) perceba os passos raciocinados, a fim de se buscar os objetivos pertinentes com a composição da proposta didática textual, apresentada como unidade 3, na fase intermediária, cujas imagens estão no Anexo A. O questionário de avaliação será apresentado mais adiante.

7.3 OS SABERES DOCENTES E A AVALIAÇÃO DA CT

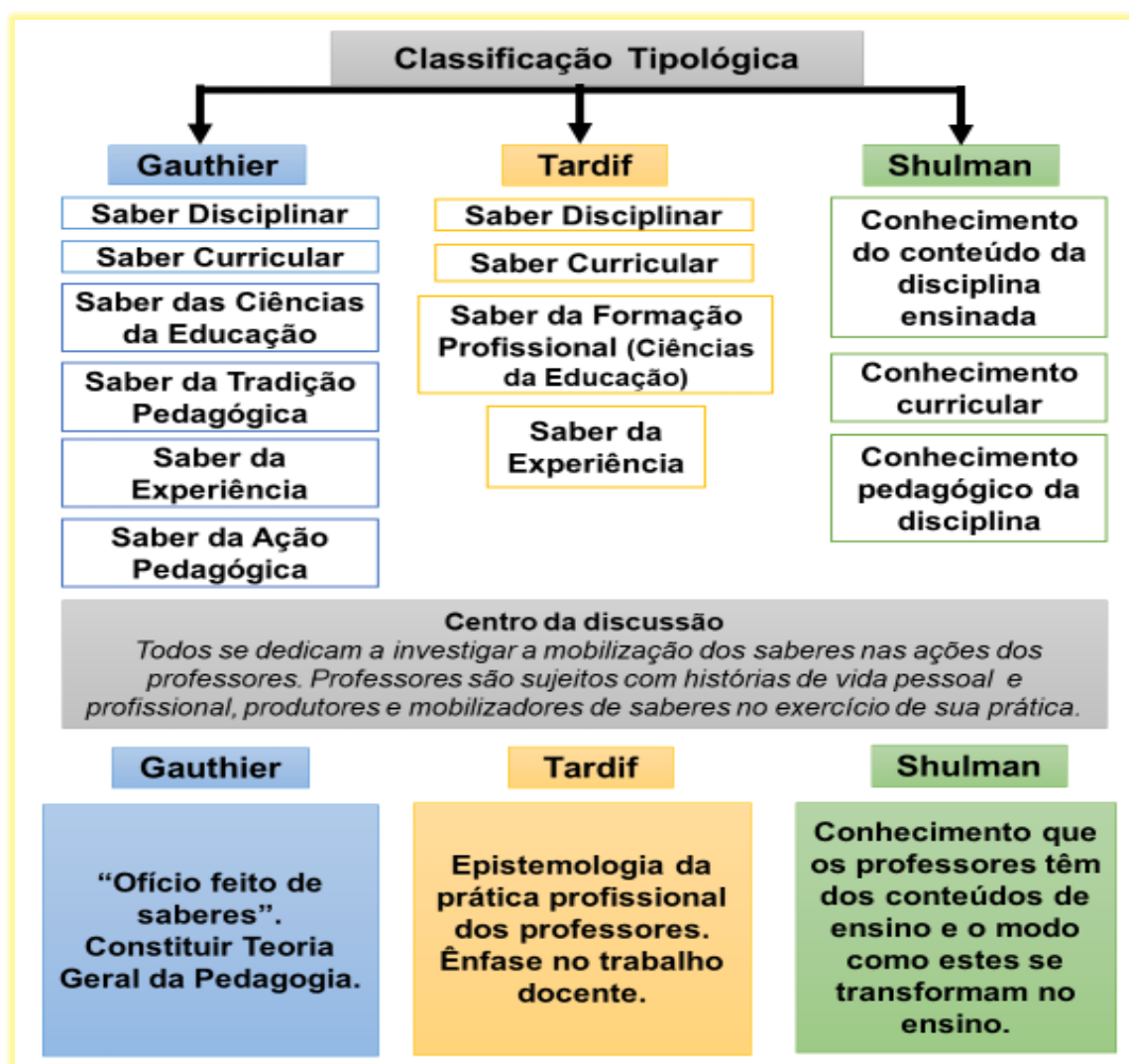
Por se tratar de um método de análise qualitativa na qual é utilizado um questionário para que especialistas e profissionais da área avaliem a CT, é importante considerarmos os saberes docentes que influenciam as análises e pontos de vista dos participantes da pesquisa no momento da interpretação da CT e da respostas ao questionário.

Inúmeras pesquisas nacionais e internacionais voltadas para a qualificação de profissionais de educação discutem questionamentos acerca dos tipos de saberes que precisam ser construídos por professores para poderem ensinar. Diante disso, autores como: Tardif, Lessard e Lahaye (1991); Shulman (1986), Gauthier *et al.* (1998) e Tardif (2014), buscaram elaborar uma categoria denominada “saber docente”, com o intuito de estudar as relações envolvidas entre professores e seus conhecimentos relativos ao domínio do seu campo de atuação, sendo considerados fundamentais à prática docente (Almeida; Biajone, 2007; Flores; Oliveira, 2018).

Ainda, há estudos que trazem aproximações teóricas entre as contribuições de Shulman, Tardif e Freire aos saberes profissionais docentes. Corrêa e Pasqualli (2022) destacam que as categorias centrais dos três autores se complementam e auxiliam na compreensão do processo de construção dos saberes, reafirmando o ato de ensinar enquanto prática docente crítica. Enquanto Freire destaca o ato político das relações humanas e suas complexidades relacionadas ao ensino, Shulman enfatiza o conhecimento pedagógico do conteúdo, transformado pelo professor permitindo a aprendizagem. Por final, Tardif entende que os reconhecimentos dos saberes próprios da realização da prática docente são a base para a profissionalização.

Nos estudos de Almeida e Biajone (2007) foram analisadas obras de três autores de referência: Shulman, Gauthier e Tardif, para entender como se definem saberes docentes na perspectiva conceitual e tipológica e identificar aspectos teóricos e práticos relevantes para a formação inicial de professores. Os resultados dessa análise revelam haver dispositivos, embasados na mobilização e na utilização dos saberes, que podem ser introduzidos na formação a fim de que futuros professores possam ter uma base solidificada pela formação científica, cultural, pedagógica e disciplinar, concretizando assim, uma Teoria do Ensino. Diante disto, Almeida e Biajone (2007) elaboraram um quadro comparativo (Figura 56) entre as concepções desses autores e suas classificações tipológicas, buscando estabelecer relações e considerações entre os mesmos.

Figura 56: Classificação tipológicas e particularidades das pesquisas de Gauthier, Tardif e Shulman



Fonte: Adaptado de Almeida e Biajone (2007, p.289).

Como é possível observar, há peculiaridades presentes nos interesses investigativos de cada autor: Gauthier — Teoria Geral da Pedagogia; Tardif — Pluralidade e Heterogeneidade do Saber; Shulman — Conhecimento do Conteúdo. Apesar das particularidades, é possível identificar similaridades referentes a mobilização dos saberes dos professores que nos levam a repensar a necessidade de transformação das práticas docentes e dos programas de formação inicial (Almeida; Biajone, 2007).

Como visto na classificação tipológica, Tardif qualifica os saberes docentes em quatro tipos. Tardif (2014) argumenta que as relações entre os professores e seus saberes são provenientes de diferentes fontes que dependem da sua natureza e possibilitam uma pluralidade de saberes docentes. Diante disto, o autor defini diferentes tipos de saberes docentes. Sua tipologia é apresentada no Quadro 31, conforme o resumo de Flores e Oliveira (2018).

Quadro 31: Saberes Docentes de acordo com Tardif

SABER	DEFINIÇÃO
Saberes da Formação Profissional	Conjunto de saberes que, baseados nas ciências e na erudição, são transmitidos aos professores durante o processo de formação inicial e/ou continuada. Também se constituem o conjunto dos saberes da formação profissional os conhecimentos pedagógicos relacionados às técnicas e métodos de ensino (saber-fazer), legitimados cientificamente e igualmente transmitidos aos professores ao longo do seu processo de formação.
Saberes Disciplinares	São os saberes reconhecidos e identificados como pertencentes aos diferentes campos do conhecimento (linguagem, ciências exatas, ciências humanas, ciências biológicas etc.). Esses saberes, produzidos e acumulados pela sociedade ao longo da história da humanidade, são administrados pela comunidade científica e o acesso a eles deve ser possibilitado por meio das instituições educacionais.
Saberes Curriculares	São conhecimentos relacionados à forma como as instituições educacionais fazem a gestão dos conhecimentos socialmente produzidos e que devem ser transmitidos aos estudantes (saberes disciplinares). Apresentam-se, concretamente, sob a forma de programas escolares (objetivos, conteúdos, métodos) que os professores devem aprender e aplicar.
Saberes Experienciais	São os saberes que resultam do próprio exercício da atividade profissional dos professores. Esses saberes são produzidos pelos docentes por meio da vivência de situações específicas relacionadas ao espaço da escola e às relações estabelecidas com alunos e colegas de profissão. Nesse sentido, “incorporam-se à experiência individual e coletiva sob a forma de hábitos e de habilidades, de saber-fazer e de saber ser” (TARDIF, 2002, p.38).

Fonte: Flores e Oliveira (2018, p.4) com base em Tardif (2002, p. 36-38).

A avaliação da CT foi feita por profissionais e especialistas participantes dessa pesquisa. O perfil dos/as avaliadores/as que avaliaram a CT e responderam ao questionário inclui professores especialistas, mestres e doutores em

Ensino de Ciências (Química e Física) e professores especialistas, mestres e doutores em Química, com experiência mínima de 5 anos e máxima de 30 anos de docência no Ensino Médio e/ou na Graduação de Licenciatura em Química, da cidade de Londrina, PR, Brasil.

Para a análise das respostas ao questionário nos atentamos aos Saberes Docentes, segundo Tardif, ao analisarmos as respostas do questionário. Visto que, como defende Tardif (2014), os professores produzem e portam saberes de teorias e ações de modo a comprometer seus atos e subjetividades. Assim, esperamos que as subjetividades dos participantes em suas repostas ao questionário possam enriquecer esse trabalho e incentivar futuras pesquisas na área.

7.4 PROCEDIMENTOS E INSTRUMENTOS DE ANÁLISE

Uma das técnicas de coleta de dados bastante presente na pesquisa em Ensino é o questionário, que consiste em um roteiro com questões (fechadas, semiabertas ou abertas). Segundo Reis (2009), a elaboração de um questionário como instrumento de entrevista exige cuidados como: clareza das informações, coerência das questões, estrutura lógica sequencial e progressiva. Para que isso seja comprovado, o ideal é testar o questionário, por meio de um estudo piloto.

Para esta pesquisa, adaptamos o questionário da tese de (Macedo, 2021), formado por cinco questões abertas a respeito da composição textual HFCTS, no qual visamos identificar a relevância da proposta para a formação de professores em vários de seus aspectos, segundo as/os analistas. As justificativas da escolha desse questionário para adaptação se referem: primeiramente, ao fato de Macedo (2021) utilizar a mesma metodologia de investigação (sua proposta de ensino foi analisada por especialistas que responderam ao questionário); em segundo, todos os enunciados das questões foram decodificados intersubjetivamente nos seus significados por integrantes do grupo de pesquisa IFHIECEM (Investigações em Filosofia e História da Ciência, e Educação em Ciências e Matemática — UEL) (<http://www.uel.br/grupo-pesquisa/ifhiecem/>).

Portanto, como sugerido por Reis (2009), esse questionário já foi testado, visto que suas adaptações se referem apenas aos conteúdos específicos da pesquisa. As imagens do questionário (Quadro 32) estão no Anexo B.

Quadro 32: Questionário para análise da Composição Textual HFCTS

1	Com relação a uma abordagem HFCTS, o estudo da História e Filosofia da Ciência e das relações CTS é um tema relevante para a Formação dos Professores? Por favor, explique sua resposta.
2	A composição textual HFCTS, na forma como está apresentada, contém elementos suficientes e adequados para a compreensão e utilização da mesma por professores? Por favor, comente sua resposta.
3	A composição textual apresentada relaciona os aspectos HFCTS com os aspectos conceituais de Substância Química?
4	A composição textual “Da Substância à Nanotecnologia” (Unidade 3) apresenta potencialidade e elementos conceituais que se mostram adequados e viáveis para serem trabalhados por professores nas suas aulas? Por favor, comente sua resposta.
5	Por gentileza, deixe seus comentários (aspectos positivos e críticas) a respeito da composição textual HFCTS elaborada para a formação de professores de Química, e sugestões de possíveis alterações.

Fonte: Adaptado de Macedo (2021).

Portanto, as questões investigam a relevância do tema para o Ensino de Química, a estrutura da proposta e sua utilidade, considerando as possibilidades de adaptações e a Formação de Professores. O questionário foi disponibilizado por correio eletrônico (e-mail), em forma de formulário do Google, para 10 avaliadores da área de Ensino de Química e de Ciências, obtendo 8 questionários respondidos. O perfil completo dos avaliadores e suas repostas na íntegra estão no Anexo C.

As respostas recolhidas das/os analistas foram avaliadas com base nos fundamentos de Análise de Conteúdo de Bardin. A técnica de análise de conteúdo elaborada por Bardin é classificada como um conjunto de técnicas de análise de comunicação e pode ser usada em diversas situações de pesquisa documental e de campo para analisar qualquer tipo de comunicação sujeito-pesquisador/a (Reis, 2009), que neste caso são as respostas do questionário.

A análise de conteúdo (Bardin, 2016) permite uma decomposição do texto das respostas em partes constituintes, pelas quais a pesquisador ou o pesquisador procederá em um estudo de cada parte, em busca de informações do contexto e do texto, para compreender as informações expressas e ocultas (Reis, 2009). Segundo Bardin (2016), a análise de conteúdo se estabelece em três diferentes fases (Quadro 33):

Quadro 33: Fases da Análise de Conteúdo

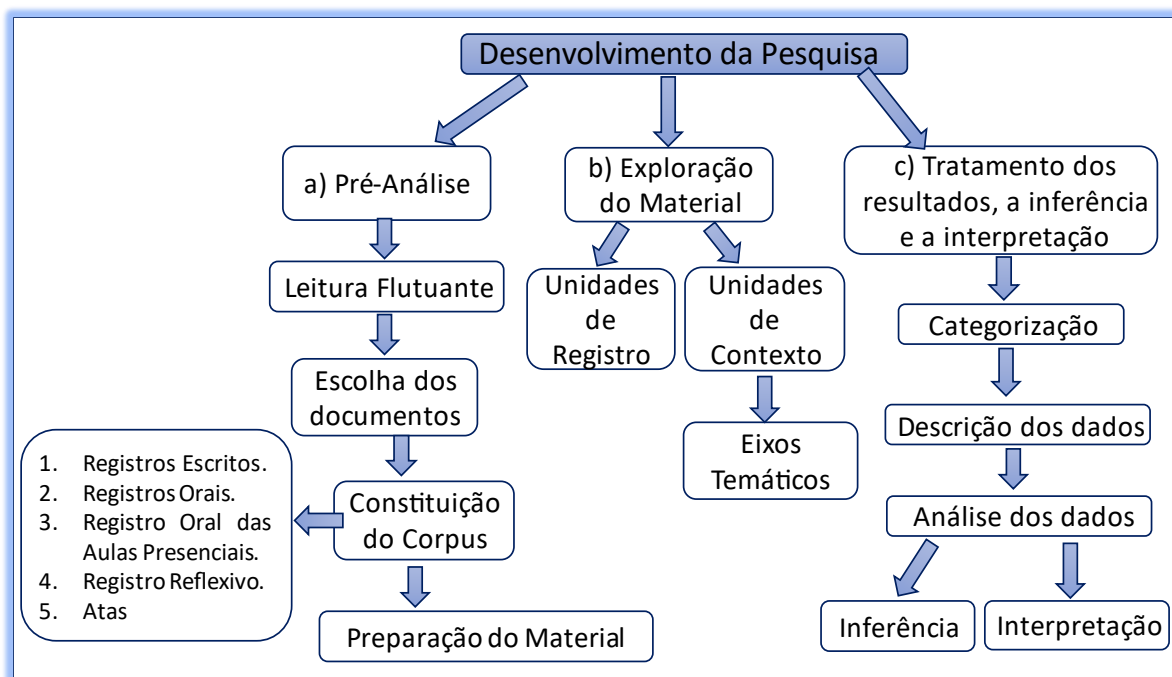
a	Pré-análise	Fase de organização, operacionalização e sistematização de ideias iniciais, por meio de um esquema de desenvolvimento de operações sucessivas.
b	Exploração do material	Fase de exploração do material para posterior construção de unidades de contexto (compreensão) e de registro (significação e codificação).
c	Tratamento dos resultados	Fase da análise reflexiva, crítica e da discussão dos dados com a fundamentação teórica. Há condensação e o destaque das informações, concluídos nas interpretações inferenciais.

Fonte: Com base em Bardin (2016).

Bardin (2016) esclarece que essa fase de pré-análise é composta pela escolha de documentos a serem analisados, pela formulação das hipóteses e dos objetivos e pela elaboração de indicadores que fundamentam a interpretação final. Portanto, nesta pesquisa utilizaremos os resultados de respostas ao questionário, apresentado acima, no Quadro 30, como parte do *corpus* da pesquisa na fase de pré-análise. As fases *b* e *c* serão abordadas mais adiante, no tópico de unidades de contexto e de registro.

A análise de conteúdo tem um objetivo claro, a inferência, que se realiza por meio de indicadores de frequência que podem ser combinados e classificados. A inferência é uma dedução lógica de conhecimentos (vestígios, documentos, dados...) a respeito do emissor da mensagem. As inferências esclarecem principalmente dois tipos de problemas: “o que levou a determinado enunciado?” e “quais as consequências que determinado enunciado vai provavelmente provocar?” (Bardin, 2016, p.45).

Diante disto, Bardin (2016) estabelece três considerações-base para se proceder com o tratamento da mensagem: — Descrição (características resumidas do texto); — Inferência (fase intermediária); — Interpretação (significação das características). Bardin (2016) considera as respostas a perguntas abertas como a análise de conteúdo do tipo classificatório, no qual as respostas são examinadas segundo o contexto da pesquisa. Para melhor compreensão das fases de pesquisa, Mendes e Miskulin (2017) elaboraram um fluxograma resumo (Figura 57) com base na Análise de Conteúdo de Bardin, representando cada etapa e elementos da pesquisa:

Figura 57: Fluxograma da Análise de Conteúdo

Fonte: Adaptado de Mendes e Miskulin (2017, p. 1051), com base em Bardin(1977).

Segundo Moraes (1999), é possível se chegar a uma discussão abrangente da natureza, da metodologia e das possibilidades da análise de conteúdo na pesquisa em Educação. Há possibilidades de análises dedutivas, verificatórias e objetivas em contraste com análises indutivas, construtivas e subjetivas que podem resultar em diferentes possibilidades de metodologia de análise oferecidas ao pesquisador. Diante do exposto, ressaltamos que a análise aqui apresentada foi inspirada na Análise de Conteúdo de Bardin e algumas adaptações foram estabelecidas como, por exemplo, as unidades temáticas de contexto e de registro adequadas como sendo unidades temáticas tipológicas de contexto e de registro.

7.4.1 Unidades Temáticas Tipológicas de Contexto e de Registro

Diante do exposto, observamos que a fase *b* (Figura 57) é constituída pela exploração do material (nesse caso, as repostas dos participantes ao questionário), na qual são construídas as Unidades de Registro e de Contexto. Para Bardin (2016), as unidades de registro correspondem ao segmento de conteúdo a ser considerado como unidade base, e estabelecem a significação ao codificar. Segundo Franco (2008), os registros podem ser variados (palavras, temas, itens...) e podem estar inter-relacionados. O tema escolhido representa a nossa unidade de contexto,

visto que se trata de uma afirmação a respeito de determinado assunto. Diante disso, ao analisarmos os dados, olhamos para cada um isoladamente, em busca de unidades de registro que tenham significação em relação aos temas.

Segundo Bardin (2016), uma análise temática investiga os “núcleos de sentido” que compõe uma determinada situação. A presença ou frequência de “aparição” desses núcleos pode significar algo, consoante o objetivo analítico escolhido. No caso das unidades de contexto, elas correspondem a um segmento de mensagem que serve para compreender e codificar a unidade de registro. As unidades de contexto irão fornecer significado temático às unidades de registro.

Diante do exposto, para este trabalho, foram elaboradas Unidades Temáticas Tipológicas de Contexto com suas subunidades, denominadas de Unidades de Registro. Vale ressaltar que as Unidades de Registro prévias são entendidas como suposições de possíveis respostas, portanto inferências dedutivas, a serem evidenciadas para determinada questão do questionário, de acordo com literatura da área desenvolvida pelas pesquisas realizadas no âmbito do grupo IFHIECEM. Sendo assim, as unidades de contexto e de registro foram elaboradas segundo a fundamentação teórico-metodológica desta pesquisa, e com base nas Unidades de Contexto e de Registro da tese de Macedo (2021), já decodificadas intersubjetivamente nos seus significados por integrantes do grupo de pesquisa IFHIECEM.

As unidades de registro compõem, assim, os elementos hipotético-dedutivos da investigação, considerando, também, que possíveis respostas não previstas poderão surgir, sendo que estas serão representadas pelas Unidades de Registro Emergentes. Na sequência, apresentamos as questões elaboradas com as devidas explicações e as Unidades Tipológicas de Contexto (UC) e de Registro (UR).

Questão 1: Com relação a uma abordagem HFCTS, o estudo da História e Filosofia da Ciência e das relações CTS é um tema relevante para a Formação dos Professores? Por favor, explique sua resposta.

O objetivo dessa questão é investigar a opinião de especialistas e profissionais participantes da pesquisa no que diz respeito à relevância do tema para a formação de professores. Nesse contexto, é possível obter informações que evidenciem a importância de saberes docentes para o processo de ensino e de

aprendizagem. A Unidade Tipológica de Contexto 1 (UC1) foi elaborada para reunir, nas respostas dos participantes da pesquisa, textos integrais ou parciais que indiquem a relevância do tema (Quadro 34).

Outro objetivo no contexto dessa questão é encontrar indícios relacionados aos saberes docentes classificados por Maurice Tardif como: saberes profissionais (provenientes em cursos de formação...); disciplinares (provenientes de diferentes campos do conhecimento...); curriculares (relacionados aos programas de ensino das instituições...) e experienciais (provenientes da prática docente...) (Tardif, 2014).

Quadro 34: Unidades de Registro para UC1

Unidade Temática Tipológica de Contexto 1 (UC1) “Relevância da Composição Textual (CT) HFCTS na Formação Docente”		
UR	Descrição	Explicação para os registros
UR1.1	Relevância da História e Filosofia da Ciência	— Reunir os registros nos quais os participantes da pesquisa mencionam a História e Filosofia da Ciência e sua relevância para a Formação de Professores.
UR1.2	Relevância da abordagem CTS	— Reunir registros nos quais os participantes mencionam a relevância da abordagem CTS para a Formação de Professores.
UR1.3	Relevância da junção entre HFC e CTS	— Reunir registros nos quais os participantes consideraram a temática HFCTS relevante para o ensino de Ciências e para a Formação de Professores.
UR1.4	HFCTS e Saberes Docentes Profissionais	— Reunir registros em que se identifica a importância do tema na formação inicial ou em serviço dos professores.
UR1.5	HFCTS e Saberes Docentes Disciplinares	— Reunir registros nos quais os participantes citam a relevância da CT em campos de conhecimentos.
UR1.6	HFCTS e Saberes Docentes Curriculares	— Reunir registros nos quais os participantes citam a importância do tema nos projetos curriculares de instituições de ensino.
UR1.7	Saberes Docentes Experienciais	— Reunir registros nos quais os participantes relacionam o tema com a prática docente.

Fonte: Adaptado de Macedo (2021).

Questão 2: A composição textual HFCTS, na forma como está apresentada, contém elementos suficientes e adequados para a compreensão e utilização da mesma por professores? Por favor, comente sua resposta.

Por meio dessa questão os participantes podem avaliar a composição textual no sentido da compreensão e utilidade por docentes, observando a construção e os elementos (aspectos históricos, epistemológicos, científicos, tecnológicos e de perfil conceitual) necessários para a compreensão e utilização da composição textual por professores. Assim, elaboramos duas Unidades Tipológica de Contexto: UC2a e UC2b, para segmentar as opiniões em duas direções: o posicionamento que concorda com a questão e o que não concorda. A Unidade Tipológica de Contexto 2a (UC2a) visa reunir respostas que indiquem a estrutura da composição textual, bem como a organização e clareza (Quadro 35).

Quadro 35: Unidades de Registro para UC2a

Unidade Tipológica de Contexto 2a (UC2a) “Presença dos elementos necessários para a compreensão da Composição Textual (CT) e utilização da mesma por professores”		
UR	Descrição	Explicação para os registros
UR2.1a	Elementos da Composição Textual	— Reunir registros nos quais os participantes da pesquisa concordam haver ou descrevam a presença desses elementos (aspectos históricos, epistemológicos, científicos, tecnológicos e de perfil conceitual).
UR2.2a	Organização da Composição Textual	— Reunir registros nos quais os participantes argumentem a respeito da organização da CT.
UR2.3a	Clareza da Composição Textual	— Reunir registros nos quais os participantes da pesquisa mencionem se a CT se apresenta de forma clara e objetiva.
UR2.4a	Utilização da CT por professores	— Reunir registros nos quais os participantes mencionam a potencialidade da CT para ser utilizada por professores

Fonte: Adaptado de Macedo (2021).

A Unidade Tipológica de Contexto 2b (UC2b) agrupará respostas apresentadas pelos participantes a respeito dos possíveis motivos da ausência dos elementos da composição textual, bem como falta de clareza, objetividade e organização, fatores que atrapalhem a utilização CT pelos professores (Quadro 36).

Quadro 36: Unidades de Registro para UC2b

Unidade Tipológica de Contexto 2b (UC2b) “Ausência dos elementos fundamentais da CT”		
<i>UR</i>	<i>Descrição</i>	<i>Explicação para os registros</i>
UR2.1b	Ausência dos elementos necessários à compreensão da CT	— Reunir registros nos quais os participantes citam a falta de elementos para explicitar a CT.
UR2.2b	Carência de exemplos na fundamentação da CT	— Reunir registros nos quais os participantes citem a necessidade de exemplos referentes a CT ou inadequação dos exemplos apresentados.
UR2.3b	Falta de clareza na apresentação da CT	— Reunir registros em que os participantes citam confusão na CT, ou falta de objetivos, ou ainda falta de clareza no que foi exposto.
UR2.4b	Dificuldades de utilização da CT por professores	— Reunir registros nos quais os participantes mencionam a dificuldades da utilização da CT por professores.

Fonte: Adaptado de Macedo (2021).

Questão 3: A composição textual apresentada relaciona os aspectos HFCTS com os aspectos conceituais de Substância Química?

Essa questão tem em vista revelar a compreensão da composição textual pelos participantes da pesquisa, a qual foi apresentada por meio do desenvolvimento de um conteúdo específico, descrito e elaborado conforme os aspectos da HFCTS. A Unidade Tipológica de Contexto 3 (UC3) foi elaborada com o objetivo de reunir respostas nas quais os participantes da pesquisa identificam obstáculos na compreensão da composição textual, como por falta de relação entre os aspectos, falta de argumentos ou referenciais para justificar as etapas da composição textual (Quadro 37).

Quadro 37: Unidades de Registro para UC3

Unidade Tipológica de Contexto 3 (UC3) “Relação HFCTS no estudo do conceito de Substância Química (SQ)”		
UR	Descrição	Explicação para os registros
UR3.1a	Relação entre os aspectos HFCTS e o conceito de SQ	— Reunir os registros nos quais os participantes afirmaram existir essa relação, de forma clara e coerente.
UR3.1b	Carência da relação entre os aspectos HFCTS e o conceito de SQ	— Reunir os registros nos quais os participantes afirmam não haver essa relação ou que é insuficiente.
UR3.2	Ênfase da relevância do conceito de SQ para o Ensino de Química	— Reunir os registros nos quais os participantes relacionem a importância do estudo do conceito de Substância Química no Ensino de Química.
UR3.3	Lacuna entre a composição textual HFCTS e o conceito de SQ	— Reunir os registros nos quais os participantes mencionam lacunas de relação entre os aspectos HFCTS e o conteúdo específico estudado.

Fonte: Adaptado de Macedo (2021).

Questão 4: A composição textual “Da Substância à Nanotecnologia” (Unidade 3) apresenta potencialidade e elementos conceituais que se mostram adequados e viáveis para serem trabalhados por professores nas suas aulas? Por favor, comente sua resposta.

Essa questão tem o objetivo de investigar se a composição textual HFCTS se aplica de maneira eficiente para o ensino e aprendizagem dos conceitos científicos, na qual os aspectos se evidenciam e possam trazer praticidade para suas aulas. A Unidade Tipológica de Contexto 4 (UC4) foi elaborada com o intuito de reunir respostas nos quais os participantes da pesquisa identificam as potencialidades, viabilidade dos estudos conceituais da CT, sua adequação para adoção em aulas de química e demais aspectos relevantes para a validação da CT, como os descritos no Quadro 38.

Quadro 38: Unidades de Registro para UC4

Unidade Tipológica de Contexto 4 (UC4) “Potencialidades da Composição Textual (CT) HFCTS e sua adequação para adoção em aulas de química”		
UR	Descrição	Explicação para os registros
UR4.1	Potencialidades da CT	— Reunir registros relacionados com a CT nos quais os participantes citam potencialidades para o Ensino de Química
UR4.2	Adequação da CT para saberes docentes em sala de aula	— Reunir os registros nos quais os participantes da pesquisa citam indícios que relacionem a adequação da CT para saberes docentes em sala de aula.
UR4.3	Viabilidade dos estudos conceituais da CT em sala de aula	— Reunir os registros nos quais os participantes da pesquisa mencionam aspectos eficazes (praticabilidade) dos estudos conceituais da CT para sala de aula.
UR4.4	Auxílio proveniente da relação entre os aspectos HFCTS para o ensino do conceito de SQ em sala de aula	— Reunir os registros nos quais os participantes da pesquisa afirmam haver benefícios com a relação entre os aspectos HFCTS, o conceito de SQ na CT, de forma clara e objetiva.
UR4.5	Reconhecimento das potencialidades das tecnologias contemporâneas no Ensino de Química	— Reunir os registros nos quais os participantes da pesquisa reconhecem as potencialidades das tecnologias contemporâneas (como a N&N) no Ensino de Química.
UR4.6	Reconhecimento da relevância da evolução conceitual de substância química para o Ensino.	— Reunir os registros nos quais os participantes da pesquisa reconhecem a relevância/necessidade do ensino e aprendizagem voltados para aspectos relacionados à evolução conceitual de substância química.
UR4.7	Dificuldades em adaptação da CT para sala de aula	— Reunir os registros nos quais os participantes da pesquisa citam dificuldades em adaptações da CT para sala de aula;

Fonte: Adaptado de Macedo (2021).

Questão 5: Por gentileza, deixe seus comentários (aspectos positivos e críticas) a respeito da composição textual HFCTS elaborada para a formação de professores de Química, e sugestões de possíveis alterações.

O objetivo dessa questão é permitir que os analistas da composição textual registrem seus pareceres, comentando os aspectos mais relevantes que observaram durante a leitura e também os pontos que foram mais incômodos e que merecem atenção. Para esse propósito, foram elaboradas duas Unidades Tipológicas de Contexto: UC5a, para registrar os pontos positivos da composição textual, e UC5b,

para registro das críticas designadas à composição textual, as quais serão analisadas para melhoria da mesma. A Unidade Tipológica de Contexto 5 (UC5a) tem a finalidade de reunir registros que corroborem com a composição textual, apresentando aceitação quanto uma metodologia de ensino consistente que contempla o processo de ensino e aprendizagem, colaborando para o trabalho docente (Quadro 39).

Quadro 39: Unidades de Registro para UC5a

Unidade Tipológica de Contexto 5ª (UC5a) “Aspectos positivos da composição textual (CT) HFCTS”		
UR	Descrição	Explicação para os registros
UR5.1ª	Organização da CT e a construção do conhecimento	— Reunir os registros referentes à organização didática da proposta, como meio facilitador para a compreensão do processo de construção do conhecimento.
UR5.2ª	Desenvolvimento metodológico	— Reunir nos quais os professores indicaram aceitação da CT uma vez que esta pode proporcionar uma metodologia diferenciada para o Ensino de Química.
UR5.3ª	Relevância para a formação de professores	— Reunir os registros nos quais os participantes citaram que a CT pode contribuir para a formação de professores.
UR5.4ª	Aceitação da CT	— Reunir os registros referentes à aceitação da composição textual HFCTS ou aceitação, relacionando a História e Filosofia da Ciência com o desenvolvimento científico e com os desenvolvimentos tecnológicos da sociedade (seus benefícios e seus problemas).

Fonte: Adaptado de Macedo (2021).

A Unidade Tipológica de Contexto 5b (UC5b) busca agrupar registros que apontem os pontos fracos da composição textual que merecem atenção e podem ser melhorados (Quadro 40).

Quadro 40: Unidades de Registro para UC5b

Unidade Tipológica de Contexto 5b (UC5b) “Críticas à composição textual HFCTS”		
<i>UR</i>	<i>Descrição</i>	<i>Explicação para os registros</i>
UR5.1b	Falta de organização da CT	— Reunir os registros que indiquem confusão ou falta de compreensão da proposta pela falta de organização da apresentação aos elementos principais, ou sugestões de melhorias.
UR5.2b	Críticas ao desenvolvimento metodológico	— Reunir os registros que indiquem falha metodológica e como pode ser corrigida, ou seja, as sugestões que possam ter sido levantadas pelos especialistas.
UR5.3b	Reformulação da CT para a formação de professores	— Reunir os registros nos quais os participantes citam a necessidade de reformulação da proposta para que a mesma seja adequada a formação de professores.
UR5.4b	Negação da CT	— Reunir os registros nos quais os especialistas se referem a não aceitação da proposta HFCTS.

Fonte: Adaptado de Macedo (2021).

Devido à abrangência das questões, cabe observar que é possível que as unidades de registros, previamente esperadas em cada uma das cinco questões, após a análise das respostas, estejam vinculadas com outras questões. Por exemplo, uma unidade de registro da Q1 poderá obter registros relacionados a uma unidade da Q2.

8 RESULTADOS, INFERÊNCIAS E INTERPRETAÇÃO

Neste tópico apresentamos os resultados obtidos por meio do questionário que serviu para que profissionais da área avaliassem a Composição Textual HFCTS. Lembrando que dos 10 questionários enviados recebemos 8 respondidos. Também, foram apresentadas as inferências e interpretação dos resultados.

Cabe ressaltar que o campo 8.1 é destinado apenas a apresentação dos resultados, ou seja, à classificação das repostas do questionário com base no método de Análise de Conteúdo de Bardin, previamente apresentado no item 7.1.3. As inferências, as discussões e correlações teóricas estão concentradas no item 8.2.

8.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS A PARTIR DO QUESTIONÁRIO

Segundo a investigação teórico-metodológica anteriormente apresentada no item 7.1, as respostas referentes ao Questionário foram unitarizadas em suas Unidades de Contexto e de Registro e organizadas nos quadros abaixo. As identidades dos participantes da pesquisa foram protegidas em anonimato e os avaliadores foram identificados pela letra A (Avaliador/a) e números: A1, A2, ...A8. Vale lembrar que a utilização dos dados da pesquisa foi previamente consentida e autorizada pelos participantes avaliadores da CT.

No caso de unidade de registro emergente, a sigla utilizada foi URE seguida na numeração correspondente da classificação da unidade. Algumas respostas foram fragmentadas em mais unidades de registros, sendo assim, contabilizamos o número de fragmentos e não o número de respostas. Além disso, alguns fragmentos das repostas, quando necessário, foram relacionados entre questões diferentes e sinalizados com grifos e observações. Por exemplo, um fragmento da resposta da questão 1 se relacionada com a questão 5. Essas ocorrências já eram esperadas pelo fato de se tratar de questões abertas que trazem uma abordagem com diferentes áreas de conhecimentos que permitem a subjetividade das repostas.

Na sequência, apresentamos os quadros com a unitarização dos registros dos avaliadores da CT, iniciando com a Questão 1: *“Com relação a uma abordagem HFCTS, o estudo da História e Filosofia da Ciência e das relações CTS é*

um tema relevante para a Formação dos Professores? Por favor, explique sua resposta” do Questionário apresentado no Quadro 33. Segue a unitarização no Quadro 41.

Quadro 41: Unitarização dos dados referentes à UC1 (Questão 1)

Unidade Tipológica de Contexto 1 (UC1) “Relevância da Composição Textual (CT) HFCTS na formação de professores”	
UR1.1 “Relevância da História e Filosofia da Ciência”: registros nos quais os participantes da pesquisa mencionam a HFC e sua relevância para a formação de professores.	2 Registros
	A1: “Compreender como a Ciência de uma maneira geral, se desenvolve, possibilita aos educandos a compreensão significativa dos conceitos científicos, pois sempre há uma história por trás dos grandes acontecimentos. Uma história na qual, muitas vezes, os fracassos são maiores que os acertos, porém não menos relevantes para a Ciência. [...]”. A3: “ [...] Através do estudo da história da ciência, os professores podem compreender como as teorias e conceitos científicos evoluíram ao longo do tempo. Isso ajuda a evitar a transmissão de uma visão estereotipada e simplificada da ciência, permitindo que os professores apresentem aos alunos a natureza dinâmica do conhecimento científico [...]. A História e Filosofia da Ciência proporcionam aos professores e alunos a oportunidade de analisar e questionar os fundamentos da ciência, incluindo suas limitações, controvérsias e paradigmas científicos. Isso promove o desenvolvimento do pensamento crítico e reflexivo, capacitando os alunos a avaliar evidências, argumentos e assumir uma postura mais informada em relação à ciência e à tecnologia [...]” Obs: Grifo: UR1.3
UR1.2 “Relevância da abordagem CTS”: registros nos quais os participantes mencionam a relevância da abordagem CTS para a formação de professores	2 Registros
	A1: “Em relação ao movimento CTS, esse possibilita abordagens e metodologias inovadoras para o Ensino de Ciências”. A2: “Sim, pois é outra coisa que não dá mais para separar a ciência da tecnologia e da sociedade é intrínseco, o avanço da ciência, com o uso da tecnologia em benefício da sociedade, ou a sociedade fazendo uso da tecnologia e desvendando o segredo da ciência e da Química. porém pouco utilizada na escola pública”.
UR1.3 “Relevância da junção entre HFC e CTS”: registros nos quais os participantes consideraram a temática HFCTS relevante para o Ensino de Ciências e para a formação de professores.	5 Registros
	A2: “Esta relação de HFC, ficou muito interessante pois passamos a discutir o mesmo conceito nas três áreas e a intencionalidade de cada uma delas, enriquecendo o conhecimento [...]”. A3: “A abordagem HFCTS busca integrar esses aspectos no ensino de ciências, promovendo uma compreensão mais ampla e crítica do empreendimento científico. Existem várias razões pelas quais esse tema é importante para a formação de professores: 1) Compreensão do desenvolvimento científico [...] 2) Contextualização da ciência [...] 3) Pensamento crítico e reflexão [...] 4) Conexões interdisciplinares [...] 5) Desenvolvimento de cidadãos críticos [...]. Isso promove o desenvolvimento do pensamento crítico e reflexivo, capacitando os alunos a avaliar evidências, argumentos e assumir uma postura mais informada em relação à ciência e à tecnologia[...]

	A4: “A abordagem HFCTS dará ao docente uma visão mais próxima do real de Ciência e Tecnologia, com melhor reflexão e criticidade [...]”. A5: “Sim, acredito que essa relação da HFC com a CTS pode enriquecer as discussões de determinados conceitos, e com isso, contribuir para uma Formação de Professores mais completa e de melhor qualidade”. A6: “Sim, para a compreensão dos conceitos científicos, da construção e evolução da ciência, se faz necessário essas relações. É importante conhecer o contexto, motivações e consequências das pesquisas científicas”.
UR1.4 “HFCTS e Saberes Docentes Profissionais”: registros nos quais se identifica a importância do tema na formação inicial ou em serviço dos professores.	4 Registros A1: “[...] é um tema fundamental para a formação de professores, pois os detalhes históricos dos conceitos científicos ajudam no entendimento do seu significado”. A2(Q3): “[...], quando eu ensino sobre estrutura atômica e como vem na maioria dos livros de química, uma relação com os filósofos gregos (Aristóteles, Demócrito e Leucipo) porém apenas citando como surgiu a ideia do átomo, ou seja, somente dizer como surgiu as coisas e não a ideia de quantidade, de formação de outras substâncias etc. E vai direto para o modelo atômico de Dalton (1810) como se fosse e alguns livros trazem o primeiro modelo atômico com experimento. usando a palavra átomo como algo que não divide. Limitando a teoria filosófica. A3: “Sim, o estudo é um tema extremamente relevante para a formação de professores. [...]. Existem várias razões pelas quais esse tema é importante para a formação de professores: 1) Compreensão do desenvolvimento científico [...] 2) Contextualização da ciência [...] 3) Pensamento crítico e reflexão [...] 4) Conexões interdisciplinares [...] 5) Desenvolvimento de cidadãos críticos [...]”. A7: “A abordagem é de extrema importância, pois os conteúdos ensinados na graduação e até na formação em serviço, geralmente são fragmentados e baseados na matematização da química. Há uma preocupação em entender o conceito (memorizar) sem entender as bases que o moldaram, a trajetória alinear e a dinâmica do tempo e espaço que foram estudados”. Obs: UR1.6
UR1.5 “HFCTS e Saberes Docentes Disciplinares”: reunir registros nos quais os participantes citam a relevância da CT em campos de conhecimentos.	1 Registro A3: “[...] A abordagem HFCTS permite que os professores situem a ciência em seu contexto social, político, econômico e cultural. [...] estimula a integração de diferentes disciplinas, como ciências, história, filosofia, sociologia e ética [...]”.
UR1.6 “HFCTS e Saberes Docentes Curriculares”: registros nos quais os participantes citam a importância do tema nos projetos curriculares de instituições de	3 Registros A2: “Muito relevante pois, as formações que participo não fala de química e nem de interdisciplinaridade”. A7: “A abordagem é de extrema importância, pois os conteúdos ensinados na graduação e até na formação em serviço, geralmente são fragmentados e baseados na matematização da química. Há uma preocupação em entender o conceito (memorizar) sem entender as bases que o moldaram, a trajetória alinear e a dinâmica do tempo e espaço que foram estudados”.

ensino.	A8: “[...] É fato que a ciência se desdobra fluuando sobre os acontecimentos históricos sociais e realmente não tive na minha formação pedagógica discussões sobre essa temática e me sinto despreparado para abordar e inserir novos contextos, não somente os correlacionados a minha área, nas aulas. Por esse motivo afirmo que seria bem valioso para minha prática docente formações que tragam essa interdisciplinaridade que a abordagem HFCTS proporciona a área de ciências”. Obs. Grifo: UR1.7
UR1.7 “Saberes Docentes Experienciais”: registros nos quais os participantes relacionam o tema com a prática docente.	3 Registros
	A3: “[...] Ao adotar a abordagem HFCTS, os professores capacitam os alunos a se tornarem cidadãos críticos e informados, capazes de tomar decisões conscientes sobre questões científicas e tecnológicas que afetam suas vidas e a sociedade como um todo. Isso contribui para uma formação.” A4: “Sim, é muito importante, um professor precisa ter uma visão geral, para melhor conduzir a aula, criar interdisciplinaridade [...] e uma prática socialmente comprometida com o ensino integral. Afinal, “aquilo que se ensina, ou que se pretende ensinar, está vinculado à própria concepção de história do que é ensinado”. A8: “Após a leitura do trabalho, percebi que costumo focar os olhares no preparo do plano de aula, execução da mesma e até elaboração de instrumentos avaliativos para a química ou no máximo o eixo ciências da natureza. Gostei do termo “tira a neutralidade da ciência”, pois me fez entender que precisamos trazer outras áreas para o ensino de ciências como a história e discussões filosóficas pertinentes [...] me sinto despreparado para abordar e inserir novos contextos, não somente os correlacionados a minha área, nas aulas [...]”.

Fonte: A própria autora.

No Quadro 41, observamos que a Questão 1 permitiu uma variedade de respostas nas quais os avaliadores puderam enfatizar os aspectos mais relevantes da HFCTS para a formação de professores, de acordo com seus saberes docentes, com um total de 22 registros. As unidades de registros UR1.1, 1.2 e 1.3 trazem 9 registros nos quais os participantes da pesquisa enfatizam os aspectos da HFC, CTS e da junção HFCTS como abordagens mediadoras do processo de ensino e aprendizagem na Formação de Professores.

Quanto aos Saberes Docentes, as unidades de registros UR1.4, 1.5, 1.6 e 1.7, apresentam 10 registros segundo as experiências de cada avaliador, no que diz respeito à sua formação acadêmica, ao exercício no ensino e à demais subjetividades de seus saberes, que serão discutidas no campo das inferências. O registro de A2 proveniente da Questão 3 foi relacionado à UR1.4 (Saberes da Formação Profissional) devido ao seu caráter de conhecimentos pedagógicos, segundo a descrição de Tardif (2002).

Como já dito anteriormente, para que alguns registros não percam o sentido ou não dificultem a compreensão, fragmentos de registros foram classificados em mais de uma unidade de registro, como o caso do fragmento, em negrito, de A3 em UR1.1, cujo fragmento foi também unitarizado em UR1.3 (junção entre HFC e CTS), o registro de A8 para UR1.6 (Saberes Docentes Curriculares), que também foi incluído na UR1.7 (Saberes Docentes Experienciais). O mesmo ocorreu com registro de A8 que foi alocado em UR1.4 (Saberes Docentes Profissionais) e UR1.6 (Saberes Docentes Curriculares).

Embora os registros estejam agrupados por unidades mais específicas quanto à HFC, CTS e Saberes Docentes, numa leitura geral dos registros, podemos evidenciar que os oito avaliadores concordam, de alguma forma, com a relevância do tema para o ensino e formação de professores.

O Quadro 42 apresenta a unitarização dos registros da Questão 2: “A composição textual HFCTS, na forma como está apresentada, contém elementos suficientes e adequados para a compreensão e utilização da mesma por professores? Por favor, comente sua resposta” (item a), na qual os participantes concordam com a presença dos elementos essenciais da CT.

Quadro 42: Unitarização dos dados referentes à UC2a (Questão 2)

Unidade Tipológica de Contexto 2a (UC2a) “Presença dos elementos necessários para a compreensão da Composição Textual (CT) e utilização da mesma por professores”	
	7 Registros
UR2.1a “Elementos da Composição Textual”: registros nos quais os participantes da pesquisa identificam a presença desses elementos (aspectos históricos, epistemológicos, científicos, tecnológicos e de perfil conceitual).	A1: <i>Tem sim, pode ser que tenha que adaptar alguma coisa mas no geral sim.</i> A3: <i>“A composição textual HFCTS (História e Filosofia da Ciência e das relações CTS) fornecida abordou de forma geral e concisa os principais pontos relevantes sobre o tema [...]”.</i> A4: <i>“Sim. A construção do conhecimento científico de acerca de assuntos tão abstratos, tal como o conceito de substância ou de nanotecnologia depende primeiramente da compreensão das dimensões históricas, filosóficas, sociais e culturais da Ciência.</i> Obs. Grifo: Relação com Q4-UR4.5 <i>A química foi se desenvolvendo junto com o avanço tecnológico, social e cultural, associar seu aprendizado à cronologia histórica é de suma importância”</i> Obs. Grifo: Relação com Q4-UR4.6 A5: <i>“Acredito que, para um nível de formação de professores, a composição textual apresentou elementos adequados para a sua compreensão e utilização”.</i> A6: <i>“Sim, possui, está bem embasado [...]”.</i>

	A7: “A composição textual apresenta-se rica em elementos para a compreensão dos futuros professores e até mesmos para aqueles que já atuam. Vários autores são citados, corroborando com a escrita da autora, [...]”. A8: “[...] A articulação do conceito fundamental de substância com a N&N também se mostra interessante no sentido de se aproximar dos momentos mais atuais. Obs. Grifo: Relação com Q4-UR4.5 Apesar da dificuldade na compreensão de questões de áreas como a filosofia, gostei da explicação de como a filosofia permite atribuir o papel de substância a impressões e ideias pelo fato de assumirem o papel de construção”. Obs. Grifo: Relação com Q4-UR4.6
URE2.1a “Aprendizagem Significativa”: registros nos quais os participantes mencionam a potencialidade da CT em promover a Aprendizagem Significativa.	1 Registro A1: [...] é atrativa para os educandos, permite a articulação entre áreas de conhecimentos e contribui para a Aprendizagem Significativa [...]”. A1: Registro em Q4
UR2.2a “Organização da Composição Textual”: registros nos quais os participantes argumentem a respeito da organização da CT.	1 Registro A8: “Achei interessante a temática da proposta por trazer um formato de abordagem diferente para construção do conceito de substância química. Observo nas salas de aula, mesmo em diferentes seriações, que os conceitos que são alicerce para compreensão da matéria, átomo, moléculas, íons, substâncias químicas etc, grande parte das vezes são de difícil compreensão pelos alunos e acaba que discussões mais elaboradas ficam desestruturadas porque eles não entendem os conceitos básicos [...]”. Obs. Grifo: Relação com Q1-UR1.7-Saberes Docentes
UR2.3a “Clareza da Composição Textual”: registros nos quais os participantes da pesquisa mencionem se a CT se apresenta de forma clara e objetiva.	1 Registro A1: “Totalmente adequada, pois apresenta clareza nas palavras [...]”
UR2.4a “Utilização da CT por professores”: registros nos quais os participantes mencionam a potencialidade da CT para ser utilizadas por professores.	1 Registro A1: [...] Considero como um suporte didático e teórico para os professores com um grande potencial de ser adaptado de acordo com o contexto”.

Fonte: A própria autora.

Como observado no Quadro 42, a Questão 2a originou 10 registros categorizados entre as 4 unidades previamente estabelecidas e uma unidade de registro emergente (URE2.1a) referente a Aprendizagem Significativa. Mais um indício de que os Saberes Docentes dos participantes interferem direta ou indiretamente em suas respostas.

Alguns fragmentos de registros foram relacionados a outras questões, como, por exemplo: A4 e A8 da UR2.1a (elementos da CT) com grifos unitarizados em UR4.5 e 4.6 da Questão 4 (nanotecnologia e substância química);

A8 da UR2.2a (organização da CT) com grifo em UR1.7 (Saberes Docentes). Como já exposto anteriormente, as questões abertas que abordam áreas distintas e amplas, como a composição HFCTS, geram possibilidades para as subjetividades dos participantes, as quais podem estar interligadas entre as questões.

Vale lembrar que essa questão indagou os participantes acerca de “elementos suficientes” para compreensão da CT. O que significa que concordamos haver uma gama de elementos, além dos aspectos HFCTS, que podem ser necessários para a compreensão dos significados químicos e como sugerido por Macedo (2021), há que se prever determinadas articulações e planejamentos de ações para que essa proposta de Composição Textual possa ser desenvolvida para conter atividades e avaliações, ou seja, adaptações, como já citado anteriormente.

O Quadro 43 apresenta a unitarização da Questão 2 (item b), na qual os participantes sinalizam ausências de elementos fundamentais à CT, deficiência na organização, falta de clareza, e dificuldades de utilização da CT por professores, conforme as unidades de registro.

Quadro 43: Unitarização dos dados referentes à UC2b (Questão 2)

Unidade Tipológica de Contexto 2b (UC2b) “Ausência dos elementos fundamentais da CT”	
UR2.1b “Ausência dos elementos necessários à compreensão da CT”: registros nos quais os participantes citam a falta de elementos para explicitar a CT.	Nenhum Registro
UR2.2b “Carência de organização ou exemplos na fundamentação da CT”: registros dos participantes que citem a necessidade de exemplos referentes a CT ou inadequação dos exemplos apresentados.	2 Registros A3: “[...] No entanto, embora tenha fornecido uma visão geral, é importante ressaltar que a abordagem HFCTS é um campo amplo e complexo que requer estudos mais aprofundados para uma compreensão completa e utilização efetiva por parte dos professores. Embora a resposta anterior tenha destacado os benefícios e a importância da abordagem HFCTS na formação de professores, ela não forneceu uma análise detalhada de como essa abordagem pode ser implementada na prática, quais estratégias pedagógicas podem ser adotadas ou quais recursos específicos podem ser utilizados. Esses aspectos são importantes para os professores que desejam incorporar a abordagem HFCTS em seu ensino”. A6: “[...] Como sugestão, acredito que o item 3.5 que explica como pode ser utilizado está bem no final da proposta, poderia estar mais no início da leitura, em um item de apresentação, deixando claro a sua proposta”.
UR2.3b “Falta de clareza na apresentação da CT”: registros nos quais os participantes citam confusão na CT, ou falta de objetivos, ou ainda falta de clareza no que foi exposto.	2 Registros A2: “[...] creio que a unidade 1 teria que fazer uma adequação ou uma resumida, pois é muito texto e fica um pouco complexo tendo que fazer tanta relação de nomes”. A7: “[...] entretanto, se faz necessário uma revisão textual para que a escrita se torne mais fluida e menos laboriosa, tornando o texto mais acessível para aqueles que não conhecem todos os autores ou termos utilizados”.
UR2.4 “Dificuldades de Utilização da CT por professores”: registros nos quais os participantes mencionam dificuldades na utilização da CT por professores.	1 Registro A3: “[...] a abordagem HFCTS é um campo de estudo em constante evolução, com pesquisas e debates em andamento sobre melhores práticas, modelos de implementação e avaliação de resultados. Portanto, é fundamental que os professores se mantenham atualizados com as pesquisas mais recentes nessa área, participem de cursos de formação contínua e compartilhem experiências com outros profissionais para aprimorar sua compreensão e prática da HFCTS. Embora a resposta anterior tenha apresentado uma visão geral e abordado os principais pontos sobre a abordagem HFCTS, é necessário enfatizar que os professores precisam buscar um aprofundamento adicional por meio de estudos, formação continuada e intercâmbio de experiências para compreender e utilizar essa abordagem de forma eficaz em sua prática pedagógica”.

Fonte: A própria autora (2023).

A Unidade Tipológica de Contexto 2b permitiu classificar 5 registros distribuídos em 4 unidades. Os registros fazem alusão à carência de organização, falta de clareza e dificuldades de utilização da CT por professores. Portanto, nenhum dos participantes alegaram falta de elementos fundamentais (aspectos históricos,

epistemológicos, científicos, tecnológicos) à compreensão da CT.

O Quadro 44 apresenta a unitarização da Questão 3: “A composição textual apresentada relaciona os aspectos HFCTS com os aspectos conceituais de Substância Química?”.

Quadro 44: Unitarização dos dados referentes à UC3 (Questão 3)

Unidade Tipológica de Contexto 3 (UC3) “Relação HFCTS no estudo do conceito de Substância Química (SQ)”	
UR3.1a “Relação entre os aspectos HFCTS e o conceito de SQ”: registros nos quais os participantes afirmaram existir essa relação, de forma clara e coerente.	7 Registros
	A1: “Ela apresenta o desenvolvimento do conceito Substância Química no decorrer dos séculos, estes estão organizados em uma estrutura bem definida com apresentação, desenvolvimento e conclusão [...]. Neste contexto, considero que a composição textual apresentada relaciona os aspectos HFCTS com os aspectos conceituais de Substância Química, pois engloba a Filosofia da Química, a História da Química e a Química dos Nanomateriais”. A2: “Sim, quando eu ensino sobre estrutura atômica e como vem na maioria dos livros de química, uma relação com os filósofos gregos (Aristóteles, Demócrito e Leucipo) porém apenas citando como surgiu a ideia do átomo, ou seja, somente dizer como surgiu as coisas e não a ideia de quantidade, de formação de outras substâncias etc. E vai direto para o modelo atômico de Dalton (1810) como se fosse e alguns livros trazem o primeiro modelo atômico com experimento. usando a palavra átomo como algo que não divide. Limitando a teoria filosófica” (Relação com Q1-UR1.7-Saberes Docentes). A4: “Sim, o conceito de substância é relatado em diversos momentos, considerando os todos os aspectos e evoluções HFCTS”. A5: “Sim. A composição textual apresenta vários aspectos conceituais de Substância Química relacionando com aspectos da HFCTS”. A6: “Sim, aparece a relação, [...]. Os aspectos científicos, tecnológicos e sociais estão mais claros, apresentam alguns exemplos mais práticos [...]”. A7: “Sim, apresenta-se o conceito, as várias interpretações e principalmente como as substâncias químicas foram delineadas ao longo do tempo e espaço e desenvolvimento tecnológico”. A8: “Acredito que a apresentação de toda essa construção histórica apresentada traz claramente a formação minuciosa do conceito de substância química, passando não só pelas verdades que se mantiveram até os dias atuais, mas também pelos tropeços que faz parte da própria arte da descoberta. Apesar da leitura difícil e extensa consegui construir junto com a leitura uma construção de ideias para compor o conceito final [...]”.
UR3.1b “Carência da relação entre os aspectos HFCTS e o conceito de SQ”: registros nos quais	2 Registros
	A3: “No contexto da abordagem HFCTS, o estudo da História e Filosofia da Ciência e das relações CTS geralmente está relacionado ao ensino de ciências em geral, abordando questões mais amplas sobre como a ciência se desenvolve, suas implicações sociais e éticas, e a interação entre ciência, tecnologia e sociedade. Por outro lado, o estudo dos

os participantes afirmam não haver essa relação ou que é insuficiente.	aspectos conceituais de Substância Química se concentra especificamente na compreensão das propriedades, estrutura e comportamento das substâncias químicas. Embora seja possível estabelecer conexões entre esses dois domínios, como por exemplo, explorando a história da descoberta e desenvolvimento de diferentes substâncias químicas, ou discutindo as implicações sociais e éticas do uso de determinadas substâncias químicas na indústria ou na saúde, a relação direta entre os aspectos HFCTS e os aspectos conceituais de Substância Química pode depender do enfoque e dos objetivos específicos do currículo ou da proposta pedagógica. Dessa forma, para relacionar mais diretamente os aspectos HFCTS com os aspectos conceituais de Substância Química, seria necessário estabelecer uma conexão específica entre a história, filosofia e as relações CTS da ciência química com os conceitos e propriedades das substâncias químicas em si. Isso poderia ser feito, por exemplo, por meio de estudos de casos, investigações científicas ou discussões sobre o desenvolvimento de teorias químicas ao longo do tempo e como essas teorias influenciaram nosso entendimento sobre as substâncias químicas”. Obs. Grifo: Relação com Q5-UR5.2b A6: [...] não fica claro o aspecto filosófico da proposta em si, relacionando exemplos com a N&N, com exemplos específicos como nos demais aspectos, e não há um item para ele no texto [...]” (Relação com UR3.3).
UR3.2 “Ênfase da relevância do conceito de SQ para o Ensino de Química”: registros nos quais os participantes relacionem a importância do estudo do conceito de Substância Química no Ensino de Química.	2 Registros A1: “[...] leva a instigar a curiosidade dos educandos para saber como o conceito foi desenvolvido e ampliado com o passar do tempo”. A8: “Achei interessante a temática da proposta por trazer um formato de abordagem diferente para construção do conceito de substância química. [...]. trazer contextualidade e interatividade com outros conceitos permite criar uma rede sólida dessa parte tão importante da química microscópica”.
UR3.3 “Lacuna entre a composição textual HFCTS e o conceito de SQ”: registros nos quais os participantes mencionam lacunas de relação entre os aspectos HFCTS e o conteúdo específico estudado.	1 Registro A6: [...] não fica claro o aspecto filosófico da proposta em si, relacionando exemplos com a N&N, com exemplos específicos como nos demais aspectos, e não há um item para ele no texto [...]”.

Fonte: A própria autora.

A Questão 3 gerou 12 registros distribuídos em 4 unidades. A maioria dos avaliadores concorda que existe uma relação clara entre entres aspectos da HFCTS e o conceito de Substância Química, em UR3.1. Entretanto, dois avaliadores sinalizam algumas carências nessa relação, em UR3.1b.

Como visto nos campos da UR3.2 (ênfase do conceito de substância) e UR3.3 (lacuna entre a CT e o conceito de substância), o registro de A6 é correlacionado entre as unidades. No caso da UR3.2, podemos encontrar dois registros nos quais os avaliadores enfatizam a relevância do conceito de substância

química para o Ensino de Química, direta ou indiretamente. Esse aspecto observado será discutido no campo de inferências.

O Quadro 45 apresenta a unitarização da Questão 4: “A composição textual “Da Substância à Nanotecnologia” (Unidade 3) apresenta potencialidade e elementos conceituais que se mostram adequados e viáveis para serem trabalhados por professores nas suas aulas? Por favor, comente sua resposta”, que visou indagar os avaliadores acerca das potencialidades da CT e de sua adequação para o Ensino de Química e Saberes Docentes.

Quadro 45: Unitarização dos dados referentes à UC4 (Questão 4)

Unidade Tipológica de Contexto 4 (UC4) “Potencialidades da Composição Textual (CT) HFCTS e sua adequação para adoção em aulas de química”	
UR4.1 “Potencialidades da CT”: registros relacionados com a CT nos quais os participantes citam potencialidades para o Ensino de Química.	6 Registros
	A1: “[...] Sim, a composição textual apresenta potencialidades e elementos conceituais adequados e viáveis para serem trabalhados em sala de aula! A2: “Sim, porém precisa fazer uma adequação, pois o assunto é muito extenso, mas, muito interessante e muito mais aprofundado e fundamentado e com uma linguagem de fácil compreensão”. A3: “O texto apresentado possui potencialidade e elementos conceituais que podem ser trabalhados por professores em suas aulas, especialmente nas disciplinas de Filosofia, História da Ciência e Química. Ele aborda a evolução do conceito de substância ao longo da história, desde a Idade Antiga até a contemporaneidade, passando pela perspectiva filosófica de Aristóteles, as concepções dos filósofos pré-socráticos, o atomismo de Leucipo e Demócrito, entre outros [...]. Obs: Grifo: UR4.6 A5: “Com certeza a composição textual apresenta potencialidade e elementos adequados e viáveis para serem trabalhados na formação de professores”. A6: “Sim, a composição textual pode ser utilizada por professores em suas aulas [...]”. A7: “Sim, a unidade 3 apresenta grande potencialidade para formação de professores [...]”.
UR4.2 “Adequação da CT para saberes docentes em sala de aula”: registros nos quais os participantes da pesquisa citam indícios que relacionem a adequação da CT para saberes docentes em sala de aula.	5 Registros
	A3: “[...] é importante ressaltar que o texto apresenta uma linguagem acadêmica e densa, o que pode exigir uma adaptação por parte do professor para torná-lo mais acessível aos estudantes [...] é recomendável que o professor faça uma seleção e síntese dos pontos mais relevantes do texto, de acordo com os objetivos e o nível de ensino da turma”. A4: “Sim, porém é preciso cautela na escola do momento da apresentação de tais conceitos e na forma de apresentá-los à turma.

	<i>É interessante ir linkando cada troca de conteúdo com os conceitos HFCTS e vez ou outra, fazer uma retrospectiva geral, de forma a ajudar na construção do conhecimento químico, mas sem perder o foco da aula, que já é curta. Nesse sentido, o quadro 29 nos dá uma direção”.</i> A5: “[...] Além disso, é apresentado também, uma sugestão de como utilizar essa composição dentro de uma abordagem didática. Isso é relevante também, pois mesmo que a composição seja um recurso de grande potencial, é preciso pensar em como aproveitar tal recurso dentro, por exemplo, de uma abordagem construtivista, como citado no texto, em conjunto com outras atividades”. A6: “[...] para o número de aulas proposto aqui, aula 6 e 7, se faz necessário uma adequação. A unidade 3 apresenta muitos conceitos passíveis de discussão, dessa forma, ou se trabalha em partes com uma demanda maior de tempo, ou com um texto resumido. Se a ideia é disponibilizar sua composição textual para os professores utilizarem como um material didático, certamente o professor necessitará de mais tempo para trabalhar, ou deverá utilizar com uma turma mais avançada, com bom nível de conhecimento no Ensino de Química, com conhecimento prévio das teorias da aprendizagem, (onde a construção dos mapas conceituais não seja um obstáculo para o desenvolvimento da aula) e da história da ciência e da epistemologia da ciência”. A8: “[...]. Mas, tendo condições e tempo para se pensar seria perfeitamente possível adequá-la a aula não só como instrumento de aprendizagem mas também como avaliativo”.
UR4.3 “Viabilidade dos estudos conceituais da CT em sala de aula”: registros nos quais os participantes da pesquisa mencionam aspectos eficazes (praticabilidade) dos estudos conceituais da CT para sala de aula.	2 Registros A1: “Trabalhar o desenvolvimento do conceito Substância à Nanotecnologia e abordar os seguimentos necessários para que os educandos iniciem um raciocínio científico é a realidade esperada por muitos educadores. Podemos inferir que, dessa maneira, um relevante subsunçor poderá ser incorporado ao cognitivo do educando para ancorar as novas informações do conceito” (Relação com Q2- URE2.1a). Obs. Grifo: UR4.6 A3: “[...] Os elementos conceituais abordados no texto podem ser explorados em diferentes níveis de ensino, permitindo aos professores trazerem uma abordagem histórica e filosófica para o estudo da química e suas bases teóricas. Além disso, o texto traz referências a outros pensadores e teorias que podem ser explorados em sala de aula, estimulando a reflexão crítica dos estudantes e ampliando seus conhecimentos sobre a evolução dos conceitos científicos. [...]”.
UR4.4 “Auxílio proveniente da relação entre os aspectos HFCTS para o ensino do conceito de SQ em sala de aula”: registros nos quais os participantes da pesquisa afirmam haver a benefícios com a relação entre os aspectos HFCTS, o conceito de SQ na CT, de forma clara e objetiva.	1 Registro A7: “[...] Apresenta profusão de detalhes e faz uma integralização dos conceitos trabalhados. Traz uma linha de raciocínio com envolvimento das temáticas abordadas (HFCTS) e no final apresenta um exemplo que facilita o entendimento da composição textual”.
UR4.5 “Reconhecimento das potencialidades das tecnologias contemporâneas no Ensino de Química”: registros nos quais os	3 Registros A1: “Trabalhar o desenvolvimento do conceito Substância à Nanotecnologia e abordar os seguimentos necessários para que os educandos iniciem um raciocínio científico é a realidade esperada por muitos educadores [...]”.

participantes da pesquisa reconhecem as potencialidades das tecnologias contemporâneas (como a N&N) no Ensino de Química.	Obs: relação com UR4.6 A4 (Q2): “[...]A química foi se desenvolvendo junto com o avanço tecnológico, social e cultural, associar seu aprendizado à cronologia histórica é de suma importância” A8 (Q2): “[...] A articulação do conceito fundamental de substância com a N&N também se mostra interessante no sentido de se aproximar dos momentos mais atuais [...]”
UR4.6 “Reconhecimento da relevância da evolução conceitual de substância química para o Ensino”: registros nos quais os participantes da pesquisa reconhecem a relevância/necessidade do ensino e aprendizagem voltados para aspectos relacionados à evolução conceitual de substância química.	5 Registros A1: “Trabalhar o desenvolvimento do conceito Substância à Nanotecnologia e abordar os seguimentos necessários para que os educandos iniciem um raciocínio científico é a realidade esperada por muitos educadores [...] leva a instigar a curiosidade dos educandos para saber como o conceito foi desenvolvido e ampliado com o passar do tempo”. A3: “[...]. Ele aborda a evolução do conceito de substância ao longo da história, desde a Idade Antiga até a contemporaneidade, passando pela perspectiva filosófica de Aristóteles, as concepções dos filósofos pré-socráticos, o atomismo de Leucipo e Demócrito, entre outros [...]” A1(Q3): “[...] leva a instigar a curiosidade dos educandos para saber como o conceito foi desenvolvido e ampliado com o passar do tempo”. A4 (Q2): “[...] A construção do conhecimento científico de acerca de assuntos tão abstratos, tal como o conceito de substância ou de nanotecnologia depende primeiramente da compreensão das dimensões históricas, filosóficas, sociais e culturais da Ciência.[...]” A8 (Q2): “[...]Apesar da dificuldade na compreensão de questões de áreas como a filosofia, gostei da explicação de como a filosofia permite atribuir o papel de substância a impressões e ideias pelo fato de assumirem o papel de construção”.
UR4.7 “Dificuldades em adaptação da CT para sala de aula”: registros nos quais os participantes da pesquisa citam dificuldades em adaptações da CT para sala de aula.	1 Registro A8: “Penso ser um outro desafio como aplicar essa composição textual em sala de aula. Hoje temos uma redução significativa nas abordagens teóricas e até de conteúdos trabalhados. Os currículos estão cada vez mais enxutos e a dinâmica e o tempo para dedicação as discussões cada vez mais comprometido com inúmeros afazeres burocráticos que são impostos muitas vezes a contragosto. Então penso que adaptar todas essas informações para prática pedagógica de fato demandaria novos momentos de troca, compartilhamento e discussões sobre como poderíamos materializar tudo isso [...]. O fato é que existe um abismo muito grande na capacidade dos alunos de refletir e discutir sobre algo e essa proposta apresentada traria inúmeros elementos de discussão considerando toda a historicidade detalhada no trabalho”.

Fonte: A própria autora.

A Questão 4 gerou 23 registros distribuídos em 7 unidades, conforme mostrado no quadro acima. Num olhar geral, podemos perceber que 7 participantes da pesquisa reconhecem, explicitamente, as potencialidades da CT para o Ensino de Química. Observamos que indiretamente, também, os avaliadores, sugerem reconhecer as potencialidades, conforme as demais unidades de registros.

Entendemos que a forma de escrita subjetiva pode enfatizar mais um determinado aspecto, aquele que mais chama a atenção no momento do raciocínio, em detrimento de outros, gerando informações implícitas.

Quanto à viabilidade dos estudos conceituais da CT em sala de aula (UR4.3), um fragmento do registro de A1 foi classificado também em UR4.6 (relevância da evolução conceitual de substância) e faz relação com a Questão 2, no que diz respeito a URE2.1a (Aprendizagem Significativa). Portanto, observamos dois momentos do questionário em que A1 relaciona as potencialidades da CT com a Aprendizagem Significativa no Ensino de Química.

Além disso, observamos que a UR4.5 (potencialidades das tecnologias) obteve 1 registro específico para essa questão. Porém, foi possível relacionar essa unidade com fragmentos dos registros de A4 e de A8 em UR2.1a (elementos da Composição Textual). A falta de ênfase explícita nas novas tecnologias, também, será discutida no campo das inferências. Também, o registro de A3 (UR.4.1) possui um fragmento unitarizado em UR4.6 — Q4. A UR4.7 (relevância da evolução conceitual de substância química) obteve dois registros específicos da Questão 4 e três registros provenientes de outras questões (3 e 4).

O Quadro 46 apresenta a unitarização da Questão 5: *“Por gentileza, deixe seus comentários (aspectos positivos e críticas) a respeito da composição textual HFCTS elaborada para a formação de professores de Química, e sugestões de possíveis alterações”* (tem a), que visou indagar os/as avaliadores(as) acerca dos aspectos positivos da CT para o Ensino de Química e Formação Docente.

Quadro 46: Unitarização dos dados referentes à UC5a (Questão 5)

Unidade Tipológica de Contexto 5a (UC5a)	
“Aspectos positivos da composição textual (CT) HFCTS”	
UR5.1a “Organização da CT”: registros referentes à organização didática da proposta, como meio facilitador para a compreensão do processo de construção do conhecimento.	2 Registros
	A1: “Em um contexto mais específico a respeito da aprendizagem dos conceitos científicos é necessário a troca de olhares entre os distintos saberes, criando elos com as teorias vigentes e formar uma rede de conhecimentos para que saibamos reestruturar e adaptar nossas práticas pedagógicas. A composição textual HFCTS desenvolvida para a Formação de Professores de Química contempla essa troca de olhares, destacando a importância dos cursos de formação com um ensino contextualizado e interdisciplinar, apresentando a forma como os conhecimentos científicos são e foram desenvolvidos [...]”. Obs. Grifo: Relação com Q1-UR1.6 -Saberes Docentes A3: “A composição textual HFCTS apresenta uma abordagem interessante ao explorar a evolução do conceito de substância ao

longo da história, desde a Idade Antiga até a contemporaneidade. Ela oferece uma visão ampla e contextualizada do tema, abrangendo tanto aspectos filosóficos quanto científicos [...].”	
UR5.2a “Desenvolvimento metodológico”: registros nos quais os professores indicaram aceitação da CT uma vez que esta pode proporcionar uma metodologia diferenciada para o Ensino de Química.	1 Registro A4: [...] Ao ler o texto, percebi que as considerações HFCTS aplicados ao ensino da Química possibilita melhorar a organização dos conteúdos, trabalhar a interdisciplinaridade, que é tal carente na disciplina de química e sobretudo, colaborar na construção do conhecimento. Os quadros 28 e 29 são bastante úteis”.
UR5.3a “Relevância para a formação de professores”: registros nas quais os participantes citaram que a CT pode contribuir para a formação de professores e/ou saberes docentes.	4 Registros A2: “Um excelente material para a formação e formação continuada do professor de nível médio; e graduação, seria importante que os novos professores saíssem do curso superior já com este conhecimento. Obs. Grifo1: UR5.4a Seria uma sugestão para o nosso governador ou secretário da educação uma mudança na nossa formação continuada, utilizar os bons trabalhos das universidades e capacitar o professor na sala de aula”. Obs.: Grifo 2: Relação com Q1-UR1.6 - Saberes Docentes A4: “A composição textual HFCTS tem muito potencial para ajudar na formação dos professores [...]”. A7: “[...] devido a importância desta composição textual, quanto mais pessoas lerem e trabalharem com o material melhor será para o Ensino da Química. Parabéns pela composição textual”. A8: “[...] Sempre trabalho com meus alunos, parecido com essa perspectiva, a história da tabela periódica, mas vi que existe muito mais além disso e penso que seria crescimento até pessoal os professores todos passarem por esse momento de elucidação como foi apresentado. Penso que eu, particularmente, precisaria me aprofundar um pouco mais nos conceitos filosóficos abordado, mas pude entender que a base teórica que é a nossa estrutura de aprendizagem dos conceitos fundamentais está intrinsicamente conectada a uma boa reflexão, discussão, avaliação e fundamentação desses conceitos”. Obs. Grifo: Relação com Q1-UR1.7-Saberes Docentes
UR5.4a “Aceitação da CT”: registros referentes à aceitação da composição textual HFCTS ou aceitação relacionando a História e Filosofia da Ciência com o desenvolvimento científico e com os desenvolvimentos tecnológicos da sociedade (seus benefícios e seus problemas).	6 Registros A1: “[...] Como aspectos positivos considero a troca de olhares, que foram as Teorias e as teorizações utilizadas na composição para a ampliação do Conceito Substância [...]”. A2: “Um excelente material para a formação e formação continuada do professor de nível médio; e graduação, seria importante que os novos professores saíssem do curso superior já com este conhecimento [...]”. A3: “[...] Aspectos positivos: Abordagem histórica - O texto apresenta uma sequência cronológica dos pensamentos e teorias que contribuíram para a compreensão da substância ao longo do tempo, permitindo aos leitores entenderem o contexto em que essas ideias surgiram e evoluíram. Referências bibliográficas - O texto faz referência a autores e obras relevantes, fornecendo uma base para aprofundamento do tema. Integração de disciplinas: A composição envolve conceitos e perspectivas da Filosofia, História da Ciência e Química, o que enriquece o conhecimento dos leitores e promove uma visão interdisciplinar

A5: “A composição textual se mostrou um recurso muito rico, muito bem elaborada, com conteúdo de qualidade, tanto em relação ao conceito de Substância quanto em suas relações com a HFCTS. Acredito que essa relação de conceitos com a HFCTS pode trazer muitas contribuições para a aprendizagem, pois se mostra uma maneira de contextualização, muito pertinente para que os assuntos científicos façam sentido para quem aprende”.

A6: “Muito boa sua escrita, muito bem fundamentada, parabéns. Como a pesquisadora já havia alertado antes da leitura, sendo necessário uma revisão textual, várias correções a ser realizadas no texto, muitas de simples digitação”.

A8: “No meu ponto de vista esse trabalho está riquíssimo em termos de conteúdo. Como já relatei, desconhecia que por traz de conceitos tão simples temos tanta história para contar e conhecer. Nós mesmos que somos formados na área e atuamos na prática docente acabamos esquecendo que a ciência foi e é uma evolução e que nada ficou pronto e acabado por acaso [...]”.

Fonte: A própria autora.

A Questão 5a gerou 13 registros, distribuídos em 4 unidades. De modo geral, todos os avaliadores elencarem seus principais pontos de vistas com a leitura da CT, concordam, em maior ou menor grau, que a CT apresenta riqueza teórico-conceitual e diversos requisitos bastante relevantes para o Ensino de Química e Formação Docente.

A UR5.1a (organização da CT) apresenta o registro de A1, na qual um dos fragmentos pode ser relacionado com a Questão 1 em UR1.6 (Saberes Docentes). Além disso, podemos evidenciar no Quadro 47, que o registro de A2 na UR5.1 (organização da CT) mostrou dois fragmentos. O Primeiro fragmento em negrito está classificado também em UR5.4a (aceitação da CT) e o segundo fragmento em negrito se relacionada com a Questão 1 em UR1.6 (Saberes Docentes). Também, na mesma unidade, no registro de A8 há um fragmento que se relaciona com a Questão 1 em UR1.7 (Saberes Docentes).

O Quadro 47 apresenta a unitarização da Questão 5, item b, que teve em vista indagar os/as avaliadores(as) acerca das críticas e aspectos negativos, bem como possíveis sugestões para aprimoramentos da CT para o Ensino de Química e Formação Docente.

Quadro 47: Unitarização dos dados referentes à UC5b (Questão 5)

Unidade Tipológica de Contexto 5b (UC5b) Críticas à composição textual HFCTS	
UR5.1b “Falta de organização da CT”: registros que indiquem confusão ou falta de compreensão da proposta pela falta de organização da apresentação aos elementos principais, ou sugestões de melhorias.	3 Registros A3: “[...] <i>Organização e estrutura:</i> Algumas seções do texto poderiam ser melhor organizadas e estruturadas, para facilitar a leitura e a compreensão do leitor. Sugere-se dividir o texto em parágrafos mais curtos e utilizar subtítulos claros para orientar o leitor [...]”. A4: “[...] <i>no entanto, achei a leitura um pouco densa, não muito objetiva [...]</i> ”. A7: “[<i>Reiterando, é necessário uma maior fluidez entre os parágrafos dos textos apresentados. Alguns trazem muitas informações e a leitura torna-se pesada [...]</i> ”.
UR5.2b “Críticas ao desenvolvimento metodológico”: registros que indiquem falha metodológica e como pode ser corrigida, ou seja, as sugestões que possam ter sido levantadas pelos especialistas.	1 Registro A3: “[...] <i>Ênfase na relevância pedagógica:</i> Como a composição é voltada para a formação de professores, seria interessante destacar, de forma mais explícita, a relevância e a aplicabilidade dos conceitos abordados em sala de aula, fornecendo sugestões de atividades práticas e recursos didáticos para o ensino do tema”.
UR5.3b “Reformulação da CT para a formação de professores”: registros nos quais os participantes citam a necessidade de reformulação da proposta para que a mesma seja adequada a formação de professores.	1 Registro A3: “[...] <i>Linguagem acadêmica:</i> O texto apresenta uma linguagem densa e complexa, o que pode dificultar a compreensão para leitores menos familiarizados com o assunto. Sugere-se simplificar a linguagem e utilizar exemplos mais acessíveis para tornar o texto mais claro e compreensível [...]”.
UR5.4b “Negação da CT”: registros dos especialistas que se referem a não aceitação da proposta HFCTS.	Nenhum Registro

Fonte: A própria autora

A Unidade Tipológica de Contexto 5b possibilitou a unitarização de um total de 5 registros distribuídos em 4 unidades. Os 5 registros estão relacionados há apontamentos referentes à falta de organização da CT, às críticas ao desenvolvimento metodológico, às necessidades de reformulação e a algumas sugestões apresentadas para a Formação de Professores. Todavia, nenhum registro foi encontrado para o campo destinado à desaprovação ou à negação da CT pelos participantes da pesquisa.

Entendemos que esses resultados podem contribuir para o aprimoramento da pesquisa e das adequações da proposta HFCTS apresentada, com devidos cuidados pela preservação de sua essência e originalidade e segundo as possibilidades, além de sugerir continuidades para novas pesquisas. Diante do exposto, seguiremos com as inferências e interpretações no campo a seguir.

8.2 INFERÊNCIAS E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados evidenciam uma ampla subjetividade das interpretações e respostas dos avaliadores da CT, como observado nos quadros de apresentação. Podemos considerar que as respostas dos avaliadores são influenciadas tanto pelos saberes docentes de cada participante como também pela interpretação da CT e dos seus pressupostos teóricos. Antes de iniciarmos as interpretações acerca da proposta de composição textual HFCTS, podemos observar as opiniões dos avaliadores acerca da abordagem da HFC e da CTS, separadamente, como indagado em Q1.

8.2.1 Relevância da abordagem HFC

Referente à relevância dos temas relacionados com a História e Filosofia da Ciência para o ensino e Formação Docente (UR1.1 — Q1), observamos dois registros nos quais os participantes da pesquisa descrevem: a necessidade de se conhecer e compreender a história dos conceitos científicos e suas rupturas no desenvolver da Ciência (A1); a importância de entender como se dá a evolução dos conceitos e a natureza dinâmica do conhecimento científico, bem como, obter um olhar crítico diante da Ciência, evitando visões reducionistas quanto aos seus paradigmas e controvérsias científicas (A3). Ambos os avaliadores destacam, então, a necessidade de ensino e aprendizagem embasados na HFC, em concordância com autores como Matthews (1992, 1994, 2000), Driver *et al.* (1994), Monk e Osborne (1997), Hodson (1986), McComas, Almazora e Clough, (1998), dentre vários outros pesquisadores internacionais e nacionais.

8.2.2 Relevância da abordagem CTS

Quanto a relevância da abordagem CTS (UR1.2 — Q1) também obtemos dois registros. A1 enfatiza o movimento CTS como uma metodologia inovadora ao ensino de Ciências, corroborando com ideias de Volpe (2018) e demais autores. A2 argumenta que a Ciência é, de certo modo, indissociável da Tecnologia e da Sociedade e a CTS, no ensino, ajuda a conhecer a Ciência Química. Como considerado por Osorio (2002), o movimento CTS pode evitar ideais de neutralidade

da Ciência. Também, Auler (2002) sinaliza que, num contexto de Ensino de Ciências, uma aprendizagem significativa, para além da construção de conceitos científicos, precisa ser mediada por aspectos da CTS.

Todavia, A2 observa que essa abordagem CTS não é frequente nas escolas públicas. Percebemos, então, que a prática (sala de aula) está em dissonância com as pesquisas na área de ensino, por haver um vasto campo de pesquisas utilizando CTS com enfoque para a interdisciplinaridade no Ensino de Ciências (ex: Bucussi, 2006 e Cortez; Del Pino, 2019), para a Educação Científica (ex: Auler; Bazzo, 2001 e Santos; Mortimer, 2000), para o Ensino de Química (ex: Ferreira; Vasconcelos, 2016), para Formação de Professores (ex: Auler, 2002 e Marcondes *et al.*, 2009) e demais focos. Essas referências foram apenas alguns exemplos.

Segundo Fontes e Silva (2004), a formação inicial de professores não contempla, satisfatoriamente, os vários aspectos da CTS para o Ensino de Ciências, o que seria um dos motivos que dificulta a aceitação e implementação dessa abordagem por parte dos docentes em salas de aula. Em estudos mais recentes, como os de Egevardt e colaboradores (2021) essa ideia continua vigente. Os autores, ao discutirem alguns desafios da Educação CTS na formação de professores de Química, afirmam haver necessidade de um embasamento potencial da CTS diretamente ligado a formação inicial, visto que licenciandos destacam dificuldades na adequação para a implementação CTS e no planejamento de aula, ou seja, falta um aprofundamento crítico na área para haver uma integração real entre Educação CTS com a Universidade.

Vale uma ressalva referente um fragmento da resposta de A6 para a Q3 não unitarizado. A6 sugere não haver a necessidade de incluir a letra A no acrônimo HFCTS(A), pelo fato do ambiente ser consequência e responsabilidade social. Entretanto, esse aspecto foi apresentado no item 4.1.2.1 (Breve histórico da origem do movimento CTS) no qual explicamos nossa posição em optar por utilizar a denominação CTS (sem A), considerando as concepções de alguns pesquisadores como Santos (2007, 2012), Vilches *et al.* (2011) e, consequentemente de Luz, Queiroz e Prudêncio (2019).

Percebemos que a maioria dos avaliadores optou por comentar a junção HFCTS ao invés dos temas individuais, haja visto que a Q1 permitiu essa opção. Após essas percepções dos avaliadores quanto os temas HFC e CTS, para não fugirmos dos principais elementos a serem analisados, inferimos e interpretamos

esses resultados de acordo com temas e não por questão individual, visto que, um mesmo tema foi abordado em diferentes questões, o que gerou até mesmo, como vimos, os fragmentos destacados nos registros e compartilhados com demais unidades ou questões. Diante disso discutimos os temas-chave: — Composição Textual HFCTS; Nanotecnologia; Substância Química e Evolução Conceitual; Saberes Docentes e Formação de Professores.

8.2.3 A Composição Textual HFCTS

A relevância da junção entre os temas que compõe o texto com a HFCTS foi destacada, principalmente, em UR1.3 (Q1), por cinco registros nos quais os avaliadores reconhecem a necessidade dessas relações. Podemos inferir que o aspecto mais citado entre os registros foi a potencialidade que a HFCTS apresenta em trazer reflexão e criticidade acerca da Ciência e da Tecnologia, tanto na Formação Docente quanto para estudantes de Ensino Médio. Isso pode ser evidenciado em registros de A2, A3 e A4. Cabe lembrar que umas das questões que Matthews (1995) aponta para educadores do Ensino de Ciências é como estimular o pensamento crítico associado ao pensamento científico. Para isso, o autor sugeriu a inclusão da HFC nos programas de Formação de Professores.

A possibilidade de ensino crítico e reflexivo relacionado à composição HFCTS também foi mencionada em outro momento da Q1 como, por exemplo, em UR1.7, na qual A3 reafirma que uma abordagem HFCTS pode capacitar professores a formarem cidadãos críticos e informados diante das questões científico-tecnológicas. São pensamentos que concordam, por exemplo, com Balthazar e Oliveira (2009) no Ensino de Física e García (2014) no Ensino de Ciências, que afirmam haver um Ensino de Ciências mais reflexivo e crítico à medida que articulamos a CTS com a Natureza da Ciência, atrelando os aspectos históricos, sociais e outros.

Outros enfoques individuais em UR1.3 (Q1) foram observados como: essa composição HFCTS pode enriquecer o conhecimento (A2); pode promover a contextualização da Ciência, a interdisciplinaridade e o desenvolvimento de cidadãos reflexivos, de modo a serem mais informados em relação à Ciência e à Tecnologia (A3); permite que docentes obtenham uma visão mais real da Ciência e Tecnologia (A4); enriquecer as discussões conceituais tornando a Formação de Professores mais

completa (A5); as relações HFCTS são necessárias para que ocorra compreensão dos conceitos científicos, da evolução da Ciência e de seus contextos (A6).

Percebemos que essas concepções dos avaliadores da CT podem ser observadas em investigações de Paixão e Cachapuz (2003), de Martins (2006), de Garritz e colaboradores (2011), de Vilela e colaboradores (2021), dentre demais pesquisadores. Desse modo, assim como destacado por Matthews (1994), para se obter resultados satisfatórios na Educação Científica, é indispensável um Ensino de Ciências que não se limite a assuntos técnicos, mas que aborde suas dimensões históricas, filosóficas e culturais. Portanto, a CT apresentada nesse trabalho buscou essa significação do conceito de Substância ao focar a Nanotecnologia integrada a HFCTS.

Vale comentar, também, que a interdisciplinaridade oferecida pela CT gera diferentes situações de ensino e de aprendizagem que podem ser exploradas por projetos integradores, por exemplo. Esse aspecto é revelado por A1 em URE2.1a (Q2) e A4 em UR5.2a (Q5) que citam os vários campos de conhecimentos teóricos e práticos com caráter contextualizador que caracterizam um potencial integrador da CT. Segundo Bottcher e colaboradores (2021), a interdisciplinaridade abordada por meio de um projeto integrador é refletida em contextos educacionais amplos, como, por exemplo no aperfeiçoamento do aprendizado e na aproximação de estudantes à realidade estudada.

A respeito da presença dos elementos necessários para a compreensão da CT e sua utilização por professores (UR2.1a — Q2), todos os avaliadores concordam, de alguma forma, com a presença dos aspectos históricos, epistemológicos, científicos e tecnológicos necessários para a compreensão da CT, apresentando um texto bastante embasado em teorias e autores (A5, A6 e A7), com abordagem concisa dos principais pontos relevantes do tema (A3 e A4) e com interessante articulação entre o conceito de Substância e a Nanotecnologia (A8).

Em UR4.1 (Q4), os avaliadores concordam que a CT apresenta potencialidades, elementos conceituais adequados e viáveis para o Ensino de Química (UR4.1 — Q4). A viabilidade dos estudos conceituais da CT em sala de aula foi destacada por A1 e A3 em UR4.3 (Q4). A3 menciona que os elementos conceituais explorados no texto podem ser abordados em diferentes níveis de ensino. Em UR4.4 (Q4), A7 enfatiza que a CT apresenta riqueza de detalhes e integração dos conceitos científicos com os aspectos HFCTS, além de sugerir, ao final, um exemplo de como

trabalhar a CT (item 6.5), para facilitar a compreensão da proposta.

Também, destacamos uma unidade de registro emergente, referente a aprendizagem significativa (URE2.1a — Q2), na qual A1 considera a CT atrativa a educadores e como um meio de articular diferentes áreas do conhecimento, contribuindo para a aprendizagem significativa. Essa observação corrobora com as elaborações de Batista (2016) e Batista e Salvi (2006), dentre outros, que consideram a abordagem da HFC no ensino como meios para alcançar a aprendizagem significativa por meio de uma construção histórica do conhecimento. Observamos que essa perspectiva é, também, discutida por Kasprick e colaboradores (2020) e Sousa, Costa e Sgarbi (2022). Além disso, ressaltamos que a proposta de Ensino de Química gradual utilizando a CT, como sugerido nos Quadros 28 e 29, objetiva, dentre outros aspectos, a aprendizagem significativa de Substância Química, à medida que promove sentido e diferentes perspectivas do conceito científico construído durante a evolução histórica da Química.

Quanto aos aspectos de organização da CT, A8 (UR2.2a — Q2) comenta que a CT se torna interessante por apresentar um formato e uma abordagem diferenciada para o conceito de substância química, ao trazer discussões necessárias que dificilmente são abordadas em sala de aula. Por outro lado, A3 (UR2.2b — Q2) sinaliza que precisa haver uma análise mais detalhada de como essa abordagem pode ser implementada na prática (estratégias pedagógicas, recursos específicos, etc.) para que professores incorporem a HFCTS no ensino. Além disso, A6 (UR2.2b — Q2) sugere uma adequação na posição do item 6.5 (Algumas considerações e sugestões para o Ensino de Química) que está ao final da proposta. Segundo A6, esse item ficaria melhor no início da leitura, a fim de apresentar, de maneira mais clara, a proposta.

Considerando os aspectos positivos, A1 (UR5.1), observa que a organização da CT, desenvolvida para Formação de Professores, possibilita troca de olhares entre os saberes e a criação de elos entre teorias vigentes para que professores possam reestruturar e adaptar suas práticas pedagógicas. E A3 enfatiza a visão ampla e contextualizada do tema, por abranger tanto aspectos filosóficos quanto científicos. Contudo, A3, A4 e A7 (UR5.1b) alertam para a leitura densa e não muito “objetiva” (termo utilizado por A4), necessitando de ajustes entre alguns parágrafos que contém muitas informações, sugerindo mais subdivisões em parágrafos mais curtos para a leitura ficar mais fluida. Essas observações, também,

foi citada por A3 em UR5.3b (Q5), referente a reformulação da CT.

Ao ponderar o desenvolvimento metodológico da CT, A4 (UR5.2a) destaca o aspecto positivo que as considerações da HFCTS para o Ensino de Química abordadas na CT permitem melhor organização dos conteúdos e o enfoque interdisciplinar. Enfatiza, também, que os Quadros 28 e 29 da CT são bastante úteis para essa noção de organização. Por outro lado, A3 (UR5.2b) registrou que o texto forneça sugestões de atividades práticas e de recursos didáticos para o ensino, visto que o enfoque da CT é a Formação Docente. Mais uma vez, reiteramos que a CT é um modelo que pode, dentre outros benefícios, inspirar professores em formação inicial ou continuada a exercitarem sua criatividade didática para elaboração de diferentes atividades em conjunto com a proposta HFCTS.

A respeito da clareza da CT, A1 (UR2.3a — Q2) considera que essa apresenta clareza nas palavras e total adequação para sua utilização por professores. Todavia, A2 e A3 (UR2.3b — Q2) atentaram para a necessidade de adequação do texto para torná-lo mais resumido e com leitura mais fluida. Como já apresentado durante a proposta, o professor terá em mãos uma CT que permite adequações conforme as necessidades e possibilidades educacionais, tanto para o Ensino Médio de Química, quanto para cursos de Formação de Professores.

Entretanto, é relevante observar o registro de A8 em UR4.7 (Q4), referente às dificuldades de adaptação da CT para sala de aula. Segundo A8, se trata de um desafio implementar a CT em sala de aula devido ao tempo que o professor utiliza com as questões burocráticas, aos currículos cada vez mais enxutos, etc. Visto isso, adaptar a CT demandaria, além de tempo, momentos de compartilhamentos e de discussões com os estudantes. De fato, sabemos que um ensino que busque o pensamento crítico de estudantes demanda vários fatores além do tempo.

Estudos de Boszko e Güllich (2019) evidenciaram que discussões acerca da promoção do pensamento crítico no Ensino de Ciências, durante a formação de professores no contexto brasileiro, é precária. Diante disso, os autores acreditam que estudos que instiguem o ensino crítico precisam ser analisados por políticas públicas educacionais curriculares e empreendidos em Formação de Professores e em materiais didáticos para podermos avançar nessa área.

Quanto as potencialidades esperadas de uma CT, definidas pela teoria (Batista, 2016) e relações com a presente CT da HFCTS, podemos destacar: a dificuldade de disposição de materiais com este tipo de reconstrução histórica-

epistemológica-científica-tecnológica, mencionada por A2 (UR3.1 — Q3) e A7 (UR1.4 — Q1); a presente CT possibilita a compreensão do desenvolvimento do conceito científico de modo contextualizado com a HFCTS, mencionado por A3, A5 e A6 (UR1.3 — Q1), A1 e A3 (UR1.4 — Q1), A4 e A8 (UR2.1a — Q2), A3 (UR4.1 — Q4 e UR5.1/UR5.1 — Q5); a CT permite a visão de ciência contextualizada, não neutra e não linear, mencionado por A3 (UR1.4/ UR1.5 — Q1 e A7 (UR1.6 — Q1), A8 (UR1.7 — Q1) e A8 (UR3.1a — Q3); a CT apresenta elementos epistêmico-metodológicos com base na HFCTS do conceito de substância química, obtendo uma composição textual potencialmente frutífera na formação interdisciplinar de professores, mencionado por A3 (UR1.3 — Q1), A5 (UR1.3 — Q1/ UR2.1a — Q2), A3 e A7 (UR1.4 — Q1), A2 e A8 (UR1.6 — Q1), A4 (UR1.7 — Q1), A7 (UR2.1a — Q2), A1 (UR2.4a — Q2), A2, A4 e A7 (UR5.3a — Q5), A2, (UR5.4a — Q5).

8.2.3.1 Nanotecnologia

Quanto ao reconhecimento da relevância das potencialidades tecnológicas contemporâneas para o Ensino de Química (UR4.5 — Q5), as respostas unitarizadas advém da própria Questão 5 da Questão 2. A1 entende que desenvolvimento do conceito da substância à Nanotecnologia é uma forma de abordar o raciocínio científico. Diante disso, percebemos haver um reconhecimento da relevância da Nanotecnologia contextualizada para o processo de compreensão do pensamento científico do conceito estudado, por estudantes. Essa visão é compartilhada por pesquisadores como Oliveira (2013), Cebin (2022), Rebello *et al.* (2012) e demais pesquisadores..

A4(Q2) entende que a Química se desenvolve juntamente com a Tecnologia, Sociedade, Cultura e que associar essa evolução a sua História é bastante relevante. No mesmo contexto. A8 (Q2) complementa que vincular a Nanotecnologia ao conceito de substância permite uma aproximação dos estudos mais atuais. Portanto, podemos perceber que ambos os avaliadores confirmam em suas respostas que a integração da Nanotecnologia, como mediadora da CTS, ao conceito de substância química permite o desenvolvimento da concepção atualizada do conceito.

Observamos que os demais avaliadores não enfatizaram a Nanotecnologia em suas respostas. Isso pode ter ocorrido por diversos fatores, porém

podemos supor que um deles seja falta de adaptação dos participantes com os estudos referentes à Nanotecnologia. Em nossas investigações referentes as publicações, não foi possível encontrar, até aquele momento, publicações que vinculassem a Nanotecnologia com o ensino do conceito de substância química (ver item 3.1.4).

Além disso, Silva e colaboradores (2021) destacam diversas lacunas entre a área de Nanotecnologia e Educação. Segundo esses autores, há necessidade de pesquisas para que elas possam guiar o professor em seus planos de aulas, mesmo que os livros didáticos ainda não apresentem essas contextualizações. Estudos de Silva e Lopes (2019) apontam para a relevância de maior investimento por parte das instituições, em ações voltadas para a construção crítica e articulação de abordagens relacionadas à Nanotecnologia aos diversos saberes docentes.

8.2.3.2 Substância Química e a Evolução Conceitual

Quanto a evidências de menções de perfil conceitual de substância, não houve comentários explícitos ou específicos, talvez por ser uma teoria menos conhecida pelos avaliadores. Ao analisarmos as respostas relacionadas à relevância do conceito de substância química para o Ensino de Química (UR3.2 — Q3), percebemos que os avaliadores enfatizam essa relevância de diferentes modos (direta ou indiretamente). A1 e A8 concordam que essa temática é interessante para o ensino de Substância Química. A1 afirma que a CT estimula a curiosidade dos estudantes em entenderem como o conceito foi desenvolvido na história.

Podemos deduzir que essa reflexão de A1, além de sugerir a importância do conceito de substância química para o ensino (UR3.2 — Q3), faz alusão à importância da evolução conceitual de substância química (UR4.6 — Q4). Esse é um dos objetivos da CT, possibilitar a compreensão de que o conceito de substância não foi criado, pronto e acabado na História da Química, mas que passou por diversos modos de pensamentos, assim como destacado por Silva (2011, 2017), é como um devir, “nem unitário” e “nem contínuo” (Bachelard, 1976, p.39).

A8 complementa que esse formato de abordagem HFCTS é diferenciado e traz a contextualização da substância química (parte tão importante da química “microscópica” — termo utilizado por A8) e interatividade com demais conceitos, criando uma fundamentação sólida. Nesse contexto, percebemos que a CT

pode mostrar como os conceitos químicos estão interligados e dependentes durante a evolução da Química. Conceitos como átomo, moléculas, íons, elemento químico, afinidade, combustão, assim como os estudos dos gases, das reações químicas, da cinética e termodinâmica química, da isomeria e demais áreas, contribuíram para que o conceito de substância química fosse elaborado e reelaborado durante a História da Química.

Quanto à evolução conceitual (UR4.6 — Q4), A4 (Q2) e A8 (Q2) concordam que o conceito de substância química é considerado bastante abstrato e que, por esse motivo, há a necessidade da inclusão dos aspectos da HFCTS para haver compensação da construção desse conceito científico na história. Essa reflexão foi certamente almejada pela leitura da proposta. Podemos considerar que a proposta da HFCTS envolve aspectos externos da Ciência e um certo conhecimento metacientífico que, atrelados à Nanotecnologia, é uma característica da Natureza da Ciência e Tecnologia (NdC&T), como denomina Garriz e colaboradores (2011).

Em UR3.1a (Q3) todos os avaliadores comentam que a CT oferece relações, de forma clara e coerente, entre os aspectos da HFCTS e o conceito de substância química, contendo organização e estrutura coerente e bem definida com o desenvolvimento histórico do conceito de substância (A1, A2), com a Química de Nanomateriais (A1), com aspectos científico-tecnológicos claros e exemplos práticos (A6), com as diferentes interpretações que o conceito de substância assumiu ao longo do tempo (A7), com a história da formação minuciosa do conceito de substância química e de seus tropeços até se chegar a evolução conceitual atual (A8). Observamos que essas opiniões condizem com alguns dos aspectos esperados da CT, apresentados no Quadro 05 (elementos da composição textual e algumas possibilidades para evolução conceitual de substância química na Formação Docente).

Algumas ressalvas foram citadas. A3 atenta para que, embora seja possível estabelecer relações entre os dois domínios da HFC e CTS e o Ensino de Ciências em geral, os estudos conceituais de substância química se concentram especificamente na compreensão das propriedades, estrutura e comportamento das substâncias. Para ocorrer melhor relação, seria interessante estabelecer uma conexão específica entre a HFCTS da Ciência Química com os conceitos e propriedades das substâncias químicas em si, por meio de investigações científicas, estudos de casos e discussões acerca do desenvolvimento de teorias químicas, por

exemplo. Ainda, A6 observa a necessidade de se relacionar exemplos da Nanotecnologia e aspectos filosóficos. Por esse motivo, foi incluído o sugerido item no texto base da CT (6.4.3.1).

8.2.3.3 Saberes Docentes e Formação De Professores

Como foi possível observar e prever, os saberes docentes desempenham um papel bastante presente e relevante no momento das avaliações da CT e nas respostas dos participantes ao questionário. As Questões 1 e 4 possibilitaram registros nos quais os participantes da pesquisa relacionaram a importância do tema abordado na CT aos saberes docentes. Destacamos, de antemão, que o aspecto mais citado pelos avaliadores referente a CT e saberes docentes, além do ensino crítico, já comentado no item 8.2.3, é a interdisciplinaridade da abordagem HFCTS oferecida ao ensino, assim como destacado por Volpe (2018), Viela e colaboradores (2021), Sousa, Costa e Sgarbi (2022), Oliveira, Padim e Rosa (2022), dentre demais pesquisadores do Ensino de Ciências.

Quanto aos saberes profissionais (UR1.4 — Q1), observamos que os dois registros se referem ao que Tardif (2014) denomina de conjunto de saberes baseados nas ciências e na erudição que são passados aos professores durante o processo de formação, seja ela inicial ou continuada. A1 comenta que os detalhes históricos permitem melhor compreensão dos conceitos científicos, tornando, portanto, o tema HFCTS fundamental para a formação docente. A3 acrescenta serem diversas as razões que fazem desse tema bastante relevante para a Formação de Professores, e dentre elas destaca a “compreensão do desenvolvimento científico”, a “contextualização da ciência”, o “pensamento crítico e reflexão” (mais uma vez reafirmados) e “conexões interdisciplinares”.

Considerando as respostas de A1 e A2, voltemos às pesquisas mais atuais. Pego, Gonçalves e Teodoro (2023) evidenciaram em suas investigações que os currículos dos cursos de Formação de Professores de Química necessitam contemplar a HFC na construção dos saberes docentes para gerar reflexão acerca da origem, da finalidade, do desenvolvimento e da atuação da ciência na sociedade. No que diz respeito às possibilidades de interdisciplinaridade no ensino, Volpe (2018), Vilela e colaboradores (2021), dentre outras pesquisas, destacam a contribuição que a articulação entre HFC e os estudos CTS podem trazer para a efetivação de uma

abordagem interdisciplinar no Ensino de Química e de Ciências.

Entretanto, um estudo de Sousa, Costa e Sgarbi (2022) referente a produções científicas de programas de pós-graduação em educação científica revelou que grande parte dos trabalhos apresentam apenas recortes históricos carentes de contextualização ou de um diálogo entre a área de ensino de HFC com área CTS/CTSA. Portanto, podemos perceber que essa proposta de Composição Textual HFCTS representa um modelo que permite que professores, dentre outros aspectos, estabeleçam esse diálogo entre essas áreas e a contextualização da ciência necessária com o conceito de substância química.

Assim como o registro de A2 (Q3) relacionado à UR1.4(Q1), o registro de A7 foi alocado em UR1.4 e em UR1.6 da Q1, como mostra o Quadro 42. A UR1.4 (Saberes Docentes Profissionais) engloba, também, o que Tardif (2014) denomina de Conhecimentos Pedagógicos, ou seja, significa o “saber-fazer” que professores desenvolvem em seu processo de formação e que estão relacionados às técnicas e aos métodos de ensino. Nesse contexto, A7 (UR1.4) enfatiza a extrema importância do tema HFCTS, tanto para a licenciatura quanto para formação em serviço de professores. Pois os cursos de formação são, geralmente, fragmentados e focados na matematização da química e na ênfase de memorização de conceitos em detrimento da compreensão de sua construção na trajetória histórica da Ciência. Esse registro também faz parte de UR1.6 (Saberes Docentes Curriculares) por sugerir uma crítica às instituições educacionais no tocante a sua gestão de conhecimentos produzidos.

Podemos perceber que a observação de A7 está em concordância com Pereira (2023) e com os documentos oficiais de educação que sinalizam que o atual cenário brasileiro de Ensino de Ciências ainda prima pela pedagogia tradicional, caracterizada pela matematização e memorização descontextualizada dos conceitos científicos de Física e de Química. Também, A2 (UR3.1a – Q3) explica que a CT representa uma organização coerente e diferenciada do que a maioria dos livros didáticos apresentam, pois esses possuem grandes lacunas na história das substâncias e até inconsistências conceituais, limitando a epistemologia do conhecimento científico.

Referente aos saberes disciplinares (UR1.5 — Q1), A3 cita diferentes campos do conhecimento ligados à CT, que como Tardif (2014) explica, são saberes produzidos e acumulados pela sociedade e disseminados pelas instituições de ensino. Assim sendo, A3 considera que a abordagem pode estimular a integração de áreas

como Ciências, História, Filosofia, Sociologia e Ética, permitindo que professores estabeleçam conexões entre os contextos social, político, econômico e cultural com a Ciência. Nessa mesma perspectiva, Baldaquim e Leal (2017) utilizaram a abordagem CTS e aspectos da HFC numa aplicação de jogo lúdico, a fim de auxiliar o processo de ensino e de aprendizagem em Química. Os resultados dessa abordagem permitiram que os autores concluíssem que essa integração da CTS com a HFC induziu a associação de significados dos saberes disciplinares a diferentes contextos, como os citados por A3.

No que diz respeito aos saberes curriculares (UR1.6 — Q1), podemos perceber que A2, A7 e A8 fazem alusão à necessidade de reestruturação da Formação Docente voltada aos aspectos da HFCTS para que essa possa se tornar a linguagem fundamental a permear os curso de formação. Como previamente apresentado em saberes profissionais (UR1.4 — Q1), A7 comenta essa necessidade. A2 destaca que, em sua formação continuada, não há abordagens de especificidades do ensino de Química e nem dos aspectos interdisciplinares, como os da HFCTS, o que torna esse tema bastante relevante à Formação de Professores, como já mencionado nas discussões dos saberes profissionais, que condiz com os estudos de Sousa, Costa e Sgarbi (2022), acerca das publicações científicas que retratam os programas de Formação Docente.

Em concordância com A2, A8 alega se sentir despreparado para trabalhar com novos contextos em sala de aula, referentes aos aspectos da HFCTS, devido a sua formação pobre nessa área. Por esse motivo, A8 ressalta que esse tema é bastante valioso para a sua própria prática docente como para futuros cursos de formação que foquem nessa interdisciplinaridade da HFCTS para o Ensino de Ciências. Cabe, aqui, uma observação quanto ao perfil acadêmico de A8 (Licenciatura em Química e Mestrado em Química). Sabemos que os cursos de pós-graduação em Química possui objetivos diferente do Ensino de Química e, por focar nos aspectos técnicos, abrangem raramente os aspectos da HFC e relações sociais. Portanto, a formação acadêmica de A8 na área do ensino está mais restrita ao seu curso de licenciatura e aos cursos de formação continuada durante a carreira.

Visto isto, é importante perceber que esse sentimento de despreparo revelado por A8 sugere, principalmente, que os cursos de Licenciatura em Química e os de formação continuada não fornecem subsídios necessários para que professores em formação se familiarizem com a linguagem da HFC e com suas discussões

epistemológicas acerca do conhecimento científico ao longo da evolução da ciência. Percepções que podem ser confirmadas nos estudos de Aragão (2019) Sousa, Costa e Sgarbi (2022), Santos e Lima (2010), Scerri (2001) e demais pesquisas. Lembrando, também, que essa crítica foi pronunciada por A7 (UR1.4 e UR1.6 — Q1).

Quanto aos saberes experienciais (UR1.7 — Q1), que surgem quando docentes vivenciam situações de sala de aula e suas particularidades (Tardif, 2014), observamos que A3, A4 e A8 concordam que a abordagem HFCTS pode auxiliar professores em sua prática. A3 reafirma o aspecto do ensino crítico e entende que a CT de HFCTS possibilita que professores formem estudantes capazes de tomar decisões conscientes frente às questões científicas e tecnológicas no contexto social.

A4 destaca a relevância da contextualização histórica do que é ensinado e afirma que a CT permite que professores de química conduzam melhor suas aulas ao criarem a interdisciplinaridade e uma prática socialmente comprometida com o ensino integral. Assim como exposto por Vilela e colaboradores (2021), o aspecto interdisciplinar da HFC e da CTS permite um ensino que pode transpor o estudo disciplinar das áreas de conhecimentos ao permitir discussões de temas abrangentes da ciência. Nesse contexto, assim como citado por A4, Volpe (2018) enfatiza a integração da HFC e da CTS como mediação para a formação humana integral.

Evidenciamos que A8 pode refletir sua própria prática docente com a leitura da CT (um dos objetivos desse trabalho) e percebeu que sua maior preocupação gira em torno de preparo do plano de aula, da avaliação e, no máximo, da noção de Ciências de Natureza e que, portanto, os aspectos da HFCTS não fazem parte da estrutura fundamental do Ensino de Química. Isso, mais uma vez, reflete as falhas da formação inicial e continuada, como discutido acima. A8 revelou que a leitura da CT o fez entender que o Ensino de Ciências necessita de conhecimentos de demais áreas como discussões históricas e filosóficas (mais um dos objetivos desse trabalho).

Na Questão 2, em UR2.2a (organização da CT), A8 apresenta um fragmento do registro que faz relação com a UR1.7 (Q1), consoante o grifo do Quadro 43. Nesse contexto, A8 afirma que, em sua vivência em sala de aula, observa que alguns conceitos básicos para a compreensão da matéria (átomos, íons, moléculas, substâncias...) são complexos para os estudantes e discussões mais elaboradas a respeito ficam inviáveis ao professor. Essa argumentação de A8 reforça a

necessidade de um Ensino de Química progressivo, como sugerido por Nelson (2002) e apresentado no Quadro 28 da CT e indicado no Quadro 29.

Portanto, essa proposta de CT com base na HFCTS permite ao professor, além de viabilizar discussões histórico-epistemológicas do conceito científico em questão, abordar o nível um (macroscópico ou a granel), nível dois (atômico e molecular) e nível três (eletrônico e nuclear) gradativamente, de modo que o estudante construa os subsídios cognitivos necessários para chegar aos níveis mais avançados e compreender a matéria evitando tantos obstáculos conceituais.

Em relação à adequação da CT para saberes docentes em sala de aula (UR4.2 — Q4), os avaliadores A3, A4, A5, A6 e A8 revelam haver grandes possibilidades para que a CT seja utilizada por professores em suas aulas de Química. A8 comenta que, em condições adequadas ao professor (como tempo, por exemplo), é perfeitamente possível adequar a CT como um instrumento de aprendizagem e de avaliação. Alguns avaliadores chamam a atenção para o cuidado que o professor deve ter no momento da seleção e síntese dos principais aspectos do texto (A3), no momento da apresentação de tais conceitos para a turma (A4) e em como aproveitar esse recurso da CT em uma abordagem construtivista, como sugerido no texto (em conjunto com demais atividades) (A5). Isso confirma a observação de Batista (2007), ao abordar a necessidade de que docentes sejam seus próprios investigadores (reflexivos) e possam adaptar pedagogicamente os materiais de acordo com cada contexto de ensino.

Assim como mencionado anteriormente, A3 reafirma a necessidade de adaptação da linguagem pelo professor, a fim de torná-lo mais acessível aos estudantes. A4 sugeriu que o professor trabalhe o texto para otimizar o pouco tempo de aula disponível, sempre interligando cada conteúdo com os aspectos da HFCTS e, quando possível, fazer uma retrospectiva. Nesse contexto, A4 e A5 acreditam que o Quadro 29 da CT é bastante sugestivo para direcionar o professor. A6 alerta para a quantidade de aulas sugeridas no Quadro 29. Por pode ser insuficiente duas aulas para cada unidade proposta, principalmente se tratando de um instrumento avaliativo como mapas conceituais. Entretanto, o número de aulas apresentado no Quadro 29 significa, apenas, uma suposição, visto que entendemos que esse tempo de aulas poderá ser maior. Diante disso, acrescentamos uma observação logo abaixo do Quadro 29 da CT.

Cabe algumas ressalvas referentes ao Quadro 29. Apesar do modelo

de planejamento apresentado no Quadro 29 ser “genérico” e o texto não especificar se é destinado à Licenciatura ou ao Ensino Médio de Química, ao analisarmos as respostas dos avaliadores temos a impressão de que a interpretação foi direcionada ao Ensino Médio, de acordo com os seguintes fragmentos: A6 (Q2) — “[...] o item 3.5 (6.5 da tese, com o Quadro 29) *que explica como pode ser utilizado [...]*”; A6 (Q4) — “[...] *Se a ideia é disponibilizar sua composição textual para os professores utilizarem como um material didático, certamente o professor necessitará de mais tempo para trabalhar [...]*”; A4 (Q4) — “[...] *de forma a ajudar na construção do conhecimento químico, mas sem perder o foco da aula, que já é curta. Nesse sentido, o quadro 29 nos dá uma direção.*”

Talvez, um dos aspectos que pode ter contribuído para essa interpretação focada para o Ensino Médio, seja a Questão 4, que investiga as potencialidades da CT e sua adequação para adoção em aulas. De qualquer forma, desejamos disponibilizar um material com potencialidades para aplicações em ambos os ensinos, visto que a Formação de Professores é direcionada à docência no Ensino Médio.

A Questão 2 gerou dois registros que podem ser relacionados aos saberes docentes. A UR2.4a (utilização da CT por professores) e a UR2.4b (dificuldades de utilização). Em UR2.4a, A1 afirma que a CT apresenta um suporte didático e teórico de grande potencial para que professores possam fazer adaptações segundo o contexto. Por outro lado, em UR24.b, A3 argumenta que, por ser um campo de estudo em constante evolução, os professores precisam de estudos adicionais à CT, referentes aos aspectos da HFCTS, aos modelos de implementação e de avaliação, dentre outros aspectos, para poderem utilizar essa abordagem de forma mais eficaz. Perante essa observação, concordamos que os aspectos tecnológicos relacionados a evolução da CTS e da Nanotecnologia precisam ser atualizados pelos professores. Por esse motivo, se faz tão necessária a capacitação continuada e atualizada, fundamentada na HFCTS.

8.2.4 Algumas Considerações Gerais

Ressaltamos haver uma grande relevância nos resultados dessa pesquisa pelo fato de que, dentre outros fatores, os avaliadores participantes possuem experiência em sala de aula, que por sua vez pode enriquecer a pesquisa em Ensino

de Química. Pois como dito por Tardif (2014), nem todos os teóricos/pesquisadores educadores atuam no meio escolar, e sabemos que as reflexões das pluralidades de saberes da prática pedagógica são mobilizadas no ambiente escolar.

Nas considerações finais, a Questão 5 em UR5.3a se refere especificamente da relevância da CT para a Formação de Professores. Os registros dos avaliadores A2, A4, A7 e A8 enfatizam que a CT representa um material com grande potencial para enriquecer a Formação Docente inicial e continuada, o que corrobora com o proposto por Batista (2016). Segundo a autora, a HFC incorporada formação docente colabora para a construção de conhecimento docente e escolar devido à diversas justificativas, dentre elas: a transformação do senso comum para o desenvolvimento histórico da Ciência de sua formação; uma produção interdisciplinar nos conteúdos e metodologias, etc.

A2 diz que seria uma boa sugestão para que a Secretaria de Estado de Educação de nosso governo incluísse na formação continuada pesquisas como essa aqui apresentada. A7 incentiva a divulgação do material para alcançar o maior número de leitores, estudantes e professores área. A8 enfatiza que a CT possibilitou sua reflexão quanto a prática em sala de aula a ponto de entender que há, sim, necessidade de aprofundamentos filosóficos para se compreender a base teórica.

De modo geral, a proposta da CT foi aceita unanimemente pelos 8 avaliadores participantes da pesquisa (UR5.4a — Q5). Dentre os aspectos positivos destacados, A1 observa a riqueza entre as teorias e teorizações envolvidas no desenvolver do conceito de substância. A3 comenta que o texto apresenta uma sequência cronológica dos pensamentos e teorias que contribuem para a compreensão conceito de substância contextualizada com cada época e enriquecida com a HFC, de modo a promover uma visão interdisciplinar. Essa percepção confirma o proposto por Batista (2011) que enfatiza alguns cuidados metodológicos e epistemológicos interdisciplinares. Além disso, Batista (2016) propõe uma síntese interdisciplinar que articule a HFC com o assunto a ser ensinado, em abordagens contextualizadas. Segundo a autora, uma solução proposta para essa abordagem e a construção textual com enfoque teórico metodológico definido como “composições histórico-filosóficas”.

A5 realça que a relação HFCTS traz sentido ao conceito científico estudado. Segundo já mencionado anteriormente, isso tem potencial de contribuir para uma aprendizagem significativa. A8 refere-se a sua reflexão quanto a prática

docente após a leitura da CT e afirma que desconhecia que por trás dos conceitos científicos há tantas informações que a HC pode oferecer. Portanto, a percepção de A8 corrobora com uma dos objetivos proposto pela CT. De acordo com Batista (2016), uma CT precisa conseguir trazer reflexões quanto aos valores cognitivos da Ciência e a intersubjetividade dos conhecimentos científicos, em relação com a ação didática.

Apesar de algumas críticas e ressalvas dos avaliadores, em resumo, podemos considerar que a proposta apresentada foi aprovada pelos especialistas da área, o que de fato torna o trabalho bastante relevante para que demais pesquisas possam ser direcionadas nesse mesmo contexto. Observamos que grande parte das críticas relacionadas à CT (necessidade de adaptação da linguagem, resumo do texto, adequações de atividades) foram previstas e comentadas em diferentes momentos do corpo do texto (ver itens 5, 5.2 e 6.5).

Além disso, lembramos que essa versão da proposta HFCTS, apresentada na tese, contém alguns ajustes e correções sugeridos pela banca de qualificação. No entanto, cabe dizer que nem todas as sugestões foram possíveis de serem realizadas (abreviação do texto, por exemplo). No geral, concordamos que vários aspectos destacados pelos avaliadores podem enriquecer a compreensão e viabilidade da CT, bem como sugestões de adequações didáticas voltadas para cursos de Formação de Docentes de Química. Lembramos que a proposta da HFCTS apresentada nessa pesquisa é destinada à formação inicial e continuada de professores, contudo, após as análises dos resultados da avaliação, podemos considerar que as adequações da CT podem ser particulares de acordo com situações didáticas específicas.

Uma das críticas mais frequentes apresentadas pelos avaliadores foi referente à falta de exemplos didáticos e atividades que possam ser utilizadas com a CT (além das apresentadas no Quadro 29), sendo uma das justificativas que professores em formação continuada disponibilizam de pouco tempo para elaborar essas atividades, e que, portanto, seria mais interessante já tê-las em acesso fácil. Entendemos que esse é um aspecto relevante e que para um curso de formação continuada a organização geral poderá incluir um texto mais curto e com mais exemplos de planos de aulas, facilitando o trabalho do professor. No entanto, em caso de formação inicial, uma das propostas é formar inicialmente o professor, ou seja, é importante que este tenha ocasião para exercitar sua criatividade didática e elaborar seus planos de aulas. Diante disso, um curso voltado para esse contexto poderá ser

mais extenso e oportunizar que licenciados criem suas propostas de aulas, inclusive como um meio de avaliação do curso, haja vista que demais disciplinas, como a didática de ensino, compõe o currículo das licenciaturas.

A respeito das críticas referentes a linguagem complexa da epistemologia da Química, também concordamos que deva ser adequada para cada contexto, principalmente para um aproveitamento da CT no Ensino Médio. Mas cabe uma observação, como já mencionado no texto, os nossos cursos de licenciatura não preparam os licenciados para essa linguagem, o que de fato dificulta bastante abordagens dessa natureza.

Enfatizamos, ainda, que algumas das sugestões dos avaliadores foram incluídas nessa última versão da CT, com o intuito de aprimorar o trabalho, como, por exemplo: esclarecimentos quanto ao número de aulas sugerido no Quadro 29 (Sugestão de utilização da Composição Textual HFCTS no Planejamento de Ensino de Química e na Análise do processo de Aprendizagem); ressaltar que é possível que alguns professores em formação sintam necessidade de se aprofundar nos aspectos da HFCTS para melhor compressão da proposta e que diante disso, os capítulos de pressupostos teóricos podem servir como base de direcionamento para demais estudos (item 4); adicionar um item que relacione exemplos da Nanotecnologia com aspectos filosóficos (6.4.3.1 A Substância Nano e a Epistemologia de Bachelard: algumas relações). Portanto, para acesso ao texto original da CT enviado aos avaliadores, ver Anexo A.

A Figura 58 apresenta um esquema conceitual contendo uma síntese das principais características e contribuições da CT para o ensino de Substância Química na Formação Docente, segundo a análise dos resultados fornecidos pelos avaliadores. Para ressaltar as potencialidades com maior e menor representatividade entre os registros referentes as respostas dos avaliadores ao questionário, utilizamos flexas de diferentes tamanhos ou intensidades. Desse modo, as flexas maiores se referem àquelas potencialidades da CT que foram mais citadas ou destacadas pelos avaliadores e, conseqüentemente, as flechas menores representam potencialidades comentadas menos vezes pelos participantes da pesquisa.

Figura 58: Algumas Potencialidades da Composição Textual da HFCTS para a Formação Docente em Química



Fonte: A própria autora.

Referente à elaboração da CT, mediante essa síntese de contribuições da CT ao ensino de substância química na formação docente, é possível destacar que a composição textual elaborada e avaliada pelos profissionais da área, apresenta os elementos epistêmicos-metodológicos e as relações HFCTS com o conceito de substância química necessários à sua compreensão e à adaptação em sala de aula por licenciandos de Química. Identificamos que a maior ênfase dos participantes da pesquisa se refere às relações entre aspectos da HFCTS e o conceito de substância química que, por sua vez, podem contribuir para a melhor compreensão da evolução desse conceito.

Quanto às potencialidades oferecidas pela CT ao Ensino de Química, sobretudo ao ensino do conceito de substância química para a Formação Docente, além da ênfase na formação interdisciplinar e integradora e no ensino crítico e reflexivo, os avaliadores destacaram também a reflexão da prática docente, a contextualização do Ensino de Química, a contextualização da ciência, e a atualização do ensino de substância química por meio do enfoque da Nanotecnologia, do raciocínio científico e de facilitação à aprendizagem significativa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das publicações científicas nos revelou que o conceito de Substância Química é a “espinha dorsal” da Química e, conseqüentemente, do seu Ensino. Contudo, sua compreensão, tanto na evolução histórica da Química quanto em situações de sala de aula é polissêmica. Perante isso, essa pesquisa visou contribuir com o tema ao pensar em diferentes elementos históricos, epistemológicos, científicos e tecnológicos que possam colaborar para que a polissemia do conceito de substância. Ainda, ressaltar a ideia dos perfis conceituais que possam ser reconhecidos e compreendidos na formação docente, de modo a promover uma evolução conceitual de professores a respeito desse conceito científico tão relevante.

Sendo assim, relembramos o objetivo geral desta pesquisa, que foi elaborar uma Composição Textual (CT), com base na História e Filosofia da Ciência (HFC) articulada ao enfoque de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) para o Ensino de Química, com o intuito de que a mesma apresente uma evolução histórico-epistemológica de substância química voltada para a formação de professores licenciandos de Química ou uma capacitação em serviço de professores dessa área. Além disso, investigamos que contribuições essa Composição Textual da HFCTS pode trazer para a formação docente mediante a avaliação de especialistas na área.

Diante do exposto, a presente pesquisa foi desenvolvida mediante estudos teórico-metodológicos e com o efetivo auxílio do grupo de pesquisa IFHIECEM. Para auxiliar a evolução conceitual de substância química na Formação de Professores, elaboramos uma Composição Textual (CT) denominada “Da Substância à Nanotecnologia” a partir de pesquisa na História, Filosofia, Ciência, Tecnologia e Sociedade (HFCTS) para o ensino de substância química. Ressaltamos que se trata de uma proposta original, ou seja, apresentada pela primeira vez.

O processo da pesquisa, desde as investigações de referenciais teóricos, até a seleção de recortes histórico-filosóficos relacionados ao conceito de substância química e as análises feitas no campo da CTS por meio da Nanotecnologia, permitiu que percebêssemos a complexidade envolvida na elaboração de uma composição textual voltada para o ensino que apresente os aspectos necessários para que seus principais objetivos sejam atingidos. Para elaborar um texto histórico da ciência, são necessários certos cuidados, como, por exemplo, evitar que o texto passe a ideia de ciência continuísta, neutra, de gênios,

etc. Diante disso, foi desenvolvido um extenso trabalho de investigação, com embasamento epistemológico na área, prioritariamente em fontes primárias e secundárias, para garantir uma composição textual mais adequada possível e condizente com uma história real e humanizada.

Entendendo que os saberes construídos e ressignificados por professores no contexto de seu trabalho são chaves para compreensão de diversas dimensões do ensino, enviamos a proposta da CT à especialistas e professores da área para que a avaliassem mediante aos saberes de sua formação. As questões elaboradas e enviadas para os avaliadores (mestres, doutores em Ensino e em Química) da Composição Textual HFCTS buscaram revelar, dentre outros aspectos, a relevância, a coerência, a clareza, as potencialidades para o ensino na Formação Docente, bem como as sugestões e críticas para seu aprimoramento.

Os resultados dessa avaliação, nos permite considerar que, de modo geral, mediante a leitura da CT, houve reconhecimento, por parte dos avaliadores, dos seguintes aspectos: da relevância da HFC para o Ensino de Química e Formação Docente, por revelar a trajetórias e rupturas das teorias e conceitos científicos e evitar a visão simplista da ciência; da relevância da CTS para inovar o ensino e contextualizar áreas interdisciplinares que podem facilitar a compreensão da Ciência Química; da relevância da junção HFCTS como meio de enriquecer o ensino de substância química na Formação de Professores, de propiciar a compreensão do conceito científico, do pensamento crítico, da construção e da evolução da Ciência e da Tecnologia; da possibilidade de promover a aprendizagem significativa; da presença de elementos necessários a compreensão da CT (aspectos históricos, epistemológicos, científicos, tecnológicos e de perfil conceitual); da suficiente relação entre os aspectos HFCTS com o conceito de substância química; das potencialidades e das viabilidades da CT para o Ensino de Química e Formação Docente, dentre outros aspectos citados pelos avaliadores.

Quanto ao reconhecimento das potencialidades da Nanotecnologia ao Ensino de Química e formação docente, foi destacado que esse tema pode incentivar o raciocínio científico, a compreensão do desenvolvimento da Química e a aproximação da noção atualizada de substância química. Ainda, mediante a noção da abstração do conceito científico enfocado, foi reconhecida a relevância da evolução conceitual de substância química, no mesmo contexto, ao propor explicações de como o enfoque HFCTS contribui para a construção desse conceito. Também, a CT foi

considerada um material adequado e pertinente no estudo para promover reflexão da prática docente e ser utilizado tanto na formação inicial quanto continuada de professores e, com as devidas adaptações, até mesmo no Ensino Médio.

Além disso, segundo a definição de Batista (2016), em relação com as respostas dos avaliadores, podemos concluir que a presente CT, fundamentada na HFCTS e na Nanotecnologia para o ensino da evolução conceitual de substância química, apresenta elementos epistêmico-metodológicos adequados para a compreensão contextualizada do conceito científico estudado, contribuindo para a formação interdisciplinar de docentes. Também, as respostas dos avaliadores se relacionam com os elementos da CT e algumas possibilidades para a evolução conceitual de substância química na Formação Docente, previamente estabelecidos no Quadro 05. Para melhor visualização, um resumo das potencialidades da CT foi apresentado na Figura 58, no campo de considerações dos resultados (*8.2.4 Algumas Considerações Gerais*).

Dentre as sugestões dos avaliadores de demais papeis que a CT pode desempenhar no ensino, podemos destacar a inclusão de estudos de casos, investigações científicas, discussões de teorias químicas, relacionando mais diretamente os aspectos HFCTS da Ciência Química com os conceitos e propriedades de substâncias químicas. Com o intuito de enriquecer esse trabalho e torná-lo mais acessível a professores e pesquisadores, segundo as devidas possibilidades, algumas sugestões apresentadas pelos avaliadores foram consideradas e incluídas nessa versão final da CT.

Entretanto, vale observar que tanto o tema da Nanotecnologia quanto aspectos da evolução conceitual de substância química e a visão relacional parecem ainda não ser bem conhecidos pelos avaliadores ao ponto de estimular maiores discussões. Isso reforça necessidade da implementação de abordagens com esses temas (Nanotecnologia e Perfil Conceitual) nos cursos de formação inicial e continuada, em concordância com as pesquisas e publicações científicas da área como: Moura e colaboradores (2018); Ferreira (2018); Silva e Lopes (2015) para ensino da Nanotecnologia e Mortimer (1997), Ngai, Sevan e Talanquer (2014), Silva e Amaral (2013), para o ensino de perfil conceitual e correspondentes.

No geral, concordamos que, conforme os avaliadores da proposta, esta pesquisa conseguiu chegar aos seus principais objetivos: a elaboração adequada e viável de uma CT com enfoque HFCTS; oferecer potencialidades ao ensino de

substância química e promover a reflexão da prática docente. Também, concluímos que essa pesquisa foi desenvolvida em concordância com demais investigações da área de Ensino de Química, da HFC, da CTS e da Nanotecnologia, os quais ponderam a contextualização e abordagem de novas tecnologias como fatores necessários à formação de qualidade de docentes, impulsionando novas pesquisas na área.

Como perspectiva futura da pesquisa, destacamos a possibilidade de uma organização de um curso voltado para estudantes de licenciatura em Química, a fim de promover na prática os conhecimentos e as potencialidades da CT. Desse modo, almejamos que esse trabalho possa incentivar demais pesquisas na área, visto que o tema da evolução conceitual articulada à Nanotecnologia no Ensino de Química é inédito e, portanto, ainda temos bastantes desdobramentos positivos. Além disso, os resultados desta pesquisa compõem uma base teórica para professores do Ensino Médio e, como defende Silva e colaboradores (2021), mesmo não havendo as contextualizações necessárias presentes nos livros didáticos, as pesquisas acadêmicas podem desempenhar um papel de orientar docentes em suas formações e saberes.

REFERÊNCIAS

AAAS. American Association for the Advancement of Science. **Science for All Americans**. New York: Oxford University Press, 1990.

_____. American Association for the Advancement of Science. **Benchmarks for Science Literacy: a project 2061 report**. New York: Oxford University Press, 1993.

ABDOLLAHI, A.; MAHDAVIAN, A. R.; MOBARAKEH, H, S. Preparation of stimuli-responsive functionalized latex nanoparticles: the effect of spiropyran concentration on size and photochromic properties. **Langmuir**, v. 31, n. 39, p. 10672-10682, 2015.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6028: resumos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ACEVEDO, Y. F. Aproximaciones a una investigación alrededor de la formación de conceptos. Aportes del innatismo y del constructivismo. **Cuadernos de Humanidades**, n. 10, p.57-70, 2018.

AHMAD, P.; ALAPARTHI, V. R.; BABU, K. S.; RAO G., N. Particle size effect on the dielectric properties of ZnO nanoparticles. **Materials Chemistry and Physics**, v. 224, p. 79-84, 2019.

AIKENHEAD, G. Educación Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS) Una buena idea como quiera que se le llame. **Educación Química**, v. 16, n. 2, p. 304-315, 2005.

ALCÁCER, L. **Introdução à química quântica computacional: energia**. Lisboa: IST Press, v. 265, n. 268, 2007.

ALFONSO, A. B. Situação atual da divulgação e do treinamento em Nanociência e Nanotecnologia no Brasil. **Mundo Nano**, v. 4, n. 2, p. 23-28, 2011.

ALMEIDA CAMPOS, M. L. De; CAMPOS, L. M.; MEDEIROS, J. Da S. A Representação de Domínios de Conhecimento e uma Teoria de Representação: a ontologia de fundamentação. **Informação & Informação**, v. 16, n. 2, p. 140-164, 2011.

ALMEIDA, C. I. De; ATAÍDE, G. C.; CESAR, J. J.; LETÍCIA FRANÇA FIUZA BACELAR, L. F. F. A utilização das nanopartículas no combate à resistência bacteriana. **Brazilian Journal of Surgery and Clinical Research**, v.19, n. 2, p.125-132, 2017.

ALMEIDA, P. C. A. De; BIAJONE, J. Saberes docentes e formação inicial de professores: implicações e desafios para as propostas de formação. **Educação e pesquisa**, v. 33, p. 281-295, 2007.

ALQUISIRA, J. P. Elementos Químicos: El Carbono, C. **Boletín de la Sociedad Química de México**, v. 13, n. 1, p.15-17, 2019.

ALVES, O. L., Nanotecnologia e Desenvolvimento. Boletim Eletrônico **LQES NEWS**,

2005. Disponível em: <http://lqes.iqm.unicamp.br>. Acesso em 20 nov. 2022.

ALVES, W. A. (ed.). **Química Supramolecular e Nanotecnologia**. v. 10. São Paulo: Editora Atheneu, 2014.

ALZATE, O. E. T.; PUIG, N. S. High-school Students' Conceptual Evolution of the Respiration Concept from the Perspective of Giere's Cognitive Science Model. **International Journal of Science Education** v. 29, n. 2, p. 215-248, 2007.

AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F. Uma proposta de perfil conceitual para o conceito de calor. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 1, n. 3, p.1-14, 2001.

AMATO, M. A. Experiencia perceptual, vaguedad y realismo ingênuo. **Ideas y Valores**, v. 67, n. 4, p. 149-164, 2018.

ANDRADE NETO, D. M.; CARNEIRO, S. V.; FECHINE. P. B. A. Introdução aos nanomateriais. In: FECHINE, P. B. A. (org.). **Avanços no desenvolvimento de nanomateriais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, p. 11-33, 2020.

ANDRÉ L. A. PARUSSULO, A. L. A.; IGLESIAS, B. A.; TOMA, H. E.; ARAKI, K. HENRIQUE E. TOMA. Sevenfold enhancement on porphyrindye efficiency by coordination of ruthenium polypyridine complexes. **Chemical Communications**, v. 48, n. 55, p. 6939-6941, 2012.

ANDRÉ, T. Da S. **Desenvolvimento de um material de mudança de fase aditivado com nanopartículas a base de carbono**. 2022. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2022.

ANTUNES FILHO, S.; BCKX, B. P. Nanotecnologia e seus impactos na sociedade. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v.16, n. 40, p.1-15, 2020.

ANUNCIAÇÃO, B. C. P. Da; MESSEDER NETO, H. Da S.; MORADILLO, E. F. De. Robert Boyle no contexto da transição para a ciência moderna: elementos para uma análise sócio-histórica. **Revista Ideação**, v. 1, n. 29, p. 165-192, 2014.

ARAGÃO, S. B. C. **A Alfabetização Científica na formação inicial de professores de Ciências**: análise de uma Unidade Curricular planejada nessa perspectiva. 2019. Tese. (Doutorado em Ensino de Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

ARAKI, K.; TOMA, S. H.; PARUSSULO, A. L. A.; ZAMARION, V. De M. Nanotecnologia Supramolecular Coordenativa. In: ALVES, W. A.; BEATRIZ, A. (eds.) **Química Supramolecular e Nanotecnologia**, v. 10, São Paulo: Atheneu, 2014.

ARAUJO NETO, W. N. Estudos sobre a noção de representação estrutural na educação em química a partir da semiótica e da filosofia da química. **Revista Virtual de Química**, v. 4, n.6, p. 719-738, 2012.

ASHJARI, M.; KHOEE, S.; MAHDAVIAN, A. R. A multiple emulsion method for

loading 5-fluorouracil into a magnetite-loaded nanocapsule: a physicochemical investigation. **Polymer International**, v. 61, n. 5, p. 850-859, 2012.

AULER, D. **Interações entre Ciência-Tecnologia-Sociedade no contexto da formação de professores de ciências**. 2002. Tese (Doutorado em Educação). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

_____.; BAZZO, W. A. Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto Educacional Brasileiro. **Ciência & Educação**, v.7, n.1, p.1-13, 2001.

_____.; DELIZOICOV, D. Alfabetização Científico-Tecnológica para quê? **Revista ENSAIO-Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 3, n. 1, p. 122-134, 2001.

BAALLOUSHA, M.; HOW, W.; VALSAMI-JONES, E.; LEAD, J. R. Overview of environmental nanoscience. **Revista Frontiers of Nanoscience**, v. 7, p.1-54, 2014.

BACHELARD, G. **A epistemologia**. Tradução: Fátima L. Godinho e Mário C. Oliveira Lisboa: Edições 70, 2006.

_____. A Filosofia do Não. In: **Os pensadores**. São Paulo: Abril Cultural, p. 1-87, 1978, 1984.

_____. **A formação do espírito científico**: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. 3. ed. Tradução: Estela dos S. A. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

_____. **Epistemologia**. LECOURT, D.(org.). Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1983.

_____. **Filosofia do Novo Espírito Científico**: a filosofia do não. 2.ed. Tradução: Joaquim J. M. R. Lisboa: Editorial Presença, 1976.

_____. **Les intuitions atomistiques** (Essai de classification). 2. ed. Paris: Librairie Philosophique J. Vrin, 1975.

_____. **Lumière et substance**. [1934] (1970). In: Études, Paris: Vrin. 45-75. Tradução para espanhol: Irene Agoff. Madrid-Buenos Aires: Amorrortu Editores, 2004.

_____. **O pluralismo coerente da química moderna**. 1. ed. Tradução: Estela dos S. A. Rio de Janeiro: Contraponto, 2009.

_____. **O Racionalismo Aplicado**. 5.ed.Tradução: Nathanael Caixeiro. Rio de Janeiro: Zahar, 1977.

BADILLO, R. G.; TORRES, A. P. G.; MIRANDA, R. P. El Congreso de Karlsruhe: Los roper de na roperities científica. **Educación Química**, v. 23, n. 2, p. 280-283, 2012.

BAI, X. WANG, Y.; SONG, Z.; FENG, Y.; CHEN, Y.; ZHANG, D.; FENG, L. The basic roperities of gold nanoparticles and their applications in tumor diagnosis and treatment. **International roper of molecular sciences**, v. 21, n. 7, p. 2480, 2020.

BAIG, N.; KAMMAKAKAM, I.; FALATH, L. Nanomateriais: Uma revisão dos métodos de síntese, propriedades, progresso recente e desafios. **Avanços de Materiais**, v. 2, n. 6, p. 1821-1871, 2021.

BAGATIN, O.; SIMPLÍCIO, F. I.; SANTIN, S. M. De O.; SANTIN FILHO, O. Rotação de luz polarizada por moléculas quirais: Uma abordagem histórica com proposta de trabalho em sala de aula. **Química Nova na Escola**, v. 21, n. 21, p. 34-38, 2005.

BAKHTIN, M. Estudos das Ideologias e Filosofia da Linguagem. *In*: BAKHTIN, M. **Marxismo e Filosofia da Linguagem**. Tradução de Nichel Lahud e Yara Frateschi Vieira. 12. ed. São Paulo: HUCITEC, 2006a.

_____. Tema e Significação na Língua. *In*: BAKHTIN, M. **Marxismo e Filosofia da Linguagem**. Tradução de Nichel Lahud e Yara Frateschi Vieira. 12. ed. São Paulo: HUCITEC, 2006b.

BALDAQUIM, M. J.; LEAL, L. P. V. Estabelecendo relações com o exercício da cidadania: a química e a educação fiscal em sala de aula. **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 2, n. 3, p. 168-184, 2017.

BALTHAZAR, W. F.; OLIVEIRA, A. L. De. Uma Proposta para Ensinar Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: o LHC e o uso da abordagem CTS e HFC. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Campus Nilópolis – RJ, **CBPF-CS-001/09**, p.1-5, 2009. Disponível em: http://cbpfindex.cbpf.br/publication_pdfs/CS00109.2009_07_21_11_41_23.pdf. Acesso em: 21 de ago. 2023.

BALZANI, V. Nanoscience and Nanotechnology: A personal View of a Chemist. **Revista Small**, v.1, n.3, pg.278-283, 2005.

BARBER, D.J.; FREESTONE, I. C. Na investigation of the ropertie the colour of the Lycurgus Cup by analytical transmission electron microscopy. **Archaeometry**, v. 32, n. 1, p. 33-45, 1990.

BARBOSA, M. S. **Caracterização de estruturas de óxido de estanho modificado com sensores de gases**. 2015. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara, 2015.

BARBOSA, P. Contributos para uma Teoria Quântica do Cibertexto. **Revista de Estudos Literários**, n.2, p. 121-183, 2012.

BARROSO, M. A.; PINTO, T. J. S. Bachelard: a aprendizagem científica como ruptura. **Revista Educação em Perspectiva**, v. 8, n. 2, p. 232-249, 2017.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Tradução: Luís Antero Reta e Augusto Pinheiro Lisboa: Edições 70, 1977.

_____. **Análise de Conteúdo**. Tradução: Luís Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2016.

BASSALO, J. M. F. A Crônica da Física do Estado Sólido I – do tubo de Geissler às válvulas a vácuo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.15, n. 1-4, p.127-138, 1993.

_____. O Elemento Químico de Boyle. **Curiosidades da Física**. Disponível em: <https://seara.ufc.br/wp-content/uploads/2019/03/folclore124.pdf>. Acesso: 26 jan. 2023.

BATISTA, I. De L. History and Philosophy of Science improving Interdisciplinary Teacher Knowledge. *In*: 11th International IHPST and 6th Greek History, Philosophy and Science Teaching Joint Conference. Thessaloniki. **Science & Culture: Promise, Challenge and Demand**. Athens: Epikentro Publications, v. 1, p. 79-86, 2011.

_____. O ensino de teorias físicas mediante uma estrutura histórico-filosófica. **Ciência & Educação**, v. 10, p. 461-476, 2004.

_____. Reconstruções Histórico-Filosóficas e a pesquisa em Educação Científica e Matemática. *In*: NARDI, R. (org.) **A pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil: alguns recortes**. São Paulo: Escrituras Editora, 2007.

_____. Uma adoção da História e Filosofia da Ciência no desenvolvimento dos saberes docentes interdisciplinares. *In*: BATISTA, I. L. (org). **Conhecimentos e saberes na educação em ciências e matemática**. Londrina: Editora Eduel, p. 157-167, 2016.

_____; SALVI, R. F. Perspectiva pós-moderna e interdisciplinaridade educativa: pensamento complexo e reconciliação integrativa. **Ensaio**, v. 8, n. 2, p. 147-160, 2006.

BATISTA, R. S.; SILVA, L. M. Da; SOUZA, R. R. De M.; PRADO, H. J. P. Do; SILVA, C. A. Da.; RÔÇAS, G.; OLIVEIRA, A. L. De; HELAYËL-NETO, J. A. Nanociência e nanotecnologia como temáticas para discussão de ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. **Ciência & Educação**, v. 16, n. 2, p. 479-490, 2010.

BECQUEREL, H. Émission de radiations nouvelles par l'uranium métallique. **Comptes Rendus**, v. 122, p. 1086-1088, 1896.

BELTRÁN, M. V. U.; FERNÁNDEZ, L. C. Estudio histórico-epistemológico del modelo atómico de Rutherford. **Tecné, Episteme y Didaxis**: TED, n. 14, p. 1-10, 2003.

BENEDITO, A. De S.; SILVA, F. F.; SANTOS, Í. V. De S. Nanopartículas de prata: aplicações e impacto ambiental. **Revista Acadêmica Oswaldo Cruz**, v. 16, p. 4-5, 2017.

BENJAMIN, C. (Na.) *In*: BACHELARD, G. **O Pluralismo Coerente da Química Moderna**. Tradução de Abreu, E. dos S. 1. Ed. Rio de Janeiro: Contraponto Editora, 2009.

BENJAMINSEN, R. V.; SUN, H.; HENRIKSEN, J. R.; CHRISTENSEN, N. M.; ALMDAL, K.; ANDRESEN, T. L. Evaluating nanoparticle sensor design for roperetiesr pH measurements. **ACS Nano**, v. 5, n. 7, p. 5864-5873, 2011.

BENSAUDE-VICENT, B. A View of the Chemical Revolution through Contemporary Textbook: Lavoisier, Fourcroy and Chaptal. **British Journal of the History of Science**, v. 23, p. 435-460, 1990.

BEN-ZVI, R.; BAT-SHEVA, E.; SILBERSTEIN, J. Is na atom of roper malleable? **Journal of Chemical Education**, v. 63, n. 1, p. 64–66, 1986.

BERGER, C. De S. **O Ensino da Nanotecnologia via Metodologias Ativas: nanociência por meio de uma abordagem colaborativa**.2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Química). Instituto Federal do Espírito Santo. Vila Velha, 2020.

BERGER, P. L. E LUCKMANN, T. **The Social Construction of Reality: A Treatise in the Sociology of Knowledge**, London: Allen Lane, 1967.

BESCIENCED: roper lessons for everyone. [online]. ¿Qué es el bosón de Higgs o partícula de Dios?, 2019. Disponível em: <https://bescienced.com/es/que-es-el-boson-de-higgs-o-particula-de-dios/>. Acesso em: 14 abr. 2023.

BETHY, N.; HOURI-HADDAD, Y.; DOMB, A.; KHAN, W.; HAZAN, R.; Alternative Antimicrobial Approach: Nano-Antimicrobial Materials. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2015, p. 1-17, 2015.

BHARAT, T. C.; SHUBHAM; S.; GUPTA, H. S.; GUPTA, P. K.; DAS, A. K. Synthesis of doped zinc oxide nanoparticles: a review. **Materials Today: Proceedings**, v. 11, p. 767-775, 2019.

BHUSHAN, N.; ROSENFELD, S. (eds.). **Of Minds and Molecules: new philosophical perspectives on chemistry**. Oxford University Press, 2000.

BIGHETTI, R. C.; SOUZA, P. S. M. De; MENDONÇA, L. D.; ARENA, R. M.; BOMBONATO, M. T. S.; ZULIANI, S. R. Q. A.; LEGENDRE, A. De O. Do modelo atômico de Bohr à visão: a experimentação como base para a Interdisciplinaridade a partir do tema gerador “luz”. **Programa Educativo e Social JC na Escola: Luz, Ciência e Vida**, v. 2, 2016.

BISWAS, A.; BAYER, I. S.; BIRIS,A. S.; WANG, t.; DERVISHI, E.; FAUPEL, F. Advances in top-down and bottom-up surface nanofabrication: Techniques, applications & future prospects. **Advances in Colloid and Interface Science**, v.170, n. 1-2, p. 2-27, 2012.

BLONDEL-MÉGRELIS, M. The limits of the roperities Affinity. **Fresenius’ Journal of Analytical Chemistry**, v. 337, p. 203-204, 1990.

BOGAARD, P. A. Ancient Theories Of Chemical Substance. **Philosophy of Chemistry**, p. 179-189, 2012.

BOGDAN, J.; TRACZ, A. J.; ZARZYŃSKA, J.; CZARNAK, J. P. Chances and limitations of nanosized roperiti dioxide practical application in view of its physicochemical roperities. **Nanoscale research letters**, v. 10, p. 1-10, 2015.

BORGES, J. R. A. **O desenvolvimento da argumentação no ensino de física por investigação**. 2020. Dissertação (Mestrado em Educação). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

BORSATO, G. De O. **Utilização do Método Jigsaw de ensino com a temática Nanociência e Nanotecnologia para a contextualização do conteúdo de coloides**. 2021. Dissertação (Mestrado Profissional em Química). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

BOSZKO, C; GÜLLICH, R. I. Da C. Estratégias de ensino de ciências e a promoção do pensamento crítico em contexto brasileiro. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 2, n. 1, p. 53-71, 2019.

BOTTCHER, E. M. A.; NOTTAR, D. I. D. S.; WALTER, S. A.; DA SILVA, S. C. A. Interdisciplinaridade no Curso de Ciências Contábeis à Luz da Teoria Sociocultural: Estudo de um Projeto Integrador. In: 21º USP International Conference in Accounting. **Anais [...]**. 21 Uspinternational. São Paulo, 2021. Recuperado de <https://congressosp. fipecafi. org/anais/21UspInternational/ArtigosDownload/3243.pdf>. 2021.

BRANDÃO, V. **Brasil Inovador**. O desafio empreendedor: 40 histórias de sucesso de empresas que investem em inovação, IEL/Finep: Brasília, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação e Cultura (MEC). República Federativa do Brasil. **Base Nacional Comum Curricular** (Terceira Versão). Brasília, DF: MEC, 2017.

_____. Ministério da Educação e Cultura (MEC), República Federativa do Brasil. **Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio. Parte I: Bases Legais**. Brasília, DF: MEC, 2000a.

_____. Ministério da Educação e Cultura (MEC), República Federativa do Brasil. **Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio. Parte III: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília, DF: MEC, 2000b.

BRAVO, B. M.; PESA, M. A. Concepciones de alumnos (14-15 años) de educación general básica sobre la naturaleza y percepción del color. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 3, p. 337-362, 2005.

BRITO, A. A.; MASSONI, N. T. **Astrofísica para educação básica**: a origem dos elementos químicos no universo. 1. ed. Curitiba: Appris, 2019.

BRITO, E. C. De; MADALENA, L. D. S.; LIMA, R. H.; BERNARDES, G. S.; SILVA, L. A. D.; ALVES, V. A. Quantificação de Nanopartículas de Prata em um Produto Farmacêutico por Espectrofotometria e Potenciometria: Uma Proposta Para Aulas Práticas de Química Analítica. **Química Nova**, v. 44, p. 105-111, 2021

BRITTO, F. M.; CASTRO, G. R. Nanotecnología, hacia un nuevo portal científico-tecnológico. **Revista Química Viva**, n. 3, ano 11, p. 171-183, 2012.

BROCK, W. Sir Benjamin Collins Brodie (1817-1880). **Hyle**, v. 8, p. 49-54, 2002.

BRUST, M.; WALKER, M.; BETHELL, D.; SCHIFFRIN, D. J.; WHYMAN, R. Synthesis of thiol-derivatised gold nanoparticles in a two-phase Liquid?Liquid system. **Journal of the Chemical Society, Chemical Communications**, n. 7, p. 801-802, 1994.

BUCK, P. Das Grundgesetz von der eingeschränkten Umwandlungsfähigkeit der Stoffe. **Chimica Didactica**, v. 9, p. 177, 1983.

BUCUSSI, A. A. **Projetos curriculares interdisciplinares e a temática da energia**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

BUNGE, M. Ontología y ciencia. **Revista de filosofía DIÁNOIA**, v. 21, n. 21, p. 50–59, 1975.

BUSCATTI JUNIOR, D. A. **O Perfil Epistemológico do Conceito De Espaço em alunos do curso de Licenciatura em Física**. 2014. Dissertação (Mestrado em Educação), Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2014.

BYBEE, R. W. Science education and the science-technology-society (STS) theme. **Revista Science Education**, v. 71, n. 5, p.667-683, 1987.

_____; MAU, T. Science and technology related global problems: an international survey of science educators. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 23, n. 7, p.599-618, 1986.

CABUIL, V. Magnetic nanoparticles: preparation and properties. *In*: SOMASUNDARAN, P. (org.). **Encyclopedia of Surface and Colloid Science**. 3. ed. Routledge: Taylor & Francis, p. 3934-3948, 2015.

CAMISASCA, A.; GIORDANI, S. Carbon nano-onions in biomedical applications: promising theranostic agentes. **Inorganica Chimica Acta**, v. 468, p. 67-76, 2017.

CANNIZZARO, S. **Sunto di un corso di filosofia chimica**. Carta do Professor Stanislao Cannizzaro ao Professor S. De Luca. Ministrado na R. Universidade de Gênova, 1858. Disponível em: <http://www.liberliber.it/biblioteca/licences/>. Acesso em: 18 fev. 2023.

CAO, G.; LIU, D. Template-based synthesis of nanorod, nanowire, and nanotube arrays. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 136, n. 1-2, p. 45-64, 2008.

_____; WANG, Y. **Nanostructures and Nanomaterials: Synthesis, Properties, and Applications**. 2. ed. Cingapura: World Scientific, 2011.

CAO, L.; MEZIANI, M.; SAHU, S.; SUN, Y. P. Photoluminescence properties of graphene versus other carbon nanomaterials. **Accounts of chemical research**, v.

46, n. 1, p. 171-180, 2013.

CARATIVA, S.; HALLDÉN, O. Re-framing the problem of concepty Ual change. **Learning and Instruction**, v. 4, n. 1, p. 89-111, 1994.

CARDOSO, F. **Uma abordagem histórico-conceitual para o ensino de introdução a física quântica na formação inicial de professores de física**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

CARLO. El vitral de “Notre- Dame” uno de los más destacados del mundo. [online]. 2018. Disponível em: <https://carloimportaciones.com/blogs/noticias/el-vitral-de-notre-dame-uno-de-los-mas-destacados-del-mundo>. Acesso em: 18 abr. 2023.

CARNEIRO, J. A.; FERNANDES, F.; TEIXEIRA, V. M.; NASCIMENTO, J. H. O. D.; FREITAS, E. F.; PEREIRA, P. A. Utilização da nanotecnologia na preparação de misturas asfálticas com capacidade fotocatalítica. *In*: FREITAS (ed.). **Seminário Gestão da Velocidade e do Ruído Rodoviário**, Porto: Guimarães, 2012.

CARNEIRO, S. V.; QUEIROZ, V. H. R. De; FECHINE, P. B. A. Nanopartículas metálicas. *In*: FECHINE, P. B. A. (org.). **Avanços no desenvolvimento de nanomateriais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, p. 140-179, 2020.

CASTAÑON, G. A. O que é construtivismo? **Caderno de História e Filosofia da Ciência**, v. 1, n. 2, p. 209-242, 2015.

CEBIN, J. B. **O ensino de química e a crise da epistemologia no contemporâneo: construindo pontes seguras para o pensamento científico por meio de trilhas pedagógicas**. 2022. Dissertação (Mestrado em Química). Instituto Federal do Espírito Santo, Vila Velha, 2022.

CERONI, G. Rememorando a Robert Boyle: En el Año Internacional de la Química. **Revista de la Sociedad Química del Perú**, v. 77, n. 1, p. 7-10, 2011.

CHAKRAVARTTY, A. Scientific Realism. *In*: ZALTA, E. N. (ed). **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**. Stanford: Editorial Board, 2017. Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/sum2017/entries/scientific-realism/>. Acesso em: 10 jan. 2023.

CHASSOT, A. I. **Alfabetização Científica: questões e desafios para a educação**. 6. ed. Unijuí: Ijuí, 2014.

_____. **Catalisando Transformações na Educação**. 3. ed. Ijuí: Editora Unijuí, 1993.

_____. Raios X e Radioatividade. **Química Nova na Escola**, n.2, p. 19-22, 1995.

CHAVERRI, R. H.; BARQUERO, D. V. La difusión de la Nanotecnología y Nanociencia a través del curso Fundamentos de Química Moderna que oferta el Departamento de Ciencias Químicas de la UNED, Costa Rica. **MOMENTO**, n. 49E,

p. 67-74, 2014.

CHAVES, A. V.; SILVA, P. H. T. Da; CARNEIRO, S. V.; ROCHA, J. S.; FECHINE, P. B. A. Nanopartículas semicondutoras. *In*: FECHINE, P. B. A. (org.). **Avanços no desenvolvimento de nanomateriais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, p. 61-87, 2020.

CHEN, H. M.; LIU, R. S. Architecture of metallic nanostructures: Synthesis strategy and specific applications. **Journal of Physical Chemistry**, v. 115, n. 9, p. 3513-3527, 2011.

CHI, M. T. H. Conceptual change within and across ontological categories: exemples from learning and Discovery in Science. *In*: R. Giere (ed). Cognitive models of Minnesota Press. *In*: MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, p. 20-39, 1996.

CHIBENI, S. S. A inferência abdutiva e o realismo científico. **Cadernos de História e Filosofia de Ciência**, v. 6, n. 1, p. 45-73, 1996.

_____. Descartes e o Realismo Científico. **Revista Reflexão**, n. 57, p. 35-53, 1993.

CHO, E. C.; AU, L.; ZHANG, Q.; XIA, Y. The effects of size, shape, and surface functional group of gold nanostructures on their adsorption and internalization by cells. **Small**, v. 6, n. 4, p. 517-522, 2010.

CHRISCHON, D. Da S. **Nanotubos magnéticos sintetizados por eletrodeposição em alumina anódica porosa**. 2016. Tese (Doutorado em Física). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

CHUA, K.-H.; KARPUDEWAN, M. Integrating Nanoscience Activities in Enhancing Malaysian Secondary School Students' Understanding of Chemistry Concepts. **EURASIA, Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, v. 16, n. 1, p. 1-13, 2020.

CID MANZANO, R. El congreso de Karlsruhe: paso definitivo hacia la química moderna. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 6, n. 3, p. 396-407, 2009.

CIVITA, V. (ed.); PESSANHA, J. A. M. (selç). **Os Pensadores**. Tradução Ramos, J. J. M.; Kuhnen, R. F.; Leal, A. Da. C.; Leal, L. Do V. S. São Paulo: Abril Cultural, 1978.

CLAXTON, G. **Live and learn**. Londres: Harper & Row, 1984.

COBERN, W. W. Worldview theory and conceptual change in science education. **Science Education**, v. 80, n. 5, p. 579-610, 1996.

COMBES, C.; CAZALBOU, S.; REY, C. A. Apatite Biominerals. **Minerals**, v. 6, n. 2, p. 1-25, 2016.

CONANT, J. B. **On Understanding Science**. Yale University Press: New Haven, CT, 1947.

CORNEJO, L. Resonancia del plasmón de la superficie (RPS); propiedades optoelectrónicas. [online]. **Nuevas Tecnologías y Materiales**. Madrid, 2015. Disponível em: <https://nuevatecnologiasymateriales.com/resonancia-del-plasmon-de-la-superficie-rps-propiedades-optoelectronicas/>. Acesso em: 22 abr. 2023.

CORNO, M.; RIMOLA, A.; BOLIS, V.; UGLIENGO, P. Hydroxyapatite as a key biomaterial: quantum-mechanical simulation of its surfaces in interaction with biomolecules. **Physical Chemistry Chemical Physics**, v. 12, n. 24, p. 6309-6329, 2010.

CORRÊA, P. R.; PASQUALLI, R. Saberes Docentes para Freire, Shulman e Tardif: Percepções e Aproximações Teóricas. **Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas**, v. 23, n. 2, p. 229-238, 2022.

CORTEZ, J.; DEL PINO, J. C. O enfoque CTS nos cursos de licenciatura em ciências da natureza. **Revista Signos**, v. 40, n. 2, p. 30-47, 2019.

COSTA, R. G. Da; PASSERINO, L. M.; ZARO, M. A. Fundamentos teóricos do processo de formação de conceitos e suas implicações para o ensino e aprendizagem de química. **Revista Ensaio**, v. 14, n. 1, p. 271-281, 2012.

COSTA, T. C. De C. **Síntese de nanopartículas de magnetita via decomposição térmica em meio não-aquoso**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

COULSON, C. A. The contributions of wave mechanics to Chemistry. **Journal of the Chemical Society**, p. 2069-2084, 1955.

CRONE, W. C. **Bringing nano to the public: a collaboration opportunity for researchers and museums**. Science Museum of Minnesota, 2006.

CRUZ, G. H. Da S. **Funcionalização de superfícies de vidros planos comerciais com óxido de grafeno**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

CRUZ NETO, O. O trabalho de campo como descoberta e criação. In: MINAYO, C. S. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 10. ed. Petrópolis: Vozes, 1998.

CUNHA FILHO, M. A Evolução da Química: de Boyle a Lavoisier. **Revista Química Nova**, v. 17, n. 2, p. 93-95, 1984.

CUNHA, M. I. Da. Políticas públicas e docência na universidade: novas configurações e possíveis alternativas. **Revista Portuguesa de Educação**, v. 16, n. 2, p. 45-68, 2003.

CURIE, M. S. Les rayons de Becquerel et le polonium. **Révue Générale des**

Sciences, v. 10, p. 41-50, 1899.

_____. Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium. **Comptes Rendus**, v. 126, p. 1101-1103, 1898.

DAHLBERG, Ingetraut. Teoria do Conceito. **Ciência e Informação**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 101-107, 1978.

DALLOS, K. G. R. **La actividad experimental en la construcción de explicaciones sobre la reactividad entre las sustancias en función de la velocidad y calores de reacción**. 2022. Dissertação (Mestrado em Docência da Ciências Naturais). Universidade Pedagógica Nacional, Bogotá, 2022.

D'ARCET; BERTHOLLET. Certidão dos Registros da Academia Real de Ciências. 1789. In: Lavoisier, A. L. **Tratado Elementar de Química**. 1789. Tradução de Lubisco F. São Paulo: Madras, 2007.

DAS, A.; DE, S.; BANDYOPADHYAY, S.; CHATTERJEE, S. Modified dielectric and magnetic properties of Fe and Co substituted TbMnO₃ nanoparticles. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 778, p. 839-847, 2019.

DEBUS, A.G. **Man and Nature in the Renaissance**. Cambridge: Cambridge University Press, 1978.

DEL RE, G. Technology and the spirit of alchemy. **HYLE: International Journal for Philosophy of Chemistry**, v. 3, p. 51-63, 1997.

DEMCHENKO, A. P.; DEKALIUK M. O. Novel fluorescent carbonic nanomaterials for sensing and imaging. **Methods Applications Fluorescence**, v.1, n.4, p.1-17, 2013.

DER VEER, R., VALSINER, J. **Vygotsky: uma síntese**. São Paulo: Loyola, 1996.

DIAS, B. De P.; RIBEIRO, E. M. De C.; GONÇALVES, R. L.; OLIVEIRA, D. S.; FERREIRA, T. H.; SILVA, B. De M. A nanotecnologia no brasil e o desenvolvimento de produtos com atividade antimicrobiana. **Química Nova**, v. 44, p. 1084-1092, 2021.

DIAS, M. R. De.S. **Estudo de efeitos quânticos nas propriedades eletrônicas de nanofios semicondutores**. 2010. Dissertação (mestrado em Física). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

DIELS, H. Fragmente der Vorsokratiker, citado por Gomperz, T. **Os pensadores da Grécia: História da Filosofia Antiga**. Tomo I. ed. Ícone. São Paulo, 2011.

DIRAC, P. A. M. Quantum mechanics of many-electron systems. **Proceedings of the Royal Society A**, v.123, p. 714-733, 1929.

DISESSA, A. Towards na epistemology of physics. **Cognition and Instruction**, v. 10, n. 2-3, p. 105-225, 1993.

DISNER, G. R.; CESTARI, M. M. Nanociência e Nanotecnologia. **Revista Evidência-Ciência e Biotecnologia**, v. 16, n. 1, p.71-76, 2016.

DOMICIANO, T. D.; LORENZETTI, L. A Educação CTS na formação inicial de professores: um panorama de teses e dissertações brasileiras. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 10, n. 5, p. 1-21, 2019.

DONALDOSN, K.; STONE, V.; TRAN, C. L.; KREYLING, W., BORM, P. J. A. Nanotoxicology. **Revista Occupational & Environmental Medicine**, v. 61, n. 9, p.727-728, 2004.

DONG, Y.; WANG, R.; LI, H.; SHAO, J.; CHI, Y.; LIN, X.; CHEN, G. Polyamine-functionalized carbon quantum dots for chemical sensing. **Carbon**, v. 50, n. 8, p. 2810-2815, 2012.

DOTTO BELLAS, R. R. **Conceitos de substância atribuídos por licenciandos em química: uma análise histórico-cultural**. 2018. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

DRIVER, R.; HILARY, A.; LEACH, J.; MORTIMER, E.; SCOTT, P. Constructing scientific knowledge in the classroom. **Educational Researcher**, v. 23, n. 7, p. 5-12, 1994.

_____; LEACH, J.; MILLAR, R.; SCOTT, P. **Young people's images of science**. Buckingham, PA: Open University Press, 1996.

DUARTE, E. C. **Compósitos com interfaces autorreparáveis de poli(metacrilato de metila) (PMMA) contendo fibras de carbono decoradas com pontos quânticos de carbono**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

DUIT R., GROPPENGIEßER, H.; KATTMANN U.; KOMOREK M.; PARCHMANN I. The Model of Educational Reconstruction: a Framework for Improving Teaching and Learning Science. In: JORDE D; DILLON J. (eds.). **Science education research and practice in Europe**. Rotterdam: Sense Publishers, p. 13-37, 2012.

DUNG, D.T.K.; HAI, T.H.; PHUC, L.H.; LONG, B. D.; VIHN, L. K.; TRUC, P.N. **Journal of Physics: Conference series**, v. 187, p. 1-5, 2009.

DURKHEIM, E. **Selected Writings**. Cambridge: University Press (publicação original em 1895), 1972.

ECHEVERRÍA, A. R. Como os estudantes concebem a formação de soluções. **Química Nova na Escola**, v. 3, n. 1, p. 15-18, 1996.

EDWARDS, D.; MERCER, N. **Common knowledge. The development of understanding in the classroom**. Routledge. London and New York, 1987.

EDWARDS, P. P.; THOMAS, J. M. Gold in a Metallic Divided State - From Faraday to Present-Day Nanoscience. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 46, n.

29, p. 5480-5486, 2007.

EGEVARDT, C.; LORENZETTI, L.; GONÇALVES, F. R.; HUSSEIN, S.; LAMBACH, M. Desafios da Educação CTS na formação de professores de química: analisando uma disciplina CTS. **REAMEC-Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, v. 9, n. 2, p. 1-23, 2021.

EICHLER, M. L.; GUTERRES, J. O.; DEL PINO, J. C. Algumas paisagens sob um olhar químico. **Caminhos da Geografia (UFU. Online)**, v. 9, p. 64-87, 2008.

EL-HANI, C. N. Notas sobre o ensino de História e Filosofia da Ciência na educação científica de nível superior. *In*: SILVA, C. C. (org.). **Estudos de História e Filosofia das Ciências**: subsídios para aplicação no Ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

ELECTRONICA PT. **Semicondutores**. [online].Disponível em: <https://www.electronica-pt.com/semicondutores>. Acesso: 04 set. 2023.

ELIAS, N. **Teoria Simbólica**. Tradução de Paulo Valverde. 1. ed. Oeiras: Celta Editora, 1994.

ESSER, L.; SCHNEIDER, R.; PEREIR, K. Contribuições da epistemologia de Gaston Bachelard para o ensino de Física: uma revisão sistemática. **Revista de Ciência da Educação**, ano 23, n. 48, p. 1-18, 2021.

ESTEBAN, S. Liebig-Wöhler Controversy and the Concept of Isomerism. **Journal of Chemical Education**, v. 85, n. 9, p. 1201-1203, 2008.

ESTELLÉS, J. LI. B. Racionalismo. *In*: MUÑOZ, J.; VELARDE, J. M. (orgs). **Colección Estructuras y Procesos**: serie filosofía. Madrid: Editorial Trotta, S.A., 2000.

FARIA JUNIOR, E. V.; STRIEDER, R. B. Nanociência e Nanotecnologia no Ensino Médio: potencialidades da Educação CTS. **Revista do Professor de Física**, v. 3, n. Especial, p. 77-78, 2019.

FARIAS, R. F. De. **História da Alquimia**. 2.ed. Campinas: Editora Átomo, 2010.

FARIAS, L. De N.; MIRANDA, W. Dos S.; PEREIRA FILHO, S. C. F. Fundamentos epistemológicos das relações CTS no ensino de ciências. Amazônia: **Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 9, n. 17, p. 63-76, 2012.

FATARELI, E. F.; FERREIRA, L. D. A.; FERREIRA, J. Q.; QUEIROZ, S. L. Método cooperativo de aprendizagem Jigsaw no ensino de cinética química. **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 3, p. 161-168, 2010.

FERNANDES, C. L.; NASCIMENTO, P. H. L.; Maria Janaína de OLIVEIRA, M. J. De. Diagnóstico sobre o conhecimento de estudantes do ensino médio acerca da Nanotecnologia e sua aplicabilidade: um estudo de caso. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, Recife, 2018. **Anais [...]**. Recife: V CONEDU, 2018.

FERNANDES, M. F. M.; FILGUEIRAS, C. A. L. Um panorama da nanotecnologia no Brasil (e seus macro-desafios). **Química Nova**, v. 31, n. 8, p. 2205-2213, 2008.

FERNANDES, R. F.; STRIEDER, R. Questionamentos e opiniões de professores de Ciências da Natureza sobre Educação CTS. **Indagatio Didactica**, v. 8, n.1, p.453-467, 2016.

FERRAZ, M. H. M. **Processo de transformação da teoria do flogístico no século XVIII**. 1991. Dissertação (Mestrado em História da Ciência). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

FERREIRA, E. Nanotecnologia no Ensino de Química: uma interdisciplinaridade possível. **Anais do Integra**, v, 2, 2018.

FERREIRA, K. M.; VASCONCELOS, T. N. H. O efeito de uma sequência didática de cálculos químicos com enfoque CTS no contexto da EJA. *R. Tecnol. Soc.*, Curitiba, v. 12, n. 24, p. 1-26, jan./abr. 2016.

FERREIRA, L. M.; LAMBACH, M. O desenvolvimento do conceito de substância química: uma história e implicações para o ensino de química. **Revista Scientia Naturalis**, v. 3, n. 5, p. 2408-2432, 2021.

FILETI, E. E.; MALASPINA, T.; TADA, D. Da Química Supramolecular à Nanotecnologia. *In*: ALVES, W. A.; BEATRIZ, A. (eds.). **Química Supramolecular e Nanotecnologia**, v. 10, São Paulo: Atheneu, 2014.

FIORENTINI, C.; ROLETTTO, E. **Ipotesi per il curricolo di chimica**. CnS - La Chimica nella Scuola, v. 22, n.5, p. 158-168, 2000.

FLEMING, R. Undergraduate science students' views on the relationship between science, technology and society. **International Journal of Science Education**, v.10, n.4, p.449-463, 1988.

FLORES, E. C.; OLIVEIRA, M. L. A docência nos cursos de engenharia mecânica: os saberes docentes na perspectiva de Tardif, Gauthier e Shulman. **MOMENTUM**, v. 1, n. 15, p. 1-17, 2018.

FOLADORI, G.; INVERNIZZI, N. **Implicações sociais e ambientais do desenvolvimento das nanotecnologias na América Latina e no Caribe**. ReLANS. (Rede Latino-Americana de Nanotecnologia e Sociedade). Zacatecas, México e Curitiba, Brasil. IPEN. UITA, 2012.

FONTES, A.; SILVA, I. Uma nova forma de aprender Ciências: a educação em Ciência/Tecnologia/Sociedade (CTS). **Porto: Edições ASA**, 2004.

FOUCAULT, M. **História da sexualidade I**: a vontade de saber. São Paulo: Graal, 2010.

FRANCISCO JUNIOR, W. E.; FRANCISCO, W.; OLIVEIRA, A. C. G.de. Analogias

em livros de Química Geral destinados ao ensino superior. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 14, p. 131-147, 2012.

FRANCO, L. G.; MUNFORD, D. Reflexões sobre a Base Nacional Comum Curricular: Um olhar da área de Ciências da Natureza. **Revista Horizontes**, v. 36, n. 1, p. 158-170, 2018.

FRANCO, M. L. P. B. **Análise de conteúdo**. 3. ed. Brasília: Líber Livro, 2008.

FRANCOEUR, E. Molecular models and the articulation of structural constraints in chemistry. In: KLEIN, U. (org.). **Tools and modes of representation in the laboratory sciences**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001.

FREIRE JR, O.; PESSOA JR, O.; BROMBERG, J. L. (orgs). **Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais [online]**. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/xwhf5>. Acesso em: 20 mar. 2023.

FURIÓ-MÁS, C.; DOMÍNGUEZ-SALES, M. C.; GUISASOLA, J. Diseño e implementación de una secuencia de enseñanza para introducir los conceptos de sustancia y compuesto químico. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 30, n. 1, p. 113-128, 2012.

GAL, J. Pasteur and the art of chirality. **Nature Chemistry**, v. 9, n. 7, p. 604-605, 2017.

GARBER, D. Philosophers of Substance. Ensaio de Revisão de Woolhouse, R. S. Descartes, Spinoza, Leibniz: The Concept of Substance in Seventeenth-Century Metaphysics. London and New York: Routledge, 1993. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 21, n. 3, p. 421-427, 1996.

GARCÍA, G. A. M. Comprensión sobre la naturaleza de la ciencia en la enseñanza de las ciencias desde el enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) (Understanding about the Nature of Science in Science Education from the Focus Science, Technology and Society-STs). **Revista Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad**, v. 6, n. 11, p. 61-76, 2014.

GARCÍA, M. I. G.; CEREZO, J. A.; LÓPEZ, J. L. **Ciencia y Tecnología y Sociedad: una introducción al estudio social de la ciencia y la tecnología**. Madrid: Editorial Tecnos, 1996.

GARGALAKA, J.; COUTO, R. A. A.; CONSTANTINO, V. R. L.; TOMA, H. E.; ARAKI, K. Influence of the relative amounts of crystalline and amorphous phases on the mechanical properties of polyamide-6 nanocomposites. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 125, n. 4, p.3239-3249, 2012.

GARRITZ, A.; RUEDA, C.; ROBLES, C.; VÁZQUEZ-ALONSO, Á. Actitudes sobre la naturaleza de ciencia y tecnología en profesores y estudiantes mexicanos del bachillerato y la universidad públicos. Proyecto Iberoamericano de Evaluación de Actitudes Relacionadas con Ciencia, Tecnología y Sociedad. **Revista Educación**

Química, v. 22, n. 2, p. 141-154, 2011.

GASKELL, P. J. Science education for citizens: perspectives and issues. I. Science, technology and society: issues for science teachers. **Studies in Science Education**, n. 9, p.33-46, 1982.

GATTI, S. R. T.; NARDI, R (orgs). **A História e a Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências**: a pesquisa e suas contribuições para a prática pedagógica em sala de aula. São Paulo: Escrituras Editora, 2016.

GAULD, C. Models, meters and memory. **Research in Science Education**, v. 16, n. 1, p. 49-54, 1986.

GAUDIN, M. A. Recherches sur la structure intime des corps inorganiques définis. **Annales de Chimie et de Physique**, v. 52, p. 113-133, 1833.

GAUTHIER, C.; MARTINEAU, S.; DESBIENS, J. F.; MALO, A.; SIMARD, D. **Por uma teoria da pedagogia: pesquisas contemporâneas sobre o saber docente**. Ijuí: Unijuí, 1998.

GEELAN, D. R. Epistemological anarchy and the many forms of constructivism. **Science & Education**, v. 6, n.1-2, p.15-28, 1997.

GEIN, A. K.; NOVOSELOV, K. S. The rise os graphene. **Nature Materials**, v. 6, n. 3, p. 183-191, 2007.

GEORGAKILAS, V.; PERMAN, J. A.; TUCEK, J.; ZBORIL, R. Broad Family of Carbon Nanoallotropes: Classification, Chemistry, and Applications of Fullerenes, Carbon Dots, Nanotubes, Graphene, Nanodiamonds, and Combined Superstructures. **Chemical Reviews**, v. 115, n. 11, p. 4744-4822, 2015.

GHEDIN, I. S. **Desenvolvimento de um verniz poliuretano acrílico super-hidrofóbico**: revestimento de fácil limpeza. 2023. Monografia (Bacharel em Química). Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2023.

GIACOPINI, Á. M. M.; SILVA, C. S. Da; MEGID NETO, J. O construtivismo no ensino de ciências: origens e modelos teóricos de desenvolvimento conceitual. **Ciências em Foco**, v. 12, n. 2, p. 95-110, 2019.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

GILL, M. L. **Aristotle on substância**: The paradox of unity. Princeton University Press, 1989.

GIUNTA, C. **Account of the Sessions of the International Congress of Chemists in Karlsruhe**. Written by Charles-Adolphe Wurtz, 1860. Disponível em: <https://web.lemoyne.edu/~GIUNTA/karlsruhe.html>. Acesso em: 27 fev. 2023.

GIUSTI, M. V. G. **Da Substância ao Processo**: a mudança da base metafísica da

ciência no século XX. Rio de Janeiro, 2013. Tese (Doutorado em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

GOEHRING, G. D. Isaac Newton's theory of matter. A program for chemistry Show affiliations. **Journal of Chemical Education**, v. 53, n.7, p. 423, 1976.

GÓES, M. C. R. De. Lev Vygotski e Norbert Elias: notas sobre suas proposições a respeito de linguagem e conhecimento. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL PROCESSO CIVILIZADOR, 9, 2005, Ponta Grossa. **Anais [...]**. Ponta Grossa: IX SIPC, 2005.

_____; CRUZ, M. N. C. Sentido, significado e conceito: notas sobre as contribuições de Lev Vigotski. **Pro-Posições**, v. 17, n. 2, p. 31-45, 2006.

GOIS, J. **Filosofia do Ensino de Ciências**: significação e representações químicas. Ijuí: Editora Unijuí, 2017.

GOLDFARB, A. M. A.; **Da Alquimia à Química**, 1. ed., EdUSP: São Paulo, 1987.

GOMES, C.; ENGELMANN, W. Nanotecnologia e a vulnerabilidade dos trabalhadores em seu ambiente laborativo: os desafios gerados pela in (existência) de normas protetivas trabalhistas. **Revista de Direitos Fundamentais nas Relações do Trabalho, Sociais e Empresariais**, v. 4, n. 2, p. 83-105, 2018.

GÓMES, R.; FLORES, J. G.; JIMÉNEZ, E. G. **Metodología de la Investigación Cualitativa**. Málaga: Ediciones Aljibe, 1999.

GOMES, V. F. De S.; CÂMARA, M. S. C. Da. Nanotecnologia e Ligação Química: proposta interdisciplinar para o ensino de química. *In*: XIII JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – UFRPE, 2013, Recife. **Anais [...]**. Recife: XIII JEPEX , 2013.

GOWIN, D.B. **Educating**. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1981.

GRADIN, B. Prefácio à edição brasileira. *In*: GREENBERG, A. **Uma breve História da Química**: da alquimia às ciências moleculares modernas. 1. ed. Tradução de Henrique Eisi Toma; Paola Corio; Viktoria Klara Lakatos Osório. São Paulo: Blucher, 2009.

GRASSESCHI, D. Uma abordagem fundamental sobre nanopartículas de ouro. 2015. Tese. (Doutorado em Química). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

GRAYLING, A C. Epistemologia. **Compêndio de filosofia**, p. 39-63, 2002.

GREENAWAY, F. Jonh Dalton. **Endeavour**, v. 95, p. 73-78, 1966.

GREENBERG, A. **Uma breve História da Química**: da alquimia às ciências moleculares modernas. 1. ed. Tradução de Henrique Eisi Toma; Paola Corio; Viktoria Klara Lakatos Osório. São Paulo: Blucher, 2009.

GRZELCZAK, M.; JUSTE, J. P.; MULVANEY, P.; MARZÁN, L. M. L. Shape control in gold nanoparticle synthesis. **Chemical Society Reviews**, v. 37, n. 9, p. 1783-1791, 2008.

GUARINO, N.(ed). **Formal ontology and information systems:** proceedings os the First International Conference (FOIS '98),Trento, Italy. Amsterdam: IOS Press; Tokyo, 1998.

GUIZZARDI, G. **Ontological foundations for structural conceptual models.** 2005. Tese (PhD em Computer Science). Twente University of Technology, Twente, Holanda, 2005.

GURGEL, I. Reflexões Político-Curriculares sobre a Importância da História das Ciências no Contexto da Crise da Modernidade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, p. 333-350, 2020.

HÂLAND, B. Student teacher conceptions of matter and substances - evaporation and dew formation. **NorDiNa**, v. 6, n. 2, p. 109-124, 2010.

HARRIS, F. 1972. Quantum Chemistry. **Annual Review of Physical Chemistry**, v. 23, n.1, p. 415-38, 1972.

HARTSOEKER, N. **Conjectures physiques.** Amsterdam: Henri Desbordes, 1706.

HARUTA, M. Spiers memorial lecture: role of perimeter interfaces in catalysis by gold nanoparticles. **Faraday Discussions**, v. 152, p. 11-32, 2011.

HEISENBERG, W. **Física e Filosofia.** Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1987.

HELGAKE, T.; KLOPPER, W.; TEW, D. P. Quantitative quantum chemistry. **Molecular Physics**, v. 106, n. 16-18, p. 2107-2143, 2008.

HEMPEL, C. G. **Fundamentals of Concept Formation in Empirical.** 7. ed. Chicago: University of Chicago Press, v. 2, 1952.

HERBST, M. H.; MACÊDO, M. I. F.; ROCCO, A. M. Tecnologia dos nanotubos de carbono: tendências e perspectivas de uma área multidisciplinar. **Química Nova**, v. 27, p. 986-992, 2004.

HEWSON, P. W.; THORLEY, N. R. The conditions of conceptual change in the classroom. **International Journal of Science Education**, v. 11, n. 5, p. 541-553, 1989.

HODSON, D. Philosophy of Science and Science Education. **Journal of Philosophy of Education**, v. 20, n. 2, p. 215-225, 1986.

HON, G.; GOLDSTEIN, B. R. J.J. Thomson's plum-pudding atomic model: The making of a scientific myth. **Annalen der Physik**, v. 525, n. 8-9, p. A129-A133, 2013.

HONORATO, T.; GEBARA, A. Convergências entre a teoria de Lev Semionovich Vigotski e de Norbert Elias. **Estudos de Psicologia**, Campinas, v. 29, n. 1, p. 127-134, 2012.

HOSEINZADEH, E.; MAKHDOUMI, P.; TAHA, P.; HOSSINI, H.; STELLING, J.; KAMAL, M. A.; ASHRAF, G. M. A Review on Nano-Antimicrobials: Metal Nanoparticles, Methods and Mechanisms. **Current Drug Metabolism**, v. 18, n. 2, p. 120-128, 2017.

HOWARD, R. Substance. **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**. Zalta, E. N. (ed.), 2018. Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/fall2021/entries/substance/>. Acesso em: 20 jan. 2023.

HOWE, A. C. Development of science concepts within a Vygotskian framework. **Science Education**, v. 80, n. 1, p. 35-51, 1996.

HOWE, H. Allotropy or Transmutation. **The Chemical News**, v. 102, p.153-154, 1910.

HULLA, J. E.; SAHU, S. C.; HAYES, A. W. Nanotechnology: History and future. **Revista Human & Experimental Toxicology**, v. 34, n. 12, p.1318-1321, 2015.

IHDHE, A. **The Development of Modern Chemistry**. New York: Dover Publications Inc., 1984.

INGOLD, C. K. Principles of an Electronic Theory of Organic Reactions. **Chemical Reviews**, v. 15, n. 2, p. 225-274, 1934.

INVERNIZZI, N; FOLADORI, G. Nanotechnology and the developing world: Will nanotechnology overcome poverty or widen disparities? **Nanotechnology Law & Business Journal**, v. 2, n. 3, p. 101-110, 2005.

İPEK, Z.; ATIK, A. D.; TAN, S.; ERKOC, F. Awareness, exposure, and knowledge levels of science teachers about nanoscience and nanotechnology. **Issues in Educational Research**, v. 30, n. 1, p. 134-155, 2020.

JAMES, W. Pragmatism's Conception of truth. **The Journal of Philosophy and Scientific Methods**, v. 4, n. 6, p. 141-155, 1907.

JAMES, W. **Pragmatismo - Textos Selecionados**. São Paulo: Abril Cultural, 1974. Coleção Os Pensadores, v. 40, 1974.

JÁUREGUI, K. M. G.; SALINAS, J. E. R.; SAADECABALLERO, H.; CAMPOS, R. G. L.; HERNÁNDEZ, J. L. M.; ILINA, A. Las nanopartículas magnéticas y sus múltiples aplicaciones. Cap. 4. [online]. Gobierno de México. **Repositório Institucional de CIQA**, 2012. Disponível em: <https://encr.pw/LYYgF>. Acesso em: 24. Abr. 2013.

JEEVANANDAM, J.; BARHOUM, A.; CHAN, Y. S.; DUFRESNE, A.; DANQUAH, M.

K. Review on nanoparticles and nanostructured materials: history, sources, toxicity and regulations. **Beilstein Journal of Nanotechnology**, v. 9, p. 1050-1074, 2018.

JESUS, I. P. De; LORENZETTI, L.; HIGA, I. A abordagem CTS em propostas de ensino da nanotecnologia. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, Águas de Lindóia, 2015. **Anais [...]**. Águas de Lindóia: X ENPEC, 2015.

JIANG, R.; LIU, M.; CHEN, T.; HUANG, H. Facile construction and biological imaging of crosslinked fluorescent organic nanoparticles with aggregation-induced emission feature through a catalyst-free azide-alkyne click reaction. **Dyes and Pigments**, v. 148, p. 52-60, 2018.

JIANG, X.; TIAN, B.; XIANG, J.; QIAN, F.; ZHENG, G.; WANG, H.; MAI, L.; LIEBER, C. M. Rational growth of branched nanowire heterostructures with synthetically encoded properties and function. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 30, p. 12212-12216, 2011.

JÓFILI, Z. Piaget, Vygotsky, Freire e a construção do conhecimento na escola. **Revista Educação: Teorias e Práticas**, ano 2, n. 2, 2002.

JOHAR, M. A.; AFZAL, R. A.; ALAZBA, A. A.; MANZOOR, U. Photocatalysis and bandgap engineering using ZnO nanocomposites. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2015, p. 1-23, 2015.

JOHNSON, K. H. Quantum Chemistry. **Annual Review of Physical Chemistry**, v. 26, n. 1, p. 39-57, 1975.

JOHNSON, P. Children's understanding of substances, part 1: Recognizing chemical change. *International Journal of Science Education*, v. 22 n. 7, p. 719-737, 2000.

_____. Children's understanding of substances, part 2: Explaining chemical change. **International Journal of Science Education**, v. 24, n. 10, p. 1037-1054, 2002.

_____. Children's understanding of changes of state involving the gas state, Part 1: Boiling water and the particle theory. *International Journal of Science Education*, v. 20, n. 5, p. 567-583, 1998a.

_____. Progression in children's understanding of a 'basic' particle theory: a longitudinal study. **International Journal of Science Education**, v. 20, n. 4, p. 393-412, 1998b.

_____; GOTT, R.. Constructivism and evidence from children's ideas. **Science Education**, v. 80, n. 5, p. 561-577, 1996.

_____; PAPAGEORGIOU, G. Rethinking the introduction of particle theory: A substance-based framework. **Journal of Research in Teaching Science**, v. 47, n. 2, p. 130-150, 2010.

JOTTERAND, F. **Nanotechnology, bioethics and the techno-scientific**

revolution: Philosophical and ethical assessment of nanotechnology and its applications in medicine. 2005. Tese (Doutorado em Filosofia). Rice University, Houston, 2005.

JUNGWIRTH, T.; SINOVA, J.; MAŠEK, J.; KUČERA, J.; MACDONALD, A. H. Theory of ferromagnetic (III,Mn)V semiconductors. **Reviews of Modern Physics**, v. 78, n. 3, p. 809-864, 2006.

JUSTI, R. Da S. A Afinidade entre as substâncias pode explicar as reações químicas? **Química Nova na Escola**, n. 7, p. 26-29, 1998.

KASPRIK, L. De A.; SILVA, J. Dos R.; SUTIL, N.; HIGASHI, E. M. Física em contextos: aspectos de aprendizagem em ações educativas no ensino médio. **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 1, n. 1, p.1-12, 2020.

KATZ, M. Mujeres en la ciencia: Marie Anne Pierrette Paulze Lavoisier. **Química y Civilización**. Buenos Aires: Asociación, 2011.

KAVALEK, D. S.; SOUZA, D. O.; DEL PINO, J. C.; RIBEIRO, M. A. P. Filosofia e História da Química para educadores em Química. **História da Ciência e Ensino**, v. 12, p. 1-13, 2015.

KHEZERLOU, A.; ALIZADEH- SANI, M.; AZIZI-LALABADI, M.; EHSANI, A. Nanoparticles and their antimicrobial properties against pathogens including bacteria, fungi, parasites and viroses. **Microbial Pathogenesis**, v.123, p. 505-526, 2018.

KHIZROEV, S.; KRYDER, M. H.; LITVINOV, D.; THOMPSON, D. A. Direct observation of magnetization switching in focused-ion-beam- fabricated magnetic nanotubes. **Applied Physics Letters**, v. 81, n. 12, p. 2256–2257, 2002.

KISFALUDY, A. B. Dos S.; QUEIRÓS, W. P. Gay Lussac (1778-1850) e sua contribuição para o estudo dos gases. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, v. 22, p. 124-147, 2020.

KLEIN, U. Origin of the Concept of Chemical Compound. **Science in Context**, v. 7, p. 163-204,1994.

KOLB, D. But if atoms are so tiny.... **Journal of Chemical Education**, v.54, n.9, p. 543-547, 1977.

KOUSATHANA, M.; DEMEROUTI, M.; TSAPARLIS, G. Instructional Misconceptions in Acid-Base Equilibria: An Analysis from a History and Philosophy of Science Perspective. **Science & Education**, v. 14, p. 173-193, 2005.

KOZULIN, A. **Vygotsky's Psychology: A biography of ideas**. New York: Harvester Wheatsheaf, 1990.

KRITSMAN, V. A. Liebe Hass und andere Ursachen chemischer **Reaktionen**. **Chemie in unserer Zeit**, v. 28, n. 5, p. 259-266, 1994.

KREHER, D.; CARIOU, M.; LIU, S.G.; LEVILLAIN, E.; VECIANA, J.; ROVIRA, C.; GORGUES, A.; HUDHOMME, P. Rigidified tetrathiafulvalene–[60]fullerene assemblies: towards the control of through-space orientation between both electroactive units. **Journal of Materials Chemistry**, v. 12, p. 2137-2159, 2002.

KRNEL, D.; GLAZER, S. A.; WATSON, R. The development of the concept of "matter": a cross-age study of how children classify materials. **Science Education**, v. 87, n. 5, p. 621-639, 2003.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Editora Perspectiva, 1975.

_____. **A estrutura das revoluções científicas**. 5.ed. São Paulo, SP: Perspectiva, 1997.

_____. Newton's '31st Query' and the Degradation of Gold. **Isis**, v. 42, n. 4, p. 296-298, 1951.

_____. Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century. **Isis**, v. 43, n.1, p.12-36, 1952.

_____. **Structure of Scientific Revolutions**. 4. ed., Introdução de Ian Hacking. Chicago: University of Chicago Press, 1962.

KURZER, F. Fulminic Acid in the History of Organic Chemistry. **Chemical Education**, v. 77, n. 7, p. 851-857, 2000.

KUSKOPF, S. H. Thomson antes de Dalton. **Annals of Science**, v. 25, n. 3, p. 229-242, 1969.

LABARCA, M.G.; LOMBARDI, O. The ontological autonomy of the chemical world. **Foundations of Chemistry**, v. 7, n. 2, p. 125-148, 2005.

LABURÚ, C. E.; CARVALHO, M. De. Controvérsias construtivistas e pluralismo metodológico no ensino de ciências naturais. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 1, n. 1, 2001.

_____; _____; BATISTA, I. De L. Controvérsias Construtivistas. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 2, p. 152-181, 2001.

LACERDA, C. De C.; CAMPOS, A. F.; MARCELINO JÚNIOR, C. De A. C. Abordagem dos conceitos mistura, substância simples, substância composta e elemento químico numa perspectiva de ensino por situação-problema. **Química Nova na Escola**, v. 34, n. 2, p. 75-82, 2012.

LAIA, C. F. E. **Nanopartículas superparamagnéticas de óxido de ferro (SPION): potencialidade da sua aplicação como transportador de genes e agente de contraste**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas). Universidade de Lisboa, Lisboa, 2020.

LAKOFF, G. **Women, Fire, and Dangerous Things**. Chicago: The University of Chicago Press, 1987.

LAMBACH, M.; MARQUES, C. A. O conceito de substância: uma construção histórica a partir de diferentes estilos de pensamento. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO, 8, Campinas, 2011. **Anais [...]**. Campinas: VIII ENPEC, 2011.

LAVAYEN, V.; RAUPP, D. T.; SCHISLER, C.; EINLOFT, S. M. O.; NATIVIDADE, L. A.; VAZ, A. L. Síntese e caracterização de nanopartículas de óxido de ferro: Uma proposta de atividade experimental. **Research, Society and Development**, v.10, n. 8, p. e27310817184-e27310817184, 2021.

LAVOISIER, A. L. **Tratado Elementar de Química**. 1789. Tradução de Lubisco F. São Paulo: Madras, 2007.

LEAL, R.; MOITA NETO, J.; LIMA, F.; FEITOSA, L. A Química Quântica na compreensão de teorias de Química Orgânica. **Química Nova**, v. 33, n. 5, p. 1211-1215, 2010.

LEÃO, C. R. **Propriedades eletrônicas de nanofios semicondutores**. 2008. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

LEÃO, D. M. M. Paradigmas Contemporâneos de Educação: Escola Tradicional e Escola Construtivista. **Cadernos de Pesquisa**, n.107, p. 187-206, 1999.

LEE, O.; EICHINGER, D. C.; ANDERSON, C. W.; BERKHEIMER, G. D.; BLAKESLEE, T. D. Changing middle school students' conceptions of matter and molecules. **Journal of research in science teaching**, v. 30, n. 3, p. 249-270, 1993.

LEFEBVRE, H. **Lógica formal/lógica dialética**. Tradução: Carlos N. Coutinho. 5. ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1975.

LEHN, J. M. **Supramolecular Chemistry: Concepts and Perspectives**. 1. ed. New Yprk: Wiley, 1995.

LEMES, A. F. G.; PORTO, P. A. Introdução à filosofia da química: uma revisão bibliográfica das questões mais discutidas na área e sua importância para o ensino de química. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 3, p. 121-147, 2013a.

_____; _____. O fazer Química e o ensinar Química: algumas considerações em torno do realismo químico. *In*: CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS, Girona, 2013. **Anais [...]**. Girona: X Congreso Internacional sobre Investigación en didáctica de las Ciencias, 2013b.

LENOIR, Y. **L'Interdisciplinarite dans la recherche scientifique: orientations epistemologiques et conditions**. Interfaces Brasil/Canadá, v. 13, n. 16, p. 223-259, 2013.

LI, H.; KANG, Z.; LIU, Y.; LEE, S.T. Carbon nanodots: synthesis, properties and applications. **Journal of Materials Chemistry**, v. 22, p. 24230-24253, 2012.

LI, K.; LIU, B. Polymer encapsulated conjugated polymer nanoparticles for fluorescence bioimaging. **Journal of Materials Chemistry**, v. 22, n. 4, p. 1257-1264, 2012.

LI, P.; ZHU, A. M.; LIU, Q.L.; ZHANG, Q.G. Fe₃O₄/poly(N Isopropylacrylamide)/Chitosan Composite Microspheres with Multiresponsive Properties. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 47, p. 7700-7706, 2008.

LIMA, D. B. De. **Variações do grafeno: uma abordagem ab-initio de novas estruturas bidimensionais**. 2012. Tese (Doutorado em Ciências.). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

LIMA, J. P. O.; CARVALHO, E. V.; PEREIRA, V. De A.; CHAVES, A. L.; FRANCO, M. L.; CARVALHO, P. P. F. De; CÂMARA, G. I. F.; SOUZA FILHO, M. De S. M. De.; FECHINE, P. B. A. Biomateriais. In: FECHINE, P. B. A. (org.). **Avanços no desenvolvimento de nanomateriais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, p. 218-270, 2020.

LIMA, M. E. C. De C.; AGUIAR JÚNIOR, O.; CARO, C. M. De. A Formação de Conceitos Científicos: reflexões a partir da produção de livros didáticos. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 4, p. 855-871, 2011.

LISBOA-FILHO, P. N.; MONTEIRO, M. A. Análises da Nanociência e Nanotecnologia na Perspectiva de Ciência, Tecnologia e Sociedade – CTS. **Revista de Física**, n. 46E, p. 79-91, 2013.

LIU, L.; CORMA, A. Metal catalysts for heterogeneous catalysis: from single atoms to nanoclusters and nanoparticles. **Chemical Reviews**, v. 118, n. 10, p. 4981-5079, 2018.

LIU, M.; ZHANG, X.; DENG, F. Water dispersible, non-cytotoxic, cross-linked luminescent AIE dots: Facile preparation and bioimaging applications. **Applied Surface Science**, v. 322, p. 155-161, 2014.

LIU, X.; LESNIAK, K. Progression in children's understanding of the matter concept from elementary to high school. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 43, n. 3, p. 320-347, 2006.

LÔBO, S. F. O Ensino De Química e a Formação do Educador Químico, sob o olhar Bachelardiano. **Revista Ciência & Educação**, v. 14, n. 1, p. 89-100, 2008.

LOCATELLI, A.; ZOCH, A. N.; AMARAL, L. C. Z. Do. Enfoque CTS no Ensino de Química: uma pesquisa do “estado da arte”. **Revista ENCITEC**, v. 5, n. 1, p. 34-47, 2015.

LOGUERCIO, R. De Q.; DEL PINO, J. C. Em defesa do filosofar e do historicizar conceitos científicos. **Revista História da Educação**, v. 11, n. 23, p. 67-96, 2007.

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

_____. Contribuições De Gaston Bachelard ao Ensino de Ciências. **Revista Enseñanza De Las Ciencias**, v. 11, n. 3, p. 324-330, 1993a.

_____. Livros Didáticos: Obstáculos Verbais e Substancialistas ao Aprendizado da Ciência Química. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, v.74, n.177, p. 309-334, 1993b.

_____. **Livros Didáticos**: obstáculos ao aprendizado da Ciência Química. 1990. Dissertação (Mestre em Educação). Fundação Getúlio Vargas, Rio De Janeiro, 1990.

LOPES, C.V. M. **Modelos atômicos no início do século XX**: da física clássica à introdução da teoria quântica. 2009. Tese (Doutorado em História da Ciência). Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2009.

LOZANO, G. M. C. Grafeno. **TecnoESUFA: Revista de Tecnología Aeronáutica**, v. 21, p. 44-47, 2014.

LU, J.; YU, H.; CHEN, C. Biological properties of calcium phosphate biomaterials for bone repair: a review. **RSC Advances**, v. 8, n. 4, p. 2015-2033, 2018.

LUNA, M. ¿Por qué el oro es verde, rojo y azul? [online]. **El Mundo**: Nanotecnología. Madrid, 2011. Disponível em:

<https://www.elmundo.es/elmundo/2011/06/24/nanotecnologia/1308903941.html>.

Acesso em: 22 abr. 2023.

LURIA, A. R. **El papel del lenguaje en el desarrollo de la conducta**. Havana: Pueblo y Educación, 1982.

LUZ, R.; QUEIROZ, M. B. A.; VIANNA PRUDÊNCIO, C. A. V. CTS ou CTSA: O Que (Não) Dizem as Pesquisas sobre Educação Ambiental e Meio Ambiente? **Revista ALEXANDRIA: R. Educ. Ci. Tec.**, v. 12, n. 1, p. 31-54, 2019.

MAAR, J. H. **História da Química. Parte II**: de Lavoisier ao sistema periódico. Florianópolis: Editora Papa Livro, 2011.

_____. **História da Química. Parte I**: dos primórdios a Lavoisier. 2. ed. Jacareí: IGTPAN, 2019.

MACEDO, A. H. **História, Ciência, Tecnologia e Sociedade – A Proposta HCTS e Saberes Docentes no estudo da Radiação Do Corpo Negro**. 2021. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

MACHADO, A. H.; MOURA, A. L. A. Concepções sobre o papel da linguagem no

processo de elaboração conceitual em Química. **Química Nova na Escola**, v. 1, n. 2, p. 309-334, 1995.

MACHADO, C. E.; VIEIRA, K. O.; FERRARI, J. L.; SCHIAVON, M. A. Pontos Quânticos de Carbono: Síntese Química, Propriedades e Aplicações. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 4, p. 1306-1346, 2015.

MAINZER, K. Symmetry and Complexity-Fundamental Concepts of Research in Chemistry. **HYLE**, v. 3, p. 29-49, 1997.

MALDANER, O. A. **A formação inicial e continuada de professores de Química: Professor/Pesquisador**, Ijuí, Unijuí, 2003.

MALHOTRA, N. **Pesquisa de marketing**: uma orientação aplicada. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

MANNIX, A. J.; ZHOU, X. F.; KIRALY, B.; WOOD, J. D., ALDUCIN, D., MYERS, B. D.; LIU, X.; FISHER, B.; SANTIAGO, U.; GUEST, J. R.; YACAMAN, M. J.; PONCE, A.; OGONOV, A. R.; HERSAM, M. C.; GUISENGER, N. P. Synthesis of borophenes: Anisotropic, two-dimensional boron polymorphs. **Science**, v. 350, n. 6267, p 1513-1516, 2015.

MANN, V.; RASTOGI, V. Dielectric nanoparticles for the enhancement of OLED light extraction efficiency. **Optics Communications**, v. 387, p. 202-207, 2017.

MARCONE, G. P. De S. Nanotecnologia e Nanociência: aspectos gerais, aplicações e perspectivas no contexto do Brasil. **Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, v.7, n. 2, p. 1-24, 2015.

MARCONDES, M. E. R.; CARMO, M. P. Do; SUART, R. C.; SILVA, E. L. Da; SOUZA, F. L.; SANTOS JR, J. B.; AKAHOSHI, L. H. Materiais instrucionais numa perspectiva CTSA - uma análise de unidades didáticas produzidas por professores de química em formação continuada. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 2, p. 281-298, 2009.

MARIA, G. Dos S. **Nanotecnologia como tema para abordagem dos conteúdos de estrutura atômica e propriedades dos materiais**. 2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2020.

MARIA, G. Dos S. RIBEIRO, D. Das C. A.; PASSOS, C. G.; ALVES, M. Do C. M. Experimentação como estratégia para abordar a temática nanotecnologia no ensino médio numa perspectiva CTSA. **Revista Virtual de Química**, v. 13, n. 3, p. 747-755, 2021.

MARTINS, L. A. P. História da ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.

MARTINS, M. A.; TRINDADE, T. Os nanomateriais e a descoberta de novos mundos na bancada do químico. **Química Nova**, v. 35, n. 7, p. 1434-1446, 2012.

MARTINS, P. R. Desarrollo de la Nanotecnología en Brasil: 2001-2009. **Mundo Nano**, v. 3, n. 1, p. 56-74, 2010.

MARTINS, R. De A. A história das ciências e seus usos na educação. *In*: SILVA, C. C. (org.). **Estudos de História e Filosofia das Ciências**. São Paulo: Livraria da Física, 2006a.

_____. As primeiras investigações de Marie Curie sobre elementos radioativos. **Revista da SBHC**, n. 1, p. 29-41, 2003.

_____. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 7, n. especial, p. 27-45, 1990.

_____. **Do Urânio ao Rádio**: os Curie e os novos elementos radioativos. Disponível em: <https://www.ghctc.usp.br/server/pdf/ram-CURIE-2b.PDF>. Acesso em: 15 mar. 2023.

_____. Introdução: a História das Ciências e seus usos na Educação. *In*: SILVA, C. C. (org.). **Estudos de História e Filosofia das Ciências**: subsídios para aplicações no Ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006b.

_____. Los errores experimentales de Henri Becquerel. **Epistemología e Historia de la Ciencia**, v. 6, n. 6, p. 267-274, 2000.

MARTINS, P. S.; ENGELMANN, W. Normas ISO como interfaces regulatórias para nanotecnologias e a proteção de direitos humanos. *In*: VEIGA, F. Da S.; ZAŁUCKI, M. (coords.) **LegalTech, Artificial Intelligence and the Future of Legal Practice**. IBEROJUR. Porto: Kraków, p. 492-501, 2022.

MARTON, F. Phenomenography: describing conceptions of the world around us. **Instructional Science**, v. 10, p.177-200, 1981.

MARZO, A. How incoming guidelines on chiral drugs could impact on the international scenary of drug development. **Bollettino Chimico Farmaceutico**, v. 132, p. 267-271, 1993.

MATA, M. J. G. **Bachelard**: ciencia y ensoñación. 2015. Tese (Doutorado em Filosofia). Universidade Valladolid, Espanha, 2015.

MATTHEWS, M. Construtivismo e o Ensino de Ciências: uma avaliação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 17, n. 3, p. 270-294, 2000.

_____. Constructivism and empiricism: an incomplete divorce. **Review of Educational Research**, v. 22, p, 299-307, 1992a.

_____. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual da reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p.164-214, 1995.

_____.History, philosophy, and science teaching: The present rapprochement.

Science & Education, v. 1, n. 1, p.11-47, 1992b.

_____. In defense of modest goals when teaching about the nature of Science. **Journal of Research in Science Teachin**, v. 35, n. 2, p. 161-174, 1998.

_____. **Science Teaching**: The Role of History and Philosophy of Science, New York: Routledge, 1994.

_____. **Time for Science Education**: How Teaching the History and Philosophy of Pendulum Motion can Contribute to Science Literacy. 1. ed. New York: Plenum Press, 2000.

MAUSKOPF, S. H. The Atomic Structural Theories of Ampère and Gaudin: Molecular Speculation and Avogadro's Hypothesis. **Isis**, v. 60, n.1, p. 61-74, 1969.

MCCOMAS, W.F.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M.P. The Nature of Science in Science Education: An Introduction. **Science & Education**, v. 7, p. 511–532, 1998.

MELLADO, V.; CARRACEDO, D. Contribuciones de la Filosofia de la Ciencia la Didáctica de las Ciencias. **Revista Enseñanza De Las Ciencias**, v. 2, n. 3, p. 331-339, 1993.

MELLO, L. F. Fullerenos e futebol: aplicações da fórmula de Euler. **Revista do Professor de Matemática**, v. 52, p. 17-20, 2003.

MENDES, R. M.; MISKULIN, R. G. S. A análise de conteúdo como uma metodologia. **Caderno de Pesquisa**, v. 47, n.165, p.1044-1066, 2017.

MENDELEIEV, D. Faraday Lecture “The Periodic Law of the Elements”. **Journal of the Chemical Society**, v. 55, p. 634-656, 1889.

MENDES, A. S., comunicação pessoal. In: FERNANDES, M. F. M.; FILGUEIRAS, C. A. L. Um panorama da nanotecnologia no Brasil (e seus macro-desafios). **Química Nova**, v. 31, n. 8, p. 2205-2213, 2008.

MENDES, R. M.; MISKULIN, R. G. S. A análise de conteúdo como uma metodologia. **Caderno de Pesquisa**, v. 47, n.165, p.1044–66, 2017.

MERÇON, F.; QUADRAT, S. V. A radioatividade e a história do tempo presente. **Química Nova na Escola**, v. 19, p. 27-30, 2004.

MIERZECKI, R. **The historical development of chemical concepts**. Varsóvia e Dordrecht: Polish Scientific Publishers and Kluwer Academic Publishers, 1991.

MIRANDA, L. F. De. A necessidade dos sólidos conceitos fundamentais para o desenvolvimento das fronteiras tecnológicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA. **Anais [...]**. Brasília: COBENGE, 2004.

MONK, M.; OSBORNE, J. Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A Model for the Development of Pedagogy. **Science Education**, v. 81, p.

405-423, 1997.

MORA, J. F. **Dicionário de filosofia**. [online]. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1978. Disponível em: <https://encr.pw/SONZe>. Acesso em: 04.mai 2023.

MORAES, B. T. F. De. Sobre a produção de raios-X e razão carga/massa do elétron [online]. **IFPA Campus Belém Publicações**, 2020. Disponível em: www.belem.ifpa.edu.br. Acesso em: 10.mai 2023.

MORAES, G. K. A. Síntese de Nanopartículas de Prata com Atividade Antimicrobiana contra *Fusarium Oxysporum*: proposta de aula prática para alunos de graduação. **DESAFIOS: Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 7, n. Especial, p. 243-249, 2020.

MORAES, R. Análise de conteúdo. **Revista Educação**, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999.

MORAIS, L.; MATTOS, T.; ASSIS, O. B. G. De; BERNARDES FILHO, R. Avaliação da aderência bacteriana sobre filmes enzimáticos protelíticos para aplicação em biossensores. In: WORKSHOP DA REDE DE NANOTECNOLOGIA APLICADA AO AGRONEGÓCIO, 5. São Carlos. **Anais [...]**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009. p. 50-52, 2009.

MOREIRA, A. C. L.; SILVA, D. M. Da; MOTA, D. R. De. Modelos Atômicos: correlações entre aspectos representacionais e a essência do conhecimento. **Revista Debates em Ensino de Química**, v.7, n. 1, p.186-200, 2021.

MOREIRA, A. M.; AIRES, J. A.; LORENZETTI, L. Abordagem CTS e o conceito química verde: possíveis contribuições para o ensino de química. **Revista ACTIO**, v. 2, n. 2, p. 193-210, 2017.

MOREIRA, K. R. A. **Síntese de nanopartículas de ouro em solução aquosa, transferência para outros solventes orgânicos e avaliação de sua estabilidade em diferentes meios orgânicos**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

MOREIRA, M. A Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa. concept maps and meaningful learning). **Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, digramas V e Unidades de ensino potencialmente significativas**, v. 41, 2012.

_____. **Mapas Conceituais e Diagramas V**. Porto Alegre: Ed. Do autor, 2006.

_____. Mapas conceituais como instrumentos para promover a diferenciação conceitual progressiva e a reconciliação integrativa. **Ciência e Cultura**, v. 32, n. 4, p.474-479, 1980.

MORTIMER, E. F. Conceptual change or Conceptual Profile change? **Science & Education**, v. 4, p. 267-285, 1995a.

_____. Concepções atomistas dos estudantes. **Química Nova na Escola**, v. 1, n.

1, p. 23-26, 1995b.

_____. Construtivismo, Mudança Conceitual e Ensino de Ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 1, p. 20-39, 1996.

_____. **Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011.

_____. Pressupostos epistemológicos para uma metodologia de ensino de química: mudança conceitual e perfil epistemológico. **Química Nova**, v. 15, n. 3, p. 242-249, 1992.

_____. Para além das fronteiras da Química: relações entre filosofia, psicologia e ensino de química. **Revista Química Nova**, v. 20, n. 1, p. 200-207, 1997.

_____; EL-HANI, C. N. (eds.). **Conceptual profiles: A theory of teaching and learning scientific concepts**. Netherlands: Springer, 2014.

_____; MACHADO, A. H. As linguagens na sala de aula de química e ciências. In: VIII Encontro Nacional de Ensino de Química. VIII Encontro Centro-Oeste de Debates sobre o Ensino de Química e Ciências. **Cadernos de Resumos e Anais**, Campo Grande, MS, 1996.

MORENO, E. L.; MARTINS, E. M.; RAJAGOPALC, K. Basicidade e acidez, da pré-história aos dias atuais. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 3, p. 893-902, 2015.

MORETTI, G. Avogadro, Cannizzaro e la «legge degli atomi». Rendiconti-Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. **Memorie di Scienze Fisiche e Naturali**, v. 127, p. 243-253, 2009.

MOTOYAMA, S. História da ciência como elemento do estudo de criatividade. **Revista de História**, v. 48, n. 97, p. 3-18, 1974.

MOULINES, C. U. **O desenvolvimento moderno da filosofia da ciência (1890-2000)**. Tradução de Cláudio Abreu. 1. ed. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia, 2020.

MOURA, F. J. De A.; SILVA, P. J. De A.; SILVA, E. F. Dos S.; SILVA, F. C. H. De M.; MELOS, E. J. M. V. C. F. De. Nanotecnologia: simulação de superfícies hidrofóbicas. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DAS LICENCIATURAS, João Pessoa, 2018. **Anais [...]**. João Pessoa: V COINTER, 2018.

MUKHERJEE, A.; BANERJEE, M.; BASU, S.; THANH, N. T. K.; GREEN, L. A. W.; PAL, M. Enhanced magnetic and electrical properties of Y and Mn co-doped BiFeO₃ nanoparticles. **Physica B: Condensed Matter**, v. 448, p. 199-203, 2014.

MUNICIO, J.I.P.; CRESPO, M. A. G. M. **Aprender y enseñar ciencias. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico**. Cap IV. Madri: Morata SL, 1998.

MURRIELLO, S.; CONTIER, D.; KNOBEL, M. Challenges of an exhibit on nanoscience and nanotechnology. **Journal of Science Communication**, v. 5, n. 4, p. A01, 2006.

MYKHAILIV, O.; ZUBYK, H.; BRZEZINSKA, M. E. P. Carbon nano-onions: Unique carbon nanostructures with fascinating properties and their potential applications Inorganica Chimica. **Acta**, v. 468, p. 49-66, 2017.

NAIKOO, G. A.; MUSTAQEEM, M.; HASSAN, I. U.; AWAN, T.; ARSHAD, F.; SALIM, H.; QURASHI, A. Bioinspired and green synthesis of nanoparticles from plant extracts with antiviral and antimicrobial properties: A critical review. **Journal of Saudi Chemical Society**, v. 25, n. 9, p. 1-17, 2021.

NAKHLEH, M. B.; SAMARAPUNGAVAN, A.; SAGLAM, Y. Middle school students' beliefs about matter. **Journal of research in science teaching**, v. 42, n. 5, p. 581-612, 2005.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **A framework for K-12 science education**: Practices, crosscutting concepts, and core ideas. Washington, DC: The National Academies Press, 2011.

_____. **The next generation science standards**. Washington, DC: The National Academies Press, 2013.

NCC. National Curriculum Council. **Science in the National Curriculum**. New York: NCC, 1988.

NÉBIAS, C. Formação dos conceitos científicos e práticas pedagógicas. **Interface: Comunicação, Saúde, Educação**, v. 3, n. 4, p. 133-140, 1999.

NEEDHAM, Paul. Aristotle's Theory of Chemical Reaction and Chemical Substances. In: BAIRD, D.; SCERRI, E.; McINTYRE, L. **Philosophy of Chemistry**: synthesis of a new discipline. Boston: Springer, v. 242, p. 43-67, 2006.

NELSON, P. G. Teaching chemistry progressively: from substances, to atoms and molecules, to electrons and nuclei. **Chemistry Education: Research And Practice In Europe**, v. 3, n. 2, p. 215-228, 2002.

NEWMAN, D. GRIFFIN, P. COLE, M. **The construction zone: working for cognitive change in school**. Cambridge University Press. Cambridge, 1989.

NGAI, C.; SEVIAN, H.; TALANQUER, V. What is this substance? What makes it different? Mapping progression in students' assumptions about chemical identity. **International Journal of Science Education**, v. 36, p. 2438-2461, 2014.

JOHNSON, P.; GOTT, R. Constructivism and evidence from children's ideas. **Science Education**, v. 80, n. 5, p. 561-577, 1996.

NIAZ, M. Philosophy of Chemistry or history and philosophy of science as a guide to understanding the development of chemistry. **Educación química**, v. 23, p. 244-247,

2012.

NORDMANN, A. **From metaphysics to metachemistry**. Boston: Springer Netherlands, 2006.

NOVAK, J.D. E GOWIN, D.B. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas. Tradução de Learning how to learn. (1984). Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1996.

NOYA, A. M. G.; MANEIRO, M. M.; PEDRIDO, R.; BERMEJO, M. R. Os nanomateriais inorgânicos. **Boletín das Ciencias**, v. 28, n. 81, p. 55-63, 2015.

NRC. National Research Council. **National Science Education Standards**. Washington-DC: National Academic Press, 1996.

OH, Y.; BHARAMBE, V.; MUMMAREDDY, B.; MARTIN, J.; MCKNIGHT, J.; ABRAHAM, M. A.; WALKER, J. ROGERS, K.; CONNER, B.; CORTES, P.; MACDONALD, E.; ADAMS, J. J. Microwave dielectric properties of zirconia fabricated using NanoParticle JettingTM. **Additive Manufacturing**, v. 27, p. 586-594, 2019.

OKA, C.; USHIMARU, K.; HORIISHI, N.; TSUGE, T.; KITAMOTO, Y. Core-shell composite particles composed of biodegradable polymer particles and magnetic iron oxide nanoparticles for targeted drug delivery. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, v. 381, p. 278-284, 2015.

OKASHA, S. Realismo e anti-realismo. In: **Philosophy of Science: a very short introduction**, p. 58-76, 2002. Tradução de Segundo, L. H. M.; Miranda, S. R. N. Revista Crítica, Filosofia da Ciência, 2011. Disponível em: <https://criticanarede.com/realismo.html>. Acesso em: 15 dez. 2022.

OKI, M. Da C. M. Controvérsias sobre o atomismo no século XIX. **Química Nova**, v. 32, p. 1072-1082, 2009.

_____. O conceito de elemento da antiguidade à modernidade. **Química Nova na Escola**, v. 16, n. 1, p. 21-25, 2002.

_____; MORADILLO, E. F. De. O ensino de História da Química: contribuindo para a compreensão da natureza da ciência. **Ciência & Educação**, v. 14, n. 1, p. 67-88, 2008.

OKUTAN, M.; COSKUN, R.; ÖZTURK, M.; ÖZSUCU, C.; YALCIN, O. Optic and dielectric properties of different amount NiFe₂O₄ nanoparticles loaded hydrogels: synthetic circuits applications. **ECS Journal of Solid State Science and Technology**, v. 7, n. 8, p. 101-109, 2018.

OLDROYD, D. Quantitative Aspects of the Phlogiston Theory. **School Science Review**, v. 53, p. 696-704, 1972.

OLIVEIRA, A. S. De; FECHINE, L. M. U. D.; FECHINE, P. B. A. Nanopartículas

poliméricas. *In*: FECHINE, P. B. A. (org.). **Avanços no desenvolvimento de nanomateriais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, p. 271-293, 2020.

OLIVEIRA, D. A. S.; PADIM, D. F.; ROSA, S. E. Da. Cordéis Científicos: pressupostos teórico-metodológicos e propositivos para o ensino de química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 27, n. 3, p. 112-135, 2022.

OLIVEIRA, J. M. De L. **Nanociência e nanotecnologia no ensino médio: leituras de textos de divulgação científica na produção de significados sobre física moderna e contemporânea**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

OLIVEIRA, L. M. A.; CÂMARA, M. S. C. Da; APOLINÁRIO, J. A. F. Nanotecnologia e Estrutura Atômica: método de aprendizagem cooperativa jigsaw. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, Rio Grande do Norte, 2014. **Anais [...]**. Rio Grande Do Norte: 54º CBQ, 2014.

OLIVEIRA, R. J. De. O mito da substância. **Química Nova na Escola**, n.1, p. 8-11, 1995.

OLIVEIRA, R. R. De; ALVIM, M. H. (2020). La historia de las ciencias con enfoque CTS en la formación continua de profesores de química. **Revista Iberoamericana De Ciencia, Tecnología Y Sociedad - CTS**, v. 15, n. 43, p. 65-90, 2020.

OLIVEIRA, T. V. De. **Tecnologias emergentes empregando polifenóis ou imatinibe**: nanotecnologia e impressão 3D. 2021. Dissertação (Mestre em Ciências Farmacêuticas). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

OLIVEIRA, V. F. Professor universitário: entre os saberes acadêmicos e demandas profissionais. *In*: ANPED/ SUL, 4. 2002, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: UFSC, 2002.

ORLANDO, R. M; CARDOSO FILHO, N.; GIL, E. De S.; STRINGHETTA, J. P. De S. Importância farmacêutica de fármacos quirais. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v. 4, n. 1, p. 8-14, 2007.

ORTIGARA, R. J. Nanotecnologias e riscos no ambiente de trabalho: a proteção ao trabalhador a partir do princípio da precaução. **Percursos**, v. 2, n. 33, p. 210-232, 2020.

ORTIZ, A. J. **História da Ciência e construção do conhecimento pedagógico do conteúdo relatividade na formação de professores de física**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

ORUÇ, Ç.; ALTINDAL, A. Structural and dielectric properties of CuO nanoparticles. **Ceramics International**, v. 43, n. 14, p. 10708-10714, 2017.

OSORIO, M. C. La educación científica y tecnológica desde el enfoque en ciencia, tecnología y sociedad. Aproximaciones y experiencias para la educación secundaria.

Revista Ibero Americana de Educación, n. 28, p.61-81, 2002.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. De H. **Teorias de Aprendizagem**. Porto Alegre: Evangraf, UFRGS, 2011.

PAIS, A. **Niels Bohr's Times**: in Physics, Philosophy, and Polity, Oxford University Press, Oxford, 1991.

PAIXÃO, F.; CACHAPUZ, A. Mudanças na Prática de Ensino da Química pela Formação dos Professores em História e Filosofia das Ciências. **Revista Química Nova na Escola**, n. 18, p. 31-36, 2003.

PANE, M. C. **Substância e Mistura de Substâncias**: estudo da evolução conceitual dos alunos. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

PANETH, F. A. The epistemological status of the Chemical concept element. **British Journal for the Philosophy of Science**, v. 13, p. 144-160, 1962.

_____.; RUTHENBERG, K. Friedrich Adolf Paneth (1887-1958). **HYLE: International Journal for Philosophy of Chemistry**, v. 3, p. 103-106, 1997.

PANOFKY, C. P.; JONH-STEINER, V.; BLACKWELI, P. J. O desenvolvimento do discurso e dos conceitos científicos. *In*: MOLL, L. C. (org.) **Vygotsky e a educação**: implicações pedagógicas da psicologia sócio-histórica. Porto Alegre: Artes Médicas, p. 245-260, 1996.

PAOLONI, L. Química e Mecânica Quântica: relação entre a estrutura lógica da Química e a realidade molecular. **Química Nova**, v. 3, n. 4, p.164-170, 1980.

PARUSSULO, A. L. A.; MATIAS, T. A.; GUIMARAES, R. R.; TOMA, S. H.; ARAKI, K.; TOMA, H. E. Accessing the charge separation effects in dye-sensitized solar cells based on a vectorial planning of supramolecular ruthenium dyes. **Inorganica Chimica Acta**, v. 453, p. 764-770, 2016.

PASCHOALINO, M. P.; MARCONE, G. P. S.; JARDIM, W. F. Os nanomateriais e a questão ambiental. **Revista Química Nova**, v. 33, n. 2, 2010.

PASSARI, M. G.; CHRISPINO, A. Uma análise preliminar sobre o uso da expressão "Movimento CTS" em periódicos do ensino brasileiro. **Anais [...]**: XIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Campina Grande: Realize Editora, 2021. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/76021>. Acesso em: 01 dez. 2022.

PATIÑO, M. R. B.; NOYA, A. M.G.; BARRAL, X. P.; LÓPEZ, S. L. Marie Anne Paulze Lavoisier: unha descoñecida científica. *In*: Xornada Universitaria Galega en Xénero, XUGeX: roles de xénero nun mundo globalizado. Universidade de Coruña. **Anais [...]**. Coruña: II XUGeX, 2014.

PAUL, W.; SHARMA, C. P. 13 - Inorganic nanoparticles for targeted drug delivery. *In*: SHARMA, C. P. (ed.). **Biointegration of Medical Implant Materials**. 2. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, p. 333-373, 2020.

PAULA, R. S. Da C.; PAULA, A. Da C.; SMILGEVICIUS, T. V.; LIMA, L. C. De. Crescimento do mercado de EPIs devido à crise sanitária e soluções para novos mercados através de revestimentos produzidos por nanotecnologia para diversificar o mercado de saúde. **Seven Editora**, p. 816-822, 2023.

PAULING, L. **Química Geral**. Tradução de General Chemistry. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1967.

PEGO, D. S.; GONÇALVES, E. A.; TEODORO, P. V. The construction of teaching knowledge from the perspective of the history and philosophy of science: A construção de saberes docentes na perspectiva da história e filosofia da ciência. **Concilium**, v. 23, n. 11, p. 12-27, 2023.

PELGRIFT, R.Y.; FRIEDMAN, A. J. Nanotechnology as a therapeutic tool to combat microbial resistance. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 65, n. 13-14, p. 1803-1815, 2013.

PELKOWSKI, J. El vacío de Guericke y sus virtudes. **Meteorología Colombiana**, v. 4, p. 127-138, 2001.

PENG, Z.; HAN, X.; LI, S.; AL-YOUBI, A. O.; BASHAMMAKH, A. S.; EL-SHAHAWI, M. S.; LEBLANC, R. M. Carbon dots: Biomacromolecule interaction, bioimaging and nanomedicine. **Coordination Chemistry Reviews**, v.343, p.256-277, 2017.

_____; YANG, H. Designer platinum nanoparticles: control of shape, composition in alloy, nanostructure and electrocatalytic property. **Nano Today**, v. 4, n. 2, p. 143-164, 2009.

PEREIRA, C. L. Sala de aula: espaço de ensino e aprendizagem no ensino de ciências por investigação nos anos iniciais do ensino fundamental na atual Base Nacional Comum Curricular (BNCC). **Research, Society and Development**, v. 12, n. 5, p.1-17, 2023.

PEREIRA, F. P. C.; GURGEL, I. O ensino da Natureza da Ciência como forma de resistência aos movimentos Anticiência: o realismo estrutural como contraponto ao relativismo epistêmico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, p. 1278-1319, 2020.

PEREZ-JUS, J.; RODRÍGUES-GONZÁLEZ, B.; MULVANEY, P.; LIZ-MARZÁN, L. M. Optical Control and Patterning of Gold-Nanorod–Poly(vinyl alcohol) Nanocomposite Films. **Advanced Functional Materials**, v. 15, n. 7, p. 1065-1071, 2005.

PERRENOUD, P. **Práticas pedagógicas, profissão docente e formação: perspectivas sociológicas**. Lisboa: Dom Quixote, 1993.

PESSOA JUNIOR, O. A classificação das diferentes posições em filosofia da ciência.

COGNITIO-ESTUDOS. v. 6, n.1, p.1-73, 2009.

PIAGET, J. **O desenvolvimento do pensamento. Equilibração das estruturas cognitivas**. Lisboa: Dom Quixote, 1977.

_____. **O Nascimento da Inteligência na Criança**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1987.

PIMENTA, S. G. Formação de professores: identidade e saberes da docência. *In*: PIMENTA, S. G. (Org.). **Saberes pedagógicos e atividade docente**. 2. ed. São Paulo: Cortez, p. 15-34. 2000.

PIMENTA, J. J. M.; BELUSSI, L. F. B.; NATTI, E. R. T.; NATTI, P. L. O bóson de Higgs. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, p. 2306-1/14, 2013.

PIÑEIRO, Y.; GÓMEZ, M. G.; ALVES, L. C.; PRIETO, A. A.; ACEVEDO, P. G.; GUDIÑA, R. S.; PUIG, J.; TEIJEIRO, C.; VILAR, S. Y.; RIVAS, J. Hybrid Nanostructured Magnetite Nanoparticles: From BioDetection and Theragnostics to Regenerative Medicine. **Magnetochemistry**, v. 6, n. 1, p.1-27, 2020.

PINHEIRO, B. C. S. O Período das Artes Práticas: A Química Ancestral Africana. **Revista Debates Em Ensino De Química**, v. 6, n. 1, p.4-15, 2021.

PINHEIRO, N. A. M.; SILVEIRA, R. M. C. F.; BAZZO, W. A. Ciência, tecnologia e sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do ensino médio. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 1, p. 71-84, 2007.

PINTO, M. Das G. G. O lugar da prática pedagógica e dos saberes docentes na formação de professores. **Acta Scientiarum. Education**, p. 111-117, 2010.

PINTRICH, P. R.; MARX, R. W.; BOYLE, R. A. Beyond cold conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. **Review of Educational Research**, v. 63, n. 2, p.167-199, 1993.

PIRES, A. L. R.; BIERHALZ, A. C.K.; MORAES, Â. M. Biomateriais: tipos, aplicações e mercado. **Química nova**, v. 38, p. 957-971, 2015.

PIZA, A. F. R. De T. **Mecânica quântica**. São Paulo: Edusp, 2003.

POIRIER, J. P. Science et amour – Madame Lavoisier. Ed. Pygmalion, Paris, 2004. *In*: Smeaton, W. Monsieur and Madame Lavoisier in 1789: thr Chemical Revolution and the French Revolution. **Ambix**, v. 36, p.1-4, 1989.

POLO, P. R. Cannizzaro: químico, revolucionario y precursor de la tabla periódica. **Anais de Química da RSEQ**, v. 106, n. 2, p. 137-137, 2010.

PONTES, S. M. A. **Pontos quânticos de carbono incorporados em matriz polimérica para aplicação em diodo emissor de luz**. 2022. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

PORTO, C. M. O atomismo grego e a formação do pensamento físico moderno. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, p. 1-11, 2013.

POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W.; GERTZOG, W. A. Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. **Science Education**, v. 66, n. 2, p. 211-227, 1982.

POULIS, E. Da C.; CUSTÓDIO, J. F.; GUERINI, S. C. A abordagem da temática nanociência e nanotecnologia nos cursos de Licenciatura em Física da UFSC e da UFMA: concepções de professores formadores. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 16, n. 4, p. 4303-1, 2022.

POZO, J. I.; GÓMEZ CRESPO, M. A. **Aprender y enseñar ciencia**. Madrid: Ediciones Morata, 1998.

PRADO, L. Do; CARNEIRO, M. C. O episódio histórico das teorias do flogisto e calórico: criando interfaces entre a História e Filosofia da Ciência e o Ensino de Química na busca pela humanização do trabalho científico. c. **História da Ciência e Ensino**: construindo interfaces, v. 18, p. 153-180, 2018.

PRIMON, A. L. De M.; SIQUEIRA JÚNIOR, L. G. De; ADAM, S. M.; BONFIM, T. E. História da Ciência: da idade média à atualidade. **Psicólogo in Formação**, ano 4, n. 4, p. 35-51, 2000.

PYRRHO. M. Nanociência e bioética: novas abordagens éticas para novos paradigmas científicos. **Revista Brasileira de Bioética**, v. 4, n. 3-4, p. 222-235, 2008.

_____; SCHRAMM, F. R. **Nanotecnociência e Humanidade**. 1. ed. São Paulo: Annablume, 2016.

QUEIROZ, G. R. P. C.; BARBOSA-LIMA, M. Da C. A. Conhecimento científico, seu ensino e aprendizagem: atualidade do construtivismo. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 3, p. 273-291, 2007.

QUEIROZ, L. Realism and substantialism in atom conceptions. *Disputatio*. **Philosophical Research Bulletin**, v. 4, n. 5, p. 107-118, 2015.

QUINTAL, J. R.; GUERRA, A. A história da ciência no processo ensino-aprendizagem. **Revista Física na Escola**, v. 10, n. 1, 2009.

QUORA. **Como os Romanos puderam produzir o efeito do Cálice de Licurgo?** [online]. Disponível em: <https://qph.cf2.quoracdn.net/main-qimg-e36d6ec73e036247facf3c6ceb0981de>. Acesso em: 18 abr. 2023.

RADAELLI, M. E. Contribuições de Vygotsky e Bakhtin para a linguagem: interação no processo de alfabetização. **Revista Thêma et Scientia**, Cascavel, v. 1, p. 30-34, 2011.

RAMBERG, P. J. **Chemical structure, spatial arrangement: the early history of**

stereochemistry, 1874-1914. New York: Routledge, 2003.

RAO, J. P.; GRUENBERG, P.; GECKELER, K. E. Magnetic zero-valent metal polymer nanoparticles: current trends, scope, and perspectives. **Progress in Polymer Science**, v. 40, n. 1, p. 138-147, 2015.

RAUPP, D. T.; DEL PINO, J. C.; PROCHNOW, T. R.; GALDINO, N. M.; EICHLER, M. L. Uma Breve História da Estereoquímica: da negação à legitimação. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, v. 24, p. 02-18, 2021.

_____; GALDINO, N. M.; DEL PINO, J. C.; EICHLER, M. L. Uma Breve História da Estereoquímica: da negação à legitimação. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, v. 24, p. 02-18, 2021.

RAUTENBERG, S.; TODESCO, J. L.; STEIL, A. V.; GAUTHIER, F. A. O. Uma metodologia para o desenvolvimento de ontologias. **RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 10, n. 2, p. 237-262, 2008.

RAVIOLO, A.; GARRITZ, A.; SOSA, P. Sustancia y reacción química como conceptos centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 8, n. 3, p. 240-254, 2011.

REALE, G.; ANTISERI, D. **História da Filosofia: de Freud à atualidade.** Tradução: Ivo Storniolo. São Paulo: Paulus, v. 7, 2006.

REBELLO, G. A. F.; ARGYROS, M. De M.; LEITE, W. L. L.; SANTOS, M. M.; BARROS, J. C.; SANTOS, P. M. L. Dos; SILVA, J. F. M. Da. Nanotecnologia, um tema para o Ensino Médio utilizando-se a abordagem CTSA. **Química Nova na Escola**, v 34, n. 1, p. 3-9, 2012.

REBELO, I. S.; MARTINS, I. P.; PEDROSA, M. A. Formação contínua de professores para uma orientação CTS do ensino de química: um estudo de caso. **Química nova na escola**, v. 27, n. 2, p. 30-33, 2008.

REGO, T. C. **Vygotsky: uma perspectiva histórico-cultural da educação.** Petrópolis: Editora Vozes, 1995.

REIS, M. F. De C. T. **Metodologia de Pesquisa.** 2. ed. Curitiba: IESDE Brasil S. A., 2009.

REX, F. Chemie und Alchemie in China. **Chemie in unserer Zeit**, v. 21, n. 1, p. 1-8, 1987.

RHEINBOLDT, H. **História da Balança. A vida de J. J. Berzelius.** São Paulo: Nova Stella/EDUSP, 1988.

RIBEIRO, C. Metafísica e ciência em Gaston Bachelard. **Revista Ideação**, v. 1, n. 32, p. 137-166, 2015.

RIBEIRO, K. Da R. Por uma visão dialógica da forma: contribuições do Círculo de Bakhtin para os Estudos da Linguística. **Entrepalavras**, v. 8, n. 2, p. 100-119, 2018.

RIBEIRO, T. V.; SANTOS, A. T.; GENOVESE. A História Dominante do Movimento CTS e o seu Papel no Subcampo Brasileiro de Pesquisa em Ensino de Ciências CTS. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências RBPEC**, v. 17, n. 1, p. 13-43, 2017.

RICKERT, H. **The limits of concept formation in natural science: a logical introduction to the historical sciences**. New York: Cambridge University Press, 1986.

RIO, Y.; ACCORSI, G.; NIERENGARTEN, H.; REHSPRINGER, J. L.; HÖNERLAGE, B.; KOPITKOVAS, G.; CHUGREEV, A.; VAN DORSSELAER, A.; ARMAROLI, N.; NIERENGARTEN, J.F. Fullerodendrimers with peripheral triethyleneglycol chains: synthesis, mass spectrometric characterization, and photophysical Properties. **New Journal of Chemistry**, v. 26, p. 1146-1154, 2002.

ROCKE, A. Atoms and Equivalents: the Early Development of the Chemical Atomic Theory. **Historical Studies in Physical Sciences**, v. 9, p. 222-263, 1978.

RODRIGUES, F. V. P. **Desmistificando a neutralidade da ciência e da tecnologia: uma proposta sobre nanociência**. 2019. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física). Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

ROCHA FILHO, R. C. Os Fullerenos e sua espantosa geometria molecular. **Química Nova na Escola**, n. 4, p. 7-11, 1996.

ROCHA, J. S.; FREIRE, T. M.; SILVA, C. S. F. Da; CHAVES, J. M. C.; MENEZES, F. L.; AMORIM, L.; VIANA, E.; FECHINE, P. B. A.; FREIRE, R. M. Nanopartículas magnéticas. In: FECHINE, P. B. A. (Org.). **Avanços no desenvolvimento de nanomateriais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, p. 88-138, 2020.

RODRIGUES, F. V. P. **Desmistificando a neutralidade da ciência e da tecnologia: uma proposta sobre nanociência**. 2019. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física). Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

RODUNER, E. Size matters: why nanomaterials are different. **Chemical society reviews**, v. 35, n. 7, p. 583-592, 2006.

ROMANELLI, L. I. O papel mediador do professor no processo de ensino-aprendizagem do conceito átomo. **Química Nova na Escola**, v. 3, n. 3, p. 27-31, 1996.

ROMERO, J. R. **Fundamentos de estereoquímica dos compostos orgânicos**. Ribeirão Preto, Ed. Holos, p. 15-24, 1998.

ROSENTHAL, D. B. Two Approaches to ScienceTechnology -Society (S-T-S) Education. **Revista Science Education**, v. 73, n. 5, p. 581-589, 1989.

ROSS, C. A. Patterned magnetic recording media. **Annual Review of Materials Research**, v. 31, n. 1, p. 203-235, 2003.

ROZENTALSKI, E. F.; PORTO, P. A. Uma questão não consensual no ensino de química – o caso dos orbitais. **Anais [...]: IX Congresso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias**. Girona, Espanha, p. 3109-3113, 2013. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/132090500>. Acesso em: 16 dez. 2022.

RUMYANTSEVA, M. N.; SAFONOVA, O. V.; RYABOVA, L. I.; GAS'KOV, A. M. Dopants in nanocrystalline tin dioxide. **Russian chemical bulletin**, v. 52, p. 1217-1238, 2003.

RUTHERFORD, E. The Structure of the Atom. **Philosophical Magazine**, series 6, v. 27, p. 488-498, 1914.

_____. VIII. Uranium radiation and the electrical conduction produced by it. **Philosophical Magazine**, series 5, v. 47, n. 284, p. 109-163, 1899.

SABINO, J. D.; AMARAL, E. M. R. Do. Utilização do perfil conceitual de substância no planejamento do ensino e na análise do processo de aprendizagem. **Investiação em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 3, p. 245-265, 2018.

SABINO, J. D.; AMARAL, E. M.R. Do. Utilização do perfil conceitual de substância no planejamento do ensino e na análise do processo de aprendizagem. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 1, p. 245-265, 2018.

SAJADI, M.; SAJJADI, M.; ISSAABADI, Z.; ATAROD, M. Green Nanotechnology. **Revista interface Science and Technology**, v. 28, p.145-198, 2019.

SANDLER, R. **Nanotechnology: The Social and Ethical Issues**. Washington: Project on Emerging Nanotechnologies is supported by The Pew Charitable Trusts, 2009.

SÁNCHEZ-MORA, C. M. S.; PARGA, J. T. El manejo de las escalas como obstáculo epistemológico en la divulgación de la nanociencia. Mundo nano. **Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología**, v. 4, n. 2, p. 83-102, 2011.

SANDLER, R. **Nanotechnology: The Social and Ethical Issues**. Washington: Project on Emerging Nanotechnologies is supported by The Pew Charitable Trusts, 2009.

SANI, E.; DI NINNI, P.; COLLA, L.; BARISON, S.; AGRESTI, F. Optical Properties of Mixed Nanofluids Containing Carbon Nanohorns and Silver Nanoparticles for Solar Energy Applications. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, v. 15, n. 5, p. 3562-3567, 2015.

SANT'ANNA, C. M. R. Glossário de termos usados no planejamento de fármacos. (Recomendações da IUPAC para 1997). **Química Nova**, v. 25, n. 3, p. 505-512, 2002.

SANTOS, D. M.; NAGASHIMA, L. A. A Epistemologia de Gaston Bachelard e suas contribuições para o Ensino de Química. **Revista Paradigma**, v. 36, n. 2, p. 37-48, 2015.

SANTOS, E. B.; MATOS, L. C; MAZALI, I. O. Síntese de nanopartículas de ouro e sensoriamento colorimétrico do sulfatiazol: uma prática experimental para aulas interdisciplinares. **Química Nova**, v. 45, p. 630-635, 2022.

SANTOS, H. F. Dos. O conceito de modelagem molecular. **Química Nova na Escola**, n. 4, p. 4-5, 2001.

SANTOS, L. J. Dos; ROCHA, G. P.; ALVES, R. B.; FREITAS, R. P. De. Fulereo [C60]: química e aplicações. **Química Nova**, v. 33, p. 680-693, 2010.

SANTOS, L. L.; SILVA, E. K.; BATINGA, V. T. Análise de uma sequência didática sobre o tema nanotecnologia para abordagem do conteúdo de colóides. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, Salvador, 2012. **Anais [...]**. Salvador: XVI ENEQ, 2012.

SANTOS, R. R. Dos. **A História da Química no Nível Superior**. Rio de Janeiro, 2010. Monografia (Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” em Docência do Nível Superior). Universidade Cândido Mende, Rio de Janeiro, 2010.

SANTOS, W. L. P. Contextualização no ensino de ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. **Revista Ciência & Ensino**, v. 1, p. 1-12, 2007.

_____. Dos. Educação CTS e Cidadania: Confluências e Diferenças. **Amazônia – Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 9, p. 49-62, 2012.

_____; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Revista ENSAIO – Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2. n. 2, 2002.

_____; _____. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência–Tecnologia–Sociedade) no contexto da educação brasileira. *Rev. Ensaio, Belo Horizonte*, v.02, n.02, p.110-132, 2000.

SARTO, L. E. Relato de Experiência Docente no Ensino de Química. **Almanaque de formação continuada do professor**. v. 2. JESUS, S. N De (coord.). Coleção Ciência Aberta. Curitiba: CRV, 2021.

SCAPIM, L. C. M.; BORGES, S. B.; PAULA, J. N. De; FERREIRA, L. P.; ALMEIDA III, P. R. De. Síntese e caracterização de nanomagnetita pelo processo de coprecipitação. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 3, n. 8, p.1182-1191, 2017.

SCERRI, E.R. Bibliography for the philosophy of chemistry. **Synthese**, v. 111, p. 213-232, 1997.

_____. The new philosophy of chemistry and its relevance to chemical education. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 2, n. 2, p. 165-170, 2001.

_____; MCINTYRE, L. The case for the philosophy of chemistry. **Synthese**, v. 111, p. 213-232, 1997.

SCHÄFER, L. Quantum Reality and the Importance of Consciousness in the Universe. [online]. Repositório Institucional da Universidade Fernando Pessoa, 2005. Disponível em: <https://bdigital.ufp.pt/handle/10284/770>. Acesso em: 16 jun. 2023.

SCHILLER, R.; WEISS, C. K.; GESERICK, J.; HÜSING, N. Synthesis of mesoporous silica particles and capsules by miniemulsion technique. **Chemistry of Materials**, v. 21, n. 21, p. 5088-5098, 2009.

SCHNETZLER, R. P. A pesquisa em ensino de química no Brasil: conquistas e perspectivas. **Química nova**, v. 25, p. 14-24, 2002.

SCHULZ, P. B. A bilionésima parte. **Revista Física na Escola**, v. 6, n. 1, p. 58-62, 2005.

SCHUMMER, J. Societal and ethical implications of Nanotechnology: Meanings, Interest Groups, and Social Dynamics. **Techné: Research in Philosophy and Technology**, v. 8, n. 2, p. 56-87, 2004.

SCHUTZ, A. **The phenomenology of the social world**. New York: Northwestern University Press. Tradução de Der Sinnhafte Aufbau der Sozialen Welt, 1932, por Geroge Walsh and Frederick Lehnert, 1967.

SCOTT, P. H. The process of conceptual change in Science: A case study of the development of a secondary pupil's ideas relating to matter, *In*: NOVAK, J.D. (ed). **The proceedings of The Second International Seminar: Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics**. Ithaca, New York: Cornell University, v. 2, p. 404-419, 1987.

SEVERO, C. G. O estudo da linguagem em seu contexto social: um diálogo entre Bakhtin e Labov. **D.E.L.T.A.: Documentação de Estudos em Linguística Teórica e Aplicada**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 267-283, 2009.

SFEZ, L. **A saúde perfeita**: crítica de uma nova utopia. São Paulo: Loyola, 1996.

SHARMA, G.; KUMAR, A.; SHARMA, S.; NAUSHAD, M.; DWIVEDI, R. P.; ALOTHMAN, Z. A.; MOLA, G. T. Novel development of nanoparticles to bimetallic nanoparticles and their composites: a review. **Journal of King Saud University - Science**, v. 31, n. 2, p. 257-269, 2019.

SHELDON, R. A. Chirotechnology: Industrial synthesis of optically active compounds. **Journal of Chemical Education**, v. 71, n. 1, 1994.

SHEPPARD, H. J. Alchemy: origin or origins? **Ambix**, v. 17, n. 2, p. 69-84, 1970.

SHULMAN, L. S. Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. **Educational Researcher**, v.15, n. 2, p. 4-14, 1986.

SIBILIA, P. **O homem pós-orgânico**: corpo, subjetividade e tecnologias digitais. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2002.

SICCA, N. A. L.; GONÇALVES, P. W. História da química e da geologia: Joseph Black e James Hutton como referências para educação em ciências. **Química Nova**, v. 25, p. 689-695, 2002.

SIEGEL, H. The Rationality of Science, Critical Thinking, and Science Education. *Synthese*, v. 80, n. 1, p.9-42, 1989. Reprinted *In*: Matthews, M.R. (ed.) **History, Philosophy and Science Teaching**: Selected Readings, OISE Press, New York: Toronto and Teachers College Press, 1991.

SILVA, A. C. H. Da; SANTOS, H. I. Dos; LACERDA, N. O. S.; CARVALHO, J; C. Q. De. A temática “nanotecnologia” como abordagem teórico-metodológica no ENEQ (2008-2016). *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM CIÊNCIAS. **Anais [...]**. Caldas Novas, GO: X ENPEC, 2021.

SILVA, E. C. **Síntese e propriedades ópticas de sistemas coloidais contendo nanopartículas de ouro dispersas em óleo de mamona**. 2009. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.

SILVA, E. Z. Da. Nanociência: a próxima grande ideia? **Revista USP**, n. 76, p. 78-87, 2008.

SILVA, H. S. D. A Descoberta dos Raios X. **VITTALLE** - Revista De Ciências Da Saúde, v. 15, n 2, p. 77-82, 2017.

SILVA, J. R. R. T. Da. Diversos modos de pensar o conceito de substância química na história da ciência e sua visão relacional. **Ciência & Educação**, v. 23, n. 3, p. 707-722, 2017a.

_____. **Substância Química**: a história de um devir. 1. ed. Curitiba: Appris, 2017b.

_____. **Um perfil conceitual para o conceito de substância**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

_____; AMARAL, E. M. R. Do. Proposta de um perfil conceitual para substância. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 3, p. 53-72, 2013.

_____; _____. Concepções sobre Substância: relações entre contextos de origem e possíveis atribuições de sentidos. **Química Nova na Escola**, v. 38, n. 1, p. 70-78, 2016.

_____; LYRA, M. Da C. D. P. De. Learning the Concept of Chemical Substance: the Role of Reconstructive Memory. **Human Arenas**, v. 3, p. 99-118, 2020.

SILVA, M. R. Da. Ensino de ciências: realismo, antirrealismo e a construção do conceito de oxigênio. **Revista História, Ciências, Saúde**, v.20, n.2, p.481-497, 2013.

SILVA, N. S. Da; AGUIAR, O. O uso dos conceitos de elemento e substância por estudantes do ensino fundamental: uma perspectiva de análise sociocultural. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 8, n. 3, 2008.

SILVA, P. R. Da. **A Interdisciplinaridade na formação docente**: investigando contribuições de um processo de formação continuada de professores da área de Ciências Naturais a partir do tema Nanociência e Nanotecnologia. Juiz de Fora, 2019. Tese (Doutorado em Educação em Química). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2019.

_____; LOPES, J. G. Da S. Investigando a Mobilização de Saberes Docentes em Propostas de Ensino Sobre Nanociência e Nanotecnologia. **Revista Debates em Ensino de Química**, v. 5, n. 2, p. 151-164, 2019.

_____; _____. Nanociência, Nanotecnologia e Ensino de Ciências: um tema a ser discutido na formação de professores. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. **Anais [...]**. Águas de Lindóia, SP: X ENPEC, 2015.

_____; _____. Reflexões sobre um processo de formação continuada de professores envolvendo Nanociência e Nanotecnologia. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, n. Extra, p. 607-612, 2017.

SILVA, V. A. Ruptura epistemológica e construtivismo pedagógico em Gaston Bachelard. **Revista Tempos e Espaços em Educação**, v. 2, p. 69-80, 2009.

SILVEIRA, B. I. Da. **Cinética química das reações homogêneas**. 2. ed. Editora Blucher, 2015.

SILVEIRA, D. T.; CÓRDOVA, Fernanda Peixoto. **A pesquisa científica**. Métodos de pesquisa. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. p. 33-44, 2009.

SILVEIRA, M. P. Da. **Uma análise epistemológica do conceito de substância em livros didáticos de 5ª a 8ª série do ensino fundamental**. 2003. Dissertação (Mestrado em Educação). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SIMOMUKAY, E. Nanotecnologia e Frutas: revelando o nanomundo através da formação de nanopartículas de prata. **Cadernos de Ensino, Ciências & Tecnologia**, v. 2, n. 4, p. 17-28, 2021.

SINDER, M. Vygotsky e Bakhtin - Psicologia e educação: um intertexto. **Educação e Sociedade**, Campinas, n. 60, p. 183-186, 1997. Resenha da obra de FREITAS, Maria Tereza de Assunção. Vygotsky e Bakhtin - Psicologia e educação: um intertexto. São Paulo: Ática, 1994.

SIQUEIRA, G. C. DE; RIBEIRO, S. A. F.; Freitas, C. C. G.; Sovierzoski, H. H.; LUCAS, L. B. CTS e CTSA: em busca de uma diferenciação. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 17, n. 48, p. 16-34, 2021.

SISTEMA DE BIBLIOTECAS UEL . ABNT: Manual de Normalização de Trabalhos Acadêmicos. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

SOLOMINODOU, C.; STAVRIDOU, H. From inert object to Chemical substance: Students' initial conceptions and conceptual development during an introductory experimental Chemistry sequence. **Science Education**, v. 84, p. 382-400, 2000.

SOLOMONS, T. W. G; FRYHLE, C. B.; SNYDER, S. A. **Química Orgânica**. Tradução de Silva, E. C. Da. v. 1, 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

SOUSA, J. R. De; COSTA, P. R. B. Da; SGARBI, A. D. História e Filosofia da Ciência no contexto do Ensino de Ciências: um olhar a partir da produção Stricto Sensu brasileira. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, v. 25, p. 122-139, 2022.

SOUSA, T. L. De; MARTINS, A. F. P. Gaston Bachelard e a educação: por uma pedagogia da formação. **Cadernos de Pesquisa**, v. 27, n. 1, p. 401-430, 2020.

SOUZA, E. M. De; COSTA, A. De S. M. Da; PEREIRA, S. J. N. A Organização (in)corporada: ontologia organizacional, poder e corpo em evidência. **Cadernos EBAPE.BR [online]**, v. 13, n. 4, p. 727-742, 2015.

SOUZA, C. (coord.). **História da Energia Nuclear**. Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Rio de Janeiro: CNEN. Disponível em: <http://antigo.cnem.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/historia-da-energia-nuclear.pdf>. Acesso em 31 mar. 2023.

SOUZA FILHO, A. G. De; FAGAN, S. B. Funcionalização de nanotubos de Carbono. **Química Nova**, v. 30, n. 7, p. 1695-1703, 2007.

STAINS, M.; TALANQUER, V. Classification of chemical substances using particulate representations of matter: An analysis of student thinking. **International Journal of Science Education**, v. 29, p. 643-661, 2008.

STAVROU, D.; MICHAILIDI, E.; SGOUROS, G. Development and dissemination of a teaching learning sequence on nanoscience and nanotechnology in a context of communities of learners. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 19, n. 4, p. 1065-1080, 2018.

STEED, J. W.; GALE, P. A. **Supramolecular Chemistry: From Molecules to Nanomaterials**. 1. ed. New York: Wiley, 2012.

_____.; TURNER, D. R.; WALLACE, K. J. **Core Concepts in Supramolecular Chemistry and Nanochemistry**. 1. ed. New Yprk: Wiley, 2007.

STEPANOV, A. L.; GOLUBEV, A. N.; NIKITIN, S. I.; OSIN, Y. N. A review on the fabrication and properties of platinum nanoparticles. **Reviews on Advanced Materials Science**, v. 38, n. 2, p. 160-175, 2014.

STILLMAN, J. M. **The Story of Early Chemistry**. Nova York: Dover Publications, 1960.

STONE, G. J. On the physical units of nature. **Philosophical Magazine**, s. 5, 11, n. 69, p. 381-391, 1881.

STREITWIESER, A. **Molecular Orbital Theory for Organic Chemists**. 1. ed. N.Y.: Jhon Wiley & Sons, 1961.

SUN, Y.P.; ZHOU, B.; LIN, Y.; WANG, W.; FERNANDO, K. A. S.; PATHAK, P.; MEZIANI, M. J.; HARRUFF, B. A.; WANG, X.; WANG, H.; LUO, P. G.; YANG, H.; KOSE, M. E.; CHEN, B.; VECA, L. M.; XIE, S.Y. Quantum-sized carbon dots for bright and colorful photoluminescence. **Journal of the American Chemical Society**, v. 128, n. 24, p. 7756-7757, 2006.

SUTCLIFFE, B. T.; WOOLLEY, R. G.. Atoms and molecules in classical chemistry and quantum mechanics. **Philosophy of chemistry**, v. 6, p. 387-426, 2012.

SZABADVÁRY, F. **History of Analytical Chemistry**. Oxford: Pergamon Press, 1966.

TABER, K. **Chemical misconceptions-Prevention, diagnosis and cure**. V. I, Theoretical background. London: Royal Society of Chemistry, 2002.

_____.; FRANCO, A, G. Learning processes in chemistry: Drawing upon cognitive resources to learn about the particulate structure of matter. **Journal of the Learning Sciences**, v.19, n. 1, p. 99–142, 2010.

TALANQUER, V. Commonsense chemistry: A model for understanding students' alternative conceptions. **Journal of Chemical Education**, v. 83, n. 5, p. 811–816, 2006.

_____. Students' predictions about the sensory properties of chemical compounds: Additive versus emergent frameworks. **Science Education**, v. 92, n.1, p. 96–114, 2008.

_____.; POLLARD, J. Let's teach how we think instead of what we know. **Chemistry Education Research and Prattice**, v. 11, p. 74-83, 2010.

TAMILVANAN, A.; BALAMURUGAN, K.; PONAPPA, K.; KUMAR, B. M. Copper nanoparticles: synthetic strategies, properties and multifunctional application. **International Journal of Nanoscience**, v. 13, n. 02, p. 1430001-22, 2014.

TARDIF, M. **Saberes Docentes e Formação Profissional**. 17. ed. Petrópolis: Vozes, 2014.

_____.; LESSARD, C.; LAHAYE, L. Les enseignants des ordres d'enseignement primaire et secondaire face aux savoirs: Esquisse d'une problématique du savoir enseignant. **Sociologie et sociétés**, v. 23, n. 1, p. 55-69, 1991.

TAVARES, L. H. W. Possibilidades de deformação conceitual nos livros didáticos de química brasileiros: o conceito de substância. Universidade Estadual Paulista. **Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 8, n.3, p. 1004- 1018, 2009.

_____. **A História da Ciência nas Obras de Química do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio: uma análise através do conceito de substância.** Dissertação (Mestre em Educação para a Ciência) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2010.

TEIXEIRA, F. M. Fundamentos Teóricos que Envolvem a Concepção de Conceitos Científicos na Construção do Conhecimento das Ciências Naturais. **Revista Ensaio**, v. 8, n. 2, p. 121-131, 2006.

THOMSON, J. J. **Natural Science in Education**, London: HMSO. (Known as the Thomson Report.), 1918.

_____. LVIII. On the Masses of the Ions in Gases at Low Pressures. **Philosophical Magazine**, series 5, v. 48, n. 295, p. 547-567, 1899

THOMSON, T. On the Daltonian Theory of Definite Proportions in Chemical Combinations. **Annals of Philosophy**, v. 2, 1813.

TIMM, R. A.; FALLA, M. D. P. H.; HUILA, M. F. G.; PERES, H. E. M.; FERNANDEZ, F. J. R.; ARAKI, K.; TOMA, H. E. Vanadium oxide-porphyrin nanocomposites as gas sensor interfaces for probing low water content in ethanol. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 146, n. 1, p. 61-68, 2010.

TISCHER, P. C. S. F.; TISCHER, C. A. Nanobiotechnology: platform technology for biomaterials and biological applications the nanostructures. **Biochemistry and Biotechnology Reports**, v.1, n.1, p. 32-56, 2012.

TOMA, H. E. Interfaces e organização da pesquisa no brasil: da química à nanotecnologia. **Revista Química Nova**, v. 28, p. 48-51, 2005.

TOMAR, R. S.; JYOTI, A.; KAUSHIK, S. (eds). **Nanobiotechnology: Concepts and Applications in Health, Agriculture, and Environment**, 1. ed. Apple Flórida: Academic Press, 2020.

TOMKELSKI, M. L. **O ensino de tópicos de nanociência e de nanotecnologia na educação básica e superior: uma análise a partir das compreensões de professores.** Santa Maria, 2017. Dissertação (Mestre em Ensino de Ciências e Matemática). Centro Universitário Franciscano, Santa Maria, RS, 2017.

_____.; SCREMIN, G.; FAGAN, S. B. Ensino de Nanociência e Nanotecnologia: perspectivas manifestadas por professores da educação básica e superior. **Ciência & Educação**, v. 25, p. 665-683, 2019.

TOULMIN, S.; GOODFIELD, J. **The architecture of matter**. New York: Harper, 1962.

TRINDADE, D. J.; NAGASHIMA, A.; ANDRADE, C. C. de. Obstáculos epistemológicos sob a perspectiva de Bachelard. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 17829-17843, 2019.

TUDGE, J.; WINTERHOFF, P. Vygotsky, Piaget e Bandura: Perspectives on the Relations between the Social World and Cognitive Development. **Human Development**, v. 36, p. 61-81, 1993.

TURKEVICH, J.; STEVENSON, P. C.; HILLIER, J. A study of the nucleation and growth processes in the synthesis of colloidal gold. **Discussions of the Faraday Society**, v. 11, p. 55-75, 1951.

UGARTE, D. Onion-like graphitic particles. *Carbon*, v. 33, n. 7, p. 989-993, 1995.

UNIVERSITÉ PSL. **A new life in paris (1891-1897)**. [online]. Paris. Disponível em: <https://explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/new-life-paris-1891-1897>. Acesso em: 10 abr. 2023.

URIBE, G. M.; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, J. L. La nanociencia y la nanotecnología: una revolución em curso. **Revista Ensayo**, n.29, pg.161-186, 2007.

VAIRO, A. C.; REZENDE FILHO, L. A. C. De. Perfil Conceitual como tema de pesquisa e sua aplicação em conteúdos de Biologia. **Revista Ensaio**, v. 15, n. 1, p. 193-208, 2013.

VAN BRAKEL, J. **Philosophy of Chemistry**: between the manifest and the scientific image. Leuven: Leuven University Press, 2000.

VAN DER SPEK, T. M. Selling a theory: The role of molecular models in J. H. van't Hoff's stereochemistry theory. **Annals of science**, v. 63, n. 2, p. 157-177, 2006.

VARGHESE, R. J.; SAKHO, E. H. M.; PARANI, S.; THOMAS, S.; OLUWAFEMI, O. S.; WU, J. (eds.) **Nanomaterials for Solar Cell Applications**, Estados Unidos: Elsevier, 2019.

VÁZQUEZ, M. **Magnetic Nano-and Microwires**: design, synthesis, Properties and applications, v. 1, 1. ed. Woodhead & Elsevier, 2015.

VIANA, J. D.; LUCA, A. G. De; SOUZA, A. L. F. De. Percurso da História da Química em uma Sequência Didática: discussões e aprendizagens sobre a história da ciência para estudantes do ensino técnico. **História da Ciência e Ensino**, v. 25, p. 165-179, 2022.

VIEIRA, W. **Nanotecnologia Pró-Paz**. 2009. Disponível em: <http://www.reposicons.org/handle/123456789/2217>

VILLAMIL, H. R. Del constructivismo al contruccionismo: implicaciones educativas. **Revista Educación y Desarrollo Social**, v. 2, n. 1, p. 71-89, 2008.

VILCHES, A.; GIL PÉREZ, D.; PRAIA, J. De CTS a CTSA: educação por um futuro sustentável. In: SANTOS, W. L. P.; AULER, D. (orgs). **CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisas**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2011.

VILELA, M. V. F.; ROCHA, E. F. Da; SILVA, V. C. Da; CASTRO, E. B. De; ARAUJO, C. S. O De. Reflexões Históricas e Epistemológicas sobre a trajetória da Ciência e suas implicações para o ensino de ciências: contribuições do estudo de temas CTS à luz da HFC em prol da superação de imagens distorcidas do trabalho científico. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. 1-17, 2021.

VILLAMIL, H. R. Del constructivismo al construccionismo: implicaciones educativas. **Revista Educación y Desarrollo Social**, Colombia, v. 2, n. 1, p.72-89, 2008.

VIZGUÍN, V. Evolución de la idea de Sustancia Química de Tales a Aristóteles. **Llull: Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas**, v. 14, n. 27, p. 603-644, 1991.

VOGELEZANG, M. J. Development of the concept 'chemical substance' - some thoughts and arguments. **International Journal of Science Education**, v. 9, n. 5, p. 519-528, 1987.

VOLPE, A. L. D. **“Pigmentos inorgânicos como tema para interdisciplinaridade e contextualização no Ensino de Química”**. 2018. Dissertação (Mestre Profissional em Química – Ensino de Química) – Universidade Federal de São Carlos, SP, São Carlos, 2018.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e linguagem**. 3. ed. São Paulo: M. Fontes, 1991.

_____. Pensamiento y lenguaje. In: ALVAREZ, A. E. D. R. P. (ed). **Problemas de Psicología General** – Obras Escogidas. Madri: Visor, v. 2, 1993.

_____. Um estudo experimental da formação de conceitos. In: VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e Linguagem**. Tradução de Jefferson Luiz Camargo. 4. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2008.

WAKS, L. J. Educación en ciencia, tecnología y sociedad: orígenes, desarrollos internacionales y desafíos actuales. In: MEDINA, M., SANMARTÍN, J. (eds.). **Ciencia, tecnología y sociedad: estudios interdisciplinarios en la univeridade, en la educación y en la gestión política y social**. Barcelona, Anthropos, Leioa: Universidad del País Vasco, 1990.

_____, BARCHI, B. A. STS in U.S. school science: perceptions of selected Leaders and their implications for STS education. **Revista Science Education**, v. 76, n. 1, p.79-90, 1992.

WALLACE, P. R. The Band Theory of Graphite. **Physical. Review**, v. 71, n. 9, p.

622-634, 1947.

WAN, X.; LIU, H.; YAO, S.; LIU, T.; YAO, Y. A stimuli-responsive nanogel-based sensitive and selective fluorescent sensor for Cr^{3+} with thermo-induced tunable detection sensitivity. **Macromolecular Rapid Communications**, v. 35, n. 3, p. 323-329, 2014.

WATTS, D. M. Constructivism, Re-constructivism and Task-orientated Problem-solving In P. Fensham, R. Gunstone & R. White (eds.) **The Content of Science: A Constructivist Approach to its Teaching and Learning and Learning**, London: Falmer Press, p. 39-58, 1994.

WEI, Y.; HAN, B.; HU, X.; LIN, Y.; WANG, X.; DENG, X. Synthesis of Fe_3O_4 nanoparticles and their magnetic properties. **Procedia Engineering**, v. 27, p. 632-637, 2012.

WESSELS, J. M.; NOTHOFFER, H. G.; FORD, W. E.; WROCHEM, F. V.; SCHOLZ, F.; VOSSMEYER, T.; SCHROEDTER, A.; WELLER, H.; YASUDA, A. Optical and electrical properties of three-dimensional interlinked gold nanoparticle assemblies. **Journal of the American Chemical Society**, v. 126, n. 10, p. 3349-3356, 2004.

WEYER, J. Alchemie an einem Fürstenhof der Renaissance. **Chemie in unserer Zeit**, v. 26, p. 241-249, 1992.

WHEWELL, W. Philosophy of the Inductive Sciences. v. 1, 1840. Reproduzido de Crosland, M. The Science of Matter: a Historical Survey. **Gordon and Breach Science Publishers**, NY, 1992.

WHITE, T. R.; GUNSTONE, R. F. Metalearning and conceptual change. **International Journal of Science Education**, v. 11, p. 577-586, 1989.

WILKINSON, I. History of clinical. Revisado de: Wöhler & the Birth of Clinical Chemistry, 1828. **Journal of the International Federation of Clinical Chemistry**, v. 13, n. 4, p. 114, 2002.

WILSON, D. **Rutherford-simple genius**. Cambridge: MIT Press, 1984.

WISNIAK, J. Carl Wilhelm Scheele. **Revista CENIC Ciências Químicas**, v. 40, n. 3, p. 165-173, 2009.

WÖHLER, F. Poggendorffs. **Annalen der Physik Chemical**, v. 1, p.117-124, 1824.

WRAY, K. B. Kuhn, the History of Chemistry, and the Philosophy of Science. **The Journal of the International Society for the History of Philosophy of Science**, v. 9, n. 1, p.75-92, 2019.

XAVIER, B. R. As categorias de Aristóteles e o conhecimento científico. **Pensar**, v. 13, n. 1, p. 57-64, 2008.

YANG, L.; PENG, X. H.; WANG, A.; WANG, X.; CAO, Z.; NI, C.; KARNA, P.; ZHANG,

X.; WOOD, W. C.; GAO, X.; NIE, S.; MAO, H. Receptor-targeted nanoparticles for in vivo imaging of breast cancer. **Clinical Cancer Research**, v. 15, n. 14, p. 4722-4732, 2009.

YANG, X.; ZHANG, X.; LIU, Z.; MA, Y.; HUANG, Y.; CHEN, Y. High-efficiency loading and controlled release of doxorubicin hydrochloride on graphene oxide. **The Journal of Physical Chemistry C**, v. 112, n. 45, p. 17554-17558, 2008.

ZAMARION, V. M.; TIMM, R. A.; ARAKI, K.; TOMA, H. E. Ultrasensitive SERS nanoprobe for hazardous metal ions based on trimercaptotriazine-modified gold nanoparticles. **Inorganic Chemistry**, v. 47, n. 8, p. 2934-2936, 2008.

ZANETIC, J. Física e literatura: construindo uma ponte entre as duas culturas. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 13, p. 55-70, 2006.

ZARBIN, A. J. G. Química de (nano)materiais. **Química Nova**, v. 30, n. 6, p. 1469-1479, 2007.

ZHANG, J. Z. **Optical Properties and spectroscopy of nanomaterials**. 1. ed. Cingapura: World Scientific, 2009.

ZHANG, X.; LIU, Z. G.; SHEN, W.; GURUNATHAN, S. Silver nanoparticles: synthesis, characterization, properties, applications, and therapeutic approaches. **International journal of molecular sciences**, v. 17, n. 9, p. 1534, 2016.

ZHAO, Y.; SHIRAI, Y.; SLEPKOV, A. D.; CHENG, L.; ALEMANY, L. B.; SASAKI, T.; HEGMANN F. A.; TOUR, J. M. Synthesis, spectroscopic and nonlinear optical properties of multiple [60]fullerene-oligo(p-phenylene ethynylene) hybrids. **Chemistry: A European Journal**, v. 11, n. 12, p. 3643-3658, 2005.

ZHAO, Z.; CHEN, S.; LAM, J. W. Y.; LU, P.; ZHONG, Y.; WONG, K. S.; KWOK, H. S.; TANG, B. Z. Creation of highly efficient solid emitter by decorating pyrene core with AIE-active tetraphenylethene peripheries. **Chemical Communications**, v. 46, n. 13, p. 2221-2223, 2010.

ZHENG, X.T.; ANANTHANARAYANAN, A.; LUO, K. Q.; CHEN, P. Glowing graphene quantum dots and carbon dots: properties, syntheses, and biological applications. **Small**, v.11, n. 4, p.1620-1636, 2015.

ZHU, S.; SONG, Y.; ZHAO, X.; SHAO, J.; ZHANG, J.; YANG, B. The photoluminescence mechanism in carbon dots (graphene quantum dots, carbon nanodots, and polymer dots): current state and future perspective. **Nano Research**, v. 8, n. 2, p. 355–381, 2015.

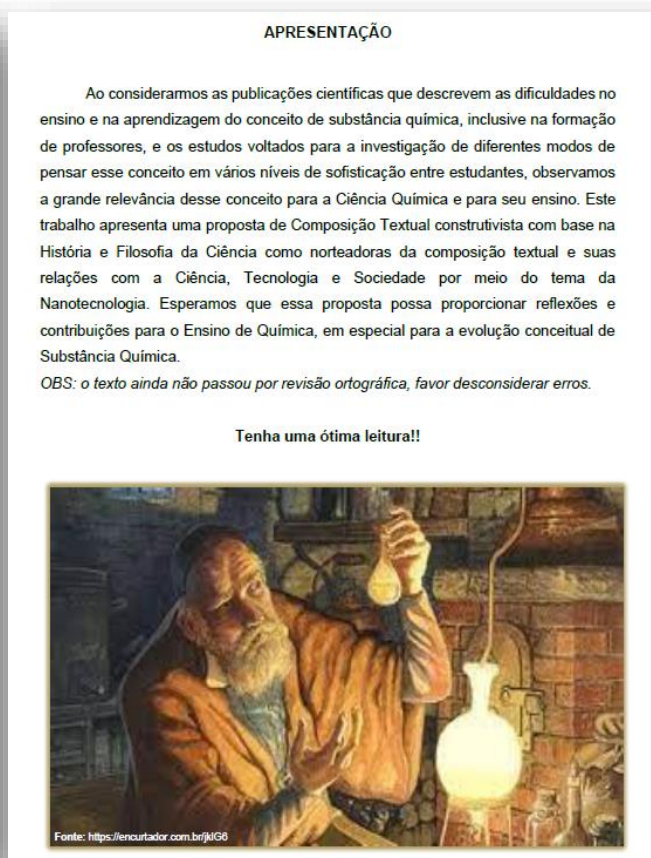
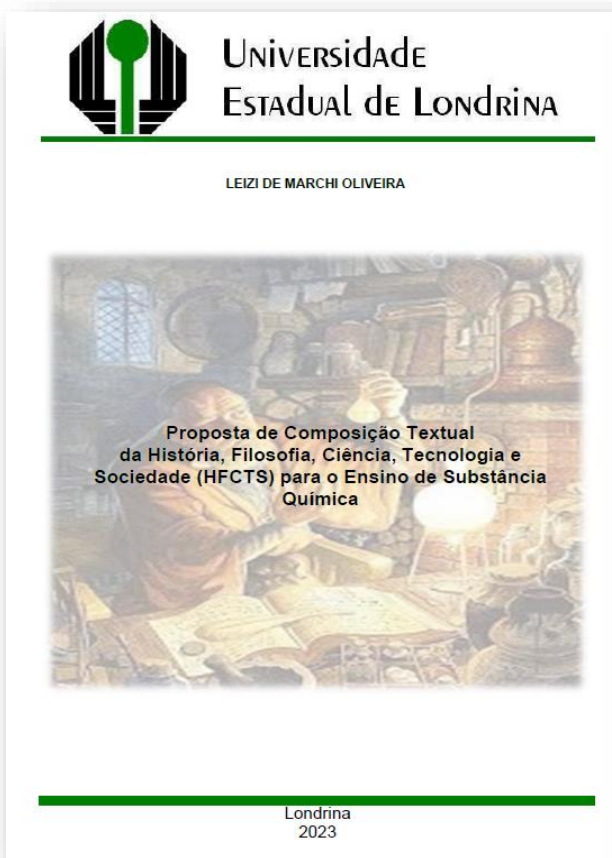
ZHU, Y.; HOSMANE, N. S. Nanocatalysis: Recent advances and applications in boron chemistry. **Coordination Chemistry Reviews**, v. 293-294, p. 357-367, 2014.

ZIMMERMANN, E.; BERTANI, J. A. Um Novo Olhar Sobre os Cursos de Formação de Professores. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 20, n. 1, p. 43-62, 2003.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Algumas Imagens da CT enviada aos avaliadores



SUMÁRIO	
INTRODUÇÃO	07
UNIDADE 1	
PRESSUPOSTOS TEÓRICOS GERAIS: PARA ELABORAÇÃO DA COMPOSIÇÃO TEXTUAL HFCTS NA FORMAÇÃO DO DOCENTE	08
1.1 HFC COMO NORTEADORAS DA ABORDAGEM HFCTS	08
1.1.1 Pressupostos da HFC para o Ensino	08
1.1.1.1 História da Química	09
1.1.1.2 Filosofia da Química	11
1.1.1.3 Aspectos da HFC na Formação Docente	12
1.1.1.4 Alguns Fundamentos Epistemológicos	14
1.1.1.4.1 Noções da Epistemologia de Bachelard	18
1.1.1.4.2 O Realismo Ingênuo no Ensino de Química	21
1.1.1.4.3 Bachelard e a Formação Docente	23
1.1.1.5 Noções de Ontologia	25
1.1.2 Pressupostos da CTS para o Ensino	26
1.1.2.1 Breve histórico da origem do movimento CTS	26
1.1.2.2 Algumas contribuições da abordagem CTS ao Ensino	28
1.1.2.3 Aspectos da CTS na Formação Docente	29
1.1.3 Correlações entre HFC e CTS no Ensino	30
1.2 N&N COMO MEDIADORAS DA ABORDAGEM CTS	32
1.2.1 Aspecto Científico	32
1.2.2 Aspecto Tecnológico	33
1.2.3 Aspecto Social	33
1.2.4 Aspecto Ambiental	35
1.2.5 Alguns aspectos da N&N na perspectiva CTS no Ensino	36
1.2.6 N&N na Formação Docente	37

Fonte: A própria autora.

UNIDADE 2	
PRESSUPOSTOS TEÓRICOS ESPECÍFICOS: ORGANIZAÇÃO DA COMPOSIÇÃO TEXTUAL HFCTS PARA A EVOLUÇÃO DO PERFIL CONCEITUAL DE SUBSTÂNCIA QUÍMICA	41
2.1 PRESSUPOSTOS DA HFC NA FORMAÇÃO DO CONCEITO DE SUBSTÂNCIA	41
2.1.1 Substância na História da Química	41
2.1.2 Substância na Epistemologia da Química	42
2.1.2.1 Do Perfil Epistemológico ao Perfil Conceitual de Substância	43
2.2 PRESSUPOSTOS DA N&N - CTS NA FORMAÇÃO DO CONCEITO	49
2.3 ESQUEMA GERAL DA COMPOSIÇÃO TEXTUAL DA HFCTS	50
UNIDADE 3	
"DA SUBSTÂNCIA À NANOTECNOLOGIA": UMA PROPOSTA DE COMPOSIÇÃO TEXTUAL NA PERSPECTIVA DA HFCTS PARA EVOLUÇÃO DO PERFIL CONCEITUAL DE SUBSTÂNCIA QUÍMICA NA FORMAÇÃO DO DOCENTE	52
3.1 DA SUBSTÂNCIA À SUBSTÂNCIA QUÍMICA: CONTEXTO HISTÓRICO-FILOSÓFICO	52
3.1.1 Substância na Idade Antiga (4000 a.C. – 476 d.C.)	53
3.1.1.1 Substância Filosófica: primórdios	53
3.1.1.2 Os Quatro Elementos de Empédocles e Aristóteles	56
3.1.1.3 "Atomismo Geométrico" de Platão	58
3.1.1.4 O Atomismo de Leucipo e Demócrito	59
3.1.1.5 Protoquímica: artes práticas primitivas	61
3.1.1.6 Alquimia Greco-Egípcia ou Alexandrina: início (séc. III a.C.)	62
3.1.1.7 Alquimia Chinesa (séc. I a.C.)	65
3.1.2 Substância na Idade Média (séc. V – séc. XV)	66
3.1.2.1 Alquimia Islâmica (séc. VIII – séc. XIV)	67
3.1.2.2 Alquimia na Europa Medieval	69
3.1.3 Substância na Idade Moderna (1453 – 1789)	70
3.1.3.1 Século XVI: Paracelso e uma nova revolução	71

INTRODUÇÃO

Como mostra o sumário, a presente proposta de Composição Textual HFCTS está organizada em três unidades. **Unidade 1:** apresenta os fundamentos teóricos gerais com o enfoque de aspectos da História, da Filosofia, da Ciência da Tecnologia e da Sociedade articulados à Nanociência e Nanotecnologia voltados para a formação docente. Nesse contexto a Nanociência e a Nanotecnologia são temas mediadores da abordagem CTS.

Unidade 2: apresenta os fundamentos teóricos específicos da HFCTS articulados com o conceito de substância química e sua evolução histórica.

Unidade 3: apresenta a Composição Textual HFCTS, propriamente dita, intitulada “Da Substância à Nanotecnologia” que foi organizada em três contextos: Histórico-Filosófico; Epistemológico e Científico-Tecnológico-Social. A Substância Química foi situada na História da Química da seguinte forma: - Substância na Idade Antiga – Substância na Idade Média – Substância na Idade Moderna e – Substância na Idade Contemporânea. A contextualização com a Nanociência e Nanotecnologia representa a noção de Substância Química do século XXI. Ao final da Unidade 3 são apresentadas algumas considerações e sugestões para o Ensino de Química articuladas à Composição Textual HFCTS.



Fonte: A própria autora.

Obs: Em caso de interesse pelo documento na íntegra, contatar a autora pelo endereço de e-mail: marchioliveira@yahoo.com.br.

APÊNDICE B

Imagens do questionário enviado aos avaliadores

Perguntas Respostas 8 Configurações



Avaliação da Composição Textual HFCTS

O presente formulário é destinado a coletar dados referentes a formação acadêmica e área de atuação no ensino, bem como disponibilizar as 5 questões avaliativas da CT.

1. Qual seu endereço de e-mail? (não obrigatório)

Texto de resposta curta

2. Qual sua Formação Acadêmica (graduação, especialização, mestrado, doutorado)? Por favor, especifique as áreas de atuação.

Texto de resposta longa

3. Qual sua área/nível (Ensino Médio/Curso Superior)?

4. Com relação a uma abordagem HFCTS, o estudo da História e Filosofia da Ciência e das relações CTS é um tema relevante para a Formação dos Professores? Por favor, explique sua resposta.

Texto de resposta longa

5. A composição textual HFCTS, na forma como está apresentada, contém elementos suficientes e adequados para a compreensão e utilização da mesma por professores? Por favor, comente sua resposta.

Texto de resposta longa

6. A composição textual apresentada relaciona os aspectos HFCTS com os aspectos conceituais de Substância Química?

Texto de resposta longa

7. A composição textual "Da Substância à Nanotecnologia" (Unidade 3) apresenta potencialidade e elementos conceituais que se mostram adequados e viáveis para serem trabalhados por professores nas suas aulas? Por favor, comente sua resposta.

Texto de resposta longa

8. Por gentileza, deixe seus comentários (aspectos positivos e críticas) a respeito da composição textual HFCTS elaborada para a formação de professores de Química, e sugestões de possíveis alterações.

Texto de resposta longa

Fonte: A própria autora.

APÊNDICE C

Perfil e respostas fornecidas pelos avaliadores

Perfil dos Avaliadores da CT

Avaliador(a)	Formação Acadêmica e Exercício no Ensino
A1	Formação Acadêmica: Licenciatura em Química - Especialista em Metodologia e Didática de Ensino - Especialista em Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - Mestre em Educação - Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática. Exercício no Ensino: Química/Ensino Médio - Tempo de exercício: 25 anos ;Química e Formação de Professores/Graduação - Tempo de exercício: 30 anos; Ensino de Ciências/ Pós- Graduação - Tempo de exercício:5 anos.
A2	Formação Acadêmica: Licenciatura em Ciências e Habilitação em Química - Especialização: Metodologia e Didática e Ensino. Exercício no Ensino: Química / Ensino Médio – Tempo de exercício: 25 anos.
A3	Formação Acadêmica: Licenciatura em Matemática. Licenciatura em Química. Especialização em: Metodologia do Ensino de Matemática. Metodologia do Ensino de Química. Acadêmico do 3º ano de Engenharia de Produção - Mestrando em Ensino de Matemática. Exercício no Ensino: Matemática e Química/ Ensino Fundamental e Médio - Tempo de exercício: 10 anos.
A4	Formação Acadêmica: Bacharel e Licenciatura em Química - Mestrado em Química dos Recursos Naturais - Doutorado em Química Inorgânica. Exercício no Ensino: Química/Graduação - Tempo de exercício: 15 anos
A5	Formação Acadêmica: Licenciatura em Física - Especialização em Ensino de Física. Mestrado - Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática. Exercício no Ensino: Física/Ensino Médio – Tempo de exercício: 5 anos.
A6	Formação Acadêmica: Licenciatura em Física - Mestrado em Ensino de Ciências - Doutorado em Ensino de Ciências. Exercício no Ensino: Física/Ensino Médio – Tempo de exercício: 20 anos
A7	Formação Acadêmica: Licenciatura Plena em Ciências Biológicas - Licenciatura Plena em Química - Especialização em Educação Especial - Especialização em Práticas de Ensino em Ciências Químicas e Biológicas - Mestrado Profissional em Ensino de Ciências Humanas, Sociais e da Natureza - Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática (em andamento). Exercício no Ensino: Ensino Fundamental anos iniciais (Educação Especial) - Tempo de exercício: 10 anos - Ensino Médio (Biologia e Química) - Tempo de exercício: 16 anos

A8	<i>Formação Acadêmica:</i> Licenciatura em Química – Mestrado em Química dos Recursos Naturais. <i>Exercício no Ensino:</i> Ensino Médio e Médio Profissionalizante – Tempo de exercício: 12 anos
-----------	--

Fonte: A própria autora.

Respostas da Avaliação da Composição Textual HFCTS

Obs: Em caso de interesse pelas respostas dos avaliadores na íntegra, contatar a autora pelo endereço de e-mail: marchioliveira@yahoo.com.br.