



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

MARCELLA CRISTYANNE COMAR GRESCZYSCZYN

**ENSINO DE TEORIA ATÔMICA:
CONSTITUIÇÃO DE REDES E TRADUÇÕES EM ARTIGOS
DA REVISTA QUÍMICA NOVA NA ESCOLA**

MARCELLA CRISTYANNE COMAR GRESCZYSZYN

**ENSINO DE TEORIA ATÔMICA:
CONSTITUIÇÃO DE REDES E TRADUÇÕES EM ARTIGOS
DA REVISTA QUÍMICA NOVA NA ESCOLA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, da Universidade Estadual de Londrina – UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Sergio de Mello Arruda

Londrina
2023

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

G831e Gresczyszyn, Marcella Cristyanne Comar .

Ensino de Teoria Atômica : constituição de redes e traduções em artigos da Revista Química Nova na Escola / Marcella Cristyanne Comar Gresczyszyn. - Londrina, 2023.

106 f. : il.

Orientador: Sergio de Mello Arruda.

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. Teoria Atômica - Tese. 2. Teoria Ator-Rede - Tese. 3. Redes - Tese. 4. Traduções - Tese. I. Arruda, Sergio de Mello . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática. III. Titulo.

CDU 37

MARCELLA CRISTYANNE COMAR GRESCZYSCZYN

**ENSINO DE TEORIA ATÔMICA:
CONSTITUIÇÃO DE REDES E TRADUÇÕES EM ARTIGOS
DA REVISTA QUÍMICA NOVA NA ESCOLA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, da Universidade Estadual de Londrina – UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

BANCA EXAMINADORA

Orientador Prof. Dr. Sergio de Mello Arruda
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Hugo Emmanuel Corrêa
Instituto Federal do Paraná – IFPR/Jacarezinho

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

Prof. Dr. Thiago Queiroz Costa
Instituto Federal do Paraná – IFPR / Ivaiporã

Profa. Dra. Marinez Meneghelli Passos
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 24 de agosto de 2023.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Sergio de Mello Arruda que me aceitou como orientanda, mesmo estando com suas vagas já preenchidas, minha eterna gratidão a ele, pois me ajudou a encontrar o caminho, e realmente me ofereceu orientação neste período de tempo que trabalhamos juntos nesta tese, cumprindo com seu papel brilhantemente. Eterna gratidão também à sua esposa profª. Drª Marinez Meneghelli Passos com suas contribuições, paciência e amor, que fizeram diferença para a conclusão dessa etapa, e também á todos participantes e integrantes do grupo Educim que me acolheram solicitamente.

Um agradecimento especial ao prof. Dr. Thiago Queiroz Costa que me ajudou grandemente na construção e caminhos tomados na pesquisa, nas discussões sobre o tema, do qual compartilhávamos mesmo referencial teórico e, também pela ajuda nos momentos que passou em minha cabeça desistir. E que com prazer foi convidado a suplente da banca e acabou subindo a titular.

Agradeço imensamente a meus familiares pai, mãe e irmãos que foram minha base e apoio para entrar e poder concluir essa jornada.

Agradeço a Breno William Correa dos Santos, uma pessoa essencial e fundamental nos meus processos, esteve ao meu lado me apoiando e ajudando em quase todo o doutoramento.

Agradeço imensamente a todos que compuseram minha banca de qualificação e defesa, que contribuíram imensamente para meu trabalho de pesquisa, coloco em ordem alfabética, pois todos tiveram igual peso e importância com suas contribuições e conhecimentos são: profª. Drª. Fabiele Dias Broietti, prof. Dr. Hugo Emmanuel Corrêa, prof. Dr. João Paulo Camargo Lima (os demais foram citados acima).

Agradeço a dois amigos queridos que também me auxiliaram demais na jornada de conclusão, Jeferson Scarcelli e sua esposa Kelly Silva, me ajudando por meio de mentorias pessoais para o desenvolvimento deste trabalho, sem a ajuda deles tenho certeza que não teria chegado aqui.

Agradeço ao prof. Dr. Paulo Sérgio Camargo Filho que foi meu orientador de mestrado, e acabou se tornando um amigo na jornada, que também pude dividir algumas lamúrias do processo, e sempre me trouxe uma palavra de incentivo.

E com certeza a Deus que me capacitou para o processo do qual não saio à

mesma, mas profundamente marcada pelas experiências e evolução na caminhada de conhecimentos, pessoal, social, intelectual e espiritual.

Agradeço ainda ao prof. Dr. Moises Alves de Oliveira que permitiu minha entrada no programa de doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática quando me aceitou como orientanda, porém, no caminho nem tudo são flores e, nossos ajustes frente ao projeto e no quesito pessoal não foram possíveis, sendo necessário um rompimento nessa ligação para que o projeto pudesse ser concluído.

Agradeço ainda aos integrantes do grupo GECCE que participei no período de meados de 2018 a início de 2022, que pude ter muitas trocas fundamentais para minha pesquisa.

Agradeço por fim a CAPES, pela bolsa de estudos a mim cedida por determinado tempo e, que foi fundamental na elaboração de parte da pesquisa.

“Um cientista no seu laboratório não é apenas um técnico: é, também, uma criança colocada à frente de fenômenos naturais que impressionam como se fossem um conto de fadas.”

Marie Curie

GRESCZYSCZYN, Marcella C. Comar. **Ensino de Teoria Atômica**: constituição de redes e traduções em artigos da Revista Química Nova na Escola. 2023. 106f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

RESUMO

Essa pesquisa se inicia apresentando o tema de Teoria Quântica em um relato de sua emergência numa demonstração de parte da rede de sua constituição, que após, segue para um tema mais específico dentro do assunto de Quântica, no caso, Teoria Atômica. O tema foi escolhido com intuito de pensar a rede de artigos e seus citados, formada com objetivo de olhar para ela em um recorte do Ensino de Teoria Atômica. Para isso foi escolhido uma revista que contemplasse o assunto “Química” e se relacionasse com o “Ensino”, e a revista encontrada e selecionada foi a Química Nova na Escola (QNEsc) que possui esse viés. Com isso a intenção foi, além de identificar a rede de composição em Teorias Atômicas nos artigos da revista escolhida, também identificar traduções nesses artigos. Iniciou-se com um total de 30 artigos com o tema Teoria Atômica e, após uma análise prévia e aplicação de filtragens estabelecidas chegou-se em 6 artigos para análise das traduções. Os seis artigos possuíam em comum, além do assunto, tratar de uma proposta de ensino aplicada com resultados. Para análise, a proposta teórico metodológica, pautou-se na revisão sistemática de Okoli, além da Teoria Ator-Rede (ANT) presente na pesquisa com fim de seguir os actantes e verificar a rede e os artigos sem um juízo prévio, mas seguindo os caminhos traçados pelos autores, rastreando as redes. Como resultado, vê-se um recorte de rede estabelecida e ilustrada com artigos e seus citados, ilustrada pelo emprego dos dados no software *Gephi*, contemplando a importância da rede nas Teorias e Práticas Científicas, uma vez que o apagamento desta indica as proposições científicas como autônomas esvaziadas das associações de sua emergência, ficando a mercê de compreensões possíveis, quando na verdade existe toda uma sustentação anterior a esta, de fundamental importância para compreensão de determinado tema. Para as traduções, preestabeleceram-se três vertentes a serem olhadas, sendo elas conceitos, metodologia de ensino e teoria de aprendizagem. Em conceito tratou de tornar o saber sábio em saber ensinado, em metodologia, diversas foram as abordagens com a finalidade de reduzir a abstração do assunto e tentar torná-lo mais compreensível por meio de uso de recursos variados e, a teoria da aprendizagem que tratou de se desviar do tradicional escolhendo caminhos dos quais os alunos são precursores no aprendizado, com papel ativo. Observam-se percursos pedagógicos que vislumbram aplicações e práticas no ensino de Ciências mais ativas com atores não apenas centrado no professor movimentando o processo de ensino e aprendizagem.

Palavras-chave: Teoria Quântica. Teoria Atômica. Teoria Ator-Rede. Redes. Tradução.

GRESCZYSCZYN, Marcella Cristyanne Comar. **Teaching of Atomic Theory:** constitution of networks and translations in articles from Revista Química Nova na Escola. 2023. 106p. Thesis (Doctorate in Science Teaching and Mathematical Education) – State University of Londrina, Londrina, 2023.

ABSTRACT

The present research initially present the theme of Quantum Theory in an account of its emergence in a demonstration of part of the network of its constitution, which then moves on to a more specific theme within the subject of Quantum, in this case, Atomic Theory. The theme was chosen with the intention of thinking about the network of articles and their citations, formed with the objective of looking at it in a clipping of the Teaching of Atomic Theory. For this, a magazine was chosen that covered the subject "Chemistry" and related to "Teaching", and the magazine found and selected was Química Nova na Escola (QNEc) which has this bias. With this, the intention was, in addition to identifying the network of composition in Atomic Theories in the articles of the chosen journal, also to identify translations in these articles. It started with a total of 30 articles with the theme Atomic Theory and, after a previous analysis and application of established filtering, 6 articles were reached for analysis of the translations. The six articles had in common, in addition to the subject, dealing with an applied teaching proposal with results. For analysis, the theoretical methodological proposal was based on the systematic review of Okoli, in addition to the Actor-Network Theory (ANT) present in the research in order to follow the actants and verify the network and the articles without a previous judgment, but following the paths traced by the authors, tracing the networks. As a result, we see an established and illustrated network clipping with articles and their citations, illustrated by the use of data in the Gephi software, contemplating the importance of the network in Scientific Theories and Practices, since its erasure indicates scientific propositions as autonomous, emptied of the associations of their emergence, being at the mercy of possible understandings, when in fact there is an entire support prior to this, of fundamental importance for the understanding of a given theme. For the translations, three aspects were pre-established to be looked at, namely concepts, teaching methodology and learning theory. In concept, it tried to make wise knowledge into taught knowledge, in methodology, there were several approaches with the purpose of reducing the abstraction of the subject and trying to make it more understandable through the use of varied resources and, the theory of learning that dealt with to deviate from the traditional by choosing paths in which students are precursors in learning, with an active role. Pedagogical pathways are observed that envision applications and practices in the teaching of more active Sciences with actors not only centered on the teacher moving the teaching and learning process.

Keywords: Quantum Theory. Atomic Theory. Actor-Network Theory. Networks. Translation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo Sanguíneo das Ciências	41
Figura 2 – Apagamento da rede pela Educação Científica	45
Figura 3 – Etapas de Revisão sistemática (a) e análise temática (b)	50
Figura 4 – Rede dos artigos <i>corpus</i> e suas citações	61
Figura 5 – Ilustração da rede das citações e artigos <i>corpus</i>.....	65
Figura 6 – Desvios e defasagem da tradução	77
Figura 7 – Traduções do A01	78
Figura 8 – Traduções do A16	81
Figura 9 – Traduções do A17	84
Figura 10 – Traduções do A21	87
Figura 11 – Traduções do A25	89
Figura 12 – Traduções do A28	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Artigos constituintes do <i>corpus</i> da pesquisa.....	52
Quadro 2 – Quantidade bruta de Citações da cada artigo <i>corpus</i>	55
Quadro 3 – Quantidade de citações de artigos do <i>corpus</i> que compõe a Rede.....	58
Quadro 4 – Classificação dos artigos <i>corpus</i>	62
Quadro 5 – Artigos citação e artigos <i>corpus</i>	63
Quadro 6 – Categorização dos artigos com os elos do fluxo sanguíneo das ciências	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Quantidade de artigos por ano	57
Gráfico 2 – Representação das citações de cada artigo	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANT	Actor-Network Theory
BKS	Bohr, Kramers e Slater
ECA	Estratégia Centrada no Aluno
ECP	Estratégia Centrada no Professor
HC	História da Ciência
ID	Identity
IFPR	Instituto Federal do Paraná
ONG	Organização Não Governamental
PhET	Physics Education Technology
QNEsc	Química Nova na Escola
SSC	Sistema Circulatório da Ciência
TAR	Teoria Ator-Rede
TWA	Teaching With Analogies
UEL	Universidade Estadual de Londrina
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	16
1 INTRODUÇÃO	18
2 TEORIA QUÂNTICA: UM POUCO DE HISTÓRIA E CONCEITOS.....	20
3 TEORIA ATOR-REDE (ANT).....	33
3.1 FLUXO SANGUÍNEO DA CIÊNCIA	39
3.2 EDUCAÇÃO CIENTÍFICA: UM OLHAR PARA O FLUXO SANGUÍNEO.....	43
4 PROPOSTA TEÓRICO METODOLÓGICA	47
4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	47
4.2 COLETA E ANÁLISE DE DADOS	49
4.3 CORPUS DA PESQUISA	51
5 REDES, RELAÇÕES E INTERAÇÕES	57
5.1 CONSIDERAÇÕES RELEVANTES DO CORPUS DA PESQUISA	57
5.2 FLUXO SANGUÍNEO ADAPTADO X ARTIGO CORPUS.....	66
5.3 TRADUÇÕES DOS ARTIGOS CORPUS	75
5.1.1 Artigo A01 – Concepções Atomistas dos Estudantes.....	77
5.1.2 Artigo A16 – Uma Abordagem Problematizadora para o Ensino de Interações Intermoleculares e Conceitos Afins.....	80
5.1.3 Artigo A17 – Palavras Cruzadas como Recurso Didático no Ensino de Teoria Atômica	83
5.1.4 Artigo A21 – <i>Softwares</i> de Simulação no Ensino de Atomística: Experiências Computacionais para Evidenciar Micromundos	86
5.1.5 Artigo A25 – Ensino de Modelos para o Átomo por meio de Recursos Multimídia em uma Abordagem Investigativa	89

5.1.6	Artigo A28 – Análise do Uso da Analogia com o “Pudim de Passas” Guiado pelo TWA no Ensino do Modelo Atômico de Thomson: Considerações e Recomendações.....	91
5.4	CONSIDERAÇÕES.....	94
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
	REFERÊNCIAS.....	100

APRESENTAÇÃO

Minha relação com a docência aconteceu 8 anos após a finalização do curso de graduação de Química Industrial (Bacharel e Licenciatura). Os primeiros 8 anos após o término da graduação foram dedicados à indústria química, à qual tenho imensa gratidão pelo aprendizado. O ingresso na docência ocorreu de início para um público do curso de Ensino Superior no mesmo local em que me formei, com a diferença de que na minha época de acadêmica a universidade era Universidade Norte do Paraná (Unopar) apenas, e posteriormente foi adquirida pelo grupo Kroton. Quando iniciei na docência (2015), portanto, posso dizer que foi pela Kroton Educacional, e, posteriormente, vieram outras experiências, mais para o currículo.

Diante dos desafios enfrentados em sala de aula percebi a necessidade de aperfeiçoamento, foi quando busquei o mestrado com esse fim. Isso se deu em 2016, quando fui aprovada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Londrina, no programa de Ensino de Ciências da Natureza.

Um leque de conhecimentos se abriu à minha frente, e como eu sempre gostei de estudar não quis parar por aí, finalizei o mestrado em 2017, e em meados de 2018 iniciei o doutorado pela Universidade Estadual de Londrina. Mais uma parte do sonho estava se realizando. Mas foi engraçado, muitos me desejaram sorte, outros saúde... outros pêsames. Achei um pouco cômico por não ser um parabéns, e hoje eu comprehendo que essa jornada não é uma jornada tão simples, pode até parecer e realmente ser para uns ou outros, mas isso não irá depender única e exclusivamente da vontade do discente enquanto orientado, mas também da relação com seu orientador com o qual será necessário uma convivência de aproximadamente quatro anos, faça chuva ou faça sol, como se diz em votos por aí, na saúde ou na doença, na alegria e na tristeza.

No início tudo é muito empolgante e todo o conhecimento das disciplinas é energizante, as trocas com diversos professores, que só vinham a somar ainda mais a pungência do amor pelo ensino. E sim, é isso, são quatro anos dedicados à pesquisa, que requer abrir mão de muitas coisas, e que no fim é gratificante por todas as vivências, experiências e trocas alcançadas.

No mestrado tracei um caminho pelas tecnologias, semiótica e um pouco de *affordance*, temática essa que não foi sequenciada no doutorado, que seguiu para um rumo relativamente diferente, Teoria Ator-Rede, redes, humanos, não humanos,

traduções, mas que não deixam de ter relações entre si, quando compreendidas em profundidade.

O caminho trilhado até aqui não foi suave e fácil, tiveram momentos incríveis, mas momentos de solidão e dúvida, e todos eles contribuíram para que eu me tornasse uma pessoa melhor em vários aspectos, inclusive mais forte, tive momentos em que pensamentos de desistir vieram à minha mente, mas fui resiliente, afinal não gosto de perder tempo, não concluindo projetos iniciados.

Assim, me construí, me desconstruí e estou me reconstruindo novamente com a finalização dessa etapa. Se virão outras próximas etapas ainda é cedo para pensar, só sei que estudar está em meu DNA, e entregar resultados aos alunos que leciono me traz alegria de melhorar cada dia mais.

Quero ressaltar ainda, que no processo de desenvolvimento desta pesquisa a mesma sofreu alterações bruscas, ocasionando a troca de orientação e, necessidade de prorrogação de prazo para que pudesse ser reconstruída em um prazo de 12 meses. E, em meio a vários percalços, e com orientação de outro professor que solicitadamente me acolheu, a pesquisa foi desenvolvida e concluída.

1 INTRODUÇÃO

A Quântica pode ser considerada uma das realizações intelectuais no século XX, e tem sido colocada como base de conceitos que possibilitou a compreensão da Química de uma forma mais aprofundada que a existente anteriormente. O impacto dessa teoria na Química pode ser visto pelas implicações práticas em ramos diversos, tais como espectroscopia, microscopia eletrônica, modelagem molecular entre outras (ARROIO *et al.*, 2005).

Contudo, a Quântica possui característica intrínseca que a faz complexa para seus estudantes, que é a necessidade de compreender conceitos abstratos, que em sua maioria não são intuitivos. Além das dificuldades apresentadas por esses estudantes em disciplinas básicas como Álgebra, Geometria e Cálculos Matemáticos, dificultando o entendimento dos conteúdos de Quântica, que naturalmente se relacionam a esses citados.

Como fator agravante observa-se a não discussão desses temas com suas diversas aplicações nas diferentes áreas, e assim os alunos apresentam dificuldades maiores de compreender a quântica e estabelecer relações com fenômenos da vida cotidiana, que ficam apenas no trato de dimensões verbais e textuais.

Dessa forma, elaborar novas propostas de ensino, propostas alternativas ou criar maneiras de ensinar, que visam reduzir a abstração dos conceitos aos alunos, no âmbito deste tema, faz-se importante para auxiliar os alunos no domínio dessa área.

Assim, emerge a questão de pesquisa é: De que forma é possível identificar e caracterizar a rede arregimentada no Ensino de Química no que tange a Teoria Atômica na Revista Química Nova na Escola, e quais traduções podem ser tipificadas nesse estudo?

Deste modo, estabeleceram-se alguns objetivos a serem trabalhados dentro do problema especificado, que são o levantamento dos artigos com a temática proposta; identificação da rede de citações dos artigos por meio do Google Acadêmico e, demonstrar essa rede dos artigos e seus citados; analisar os artigos utilizando a ANT e identificar traduções.

Em outras palavras, de forma a simplificar o problema, pode-se dizer que a intenção é identificar a rede formada por artigos com o tema Teoria Atômica, partindo de artigos encontrados na Revista Química Nova na Escola, estabelecer a

rede e os artigos que citaram esses, na sequência investigar a evolução de possíveis traduções presente nesses artigos, com base na compreensão da teoria ator-rede, e, dessa forma, analisar a rede que se constitui nessa conjuntura com olhares para os desdobramentos advindos dessa rede.

Para isso, a pesquisa em questão segue dividida em capítulos nos seguintes moldes, o capítulo 2 (o próximo) aborda um pouco de História de Química Quântica quando de sua pesquisa e instituição com viés para Teoria Atômica de forma a mostrar (um recorte) de movimentos para emergência de uma teoria científica; no capítulo 3 é abordada a Teoria Ator-Rede (ANT), com conceitos e alguns caminhos de definições englobando traduções, o fluxo sanguíneo da Ciência, envolvendo ainda Educação Científica. O capítulo 4 aponta a proposta teórico metodológica pretendida, em que se traz o contexto dos caminhos empregados para que o objetivo pudesse ser alcançado, e ainda nesse capítulo tem-se o *corpus* base demonstrado, pois é a partir dele que as relações e interações são estudadas e analisadas.

Na sequência, tem-se o capítulo 5, em que se observam os possíveis movimentos de rede arregimentada no tema proposto, as possibilidades de relações existentes e interações de movimento que se pautam para a construção e determinação da rede detectada, as evoluções das publicações no tema e as possíveis traduções dentro de cada contexto de ensino.

Assim, a pesquisa se constituiu em uma investigação pautada na Teoria Ator-Rede no tema Teoria Atômica com vistas a artigos científicos enquanto representação pública da teoria científica apresentada aos leigos, com um olhar para traduções presentes nesses artigos após uma série de filtros que objetivavam selecionar os artigos para essa análise e identificação de traduções, considerando a importância da rede que compõe e sustenta as proposições científicas antes que essas se tornem autônomas e sejam apresentadas ao público na Educação Científica.

2 TEORIA QUÂNTICA: UM POUCO DE HISTÓRIA E CONCEITOS

Neste capítulo são apontados alguns aspectos histórico-conceituais sobre a temática de Teoria Quântica que facilitam e auxiliam na compreensão do movimento dos primórdios de sua emersão. Não será uma referência contextual com o intuito de buscar uma completa explanação que englobe os amplos caminhos percorridos na emergência da Teoria Quântica no final do século XIX, e, sendo assim, a pesquisa também não estará pautada especificamente na interpretação de Heisenberg sobre o início da teoria, mas em pontos considerados importantes no contexto desta, de um modo abrangente e holístico, ou seja, um panorama dos principais encadeamentos conceituais que dizem respeito ao seu despontamento e alguns desdobramentos nessa linha.

Quando se pensa em Teoria Quântica, caso fosse pedido para fazer uma definição a respeito da(s) fundamental(ais) característica(s) dessa teoria, que tipo de respostas poderiam ser esperadas. Ou, como Pessoa JR. (2005, p. 1) indica, se um indivíduo for sugestionado a expor sua opinião diante da pergunta “Qual a essência da física quântica?”, fica a dúvida... será que a resposta seria unânime? A pessoa que suscita este tipo de diálogo e se aventura no enfrentamento desta indagação, possivelmente se colocará diante de um cenário alternativo de possibilidades plausíveis, todas com vasta margem de respaldo diante do amplo campo de possibilidades críveis (PESSOA JR., 2005).

Por exemplo, pode ser, como listado por Pessoa JR. (2005): a presença de quantidades discretas, como os pacotes de energia contemplados por Planck; pode-se demonstrar a função da probabilidade, que aponta o caráter indeterminista aos fenômenos quânticos; o princípio da incerteza de Heisenberg, em que posição e o momento de uma partícula (por exemplo, o elétron), são indeterminados de forma simultânea com precisão absoluta; ou ainda, existe possibilidade de assinalar a função que o observador assume que não deve ser separado do objeto que está sendo observado; o paradoxo do gato de Schödinger; as grandezas que não cambiam, não havendo possibilidade de determinar posição e momento da partícula; o teorema de Bell, que fala da distinção absoluta da física quântica e clássica; a constante de Planck, usada para indicar a energia e frequência das radiações eletromagnéticas; a dualidade onda-partícula (PESSOA JR., 2005).

Nota-se uma diversidade de vias caracterizadoras para a Teoria Quântica, e para esta pesquisa em questão será abordada a que aufera a dualidade onda-partícula como ponto de partida fundamental dos fenômenos quânticos, e isso se deve ao fato da convicção de que a dualidade onda-partícula abriga os “mistérios” da matéria, no sentido de que seja a indicação de um traço ontológico totalmente relacionado à natureza quântica, como poderá ser observado no decorrer dos escritos que seguirão. É sobre uma convicção, baseada na perspectiva metodológico-expositiva, que enseja um substrato ontológico com capacidade de se colocar em condição de fio condutor da maneira como o problema da objetividade¹ se constitui e se revela no pensamento de Heisenberg. Assim, serão postas na sequência algumas etapas do despontamento da teoria quântica, etapas mais intrinsecamente relacionadas ao “paradoxo onda-partícula”, como sugerido anteriormente.

Em 14 de dezembro de 1900, o físico alemão Max Karl Ludwig Planck (1858-1947), melhor conhecido como Max Planck, levou à Academia de Ciências de Berlim um artigo com o intuito de desvendar o fenômeno conhecido como radiação do corpo negro, e que colocava em cheque a compreensão da comunidade dos físicos da época (PLANCK, 1901; PESSOA JR., 2005).

Max Planck se debruçava em estudos que o levassem a uma sentença matemática capaz de descrever de forma assertiva os dados experimentais relativos às baixas e às altas frequências de um corpo térmico, que emite radiação eletromagnética quando aquecido, a partir dos estudos realizados em torno da radiação do corpo negro (PALANDI *et al.*, 2010; DANTAS, 2005).

Assim, os relatos que Studart (2010) apresenta em seu livro sobre Max Planck, dizem que no dia 07 de outubro de 1900, Planck recebeu em sua casa um físico experimental do Instituto Imperial Físico-Técnico, no caso, seu amigo Heinrich Rubens (1895-1922), que discorreu sobre seus resultados progressos acerca da radiação do corpo negro, resultados esses que refutavam a teoria de Wilhelm Wien, com a qual Planck estava de comum acordo. Studart (2010) relata ainda que na mesma noite em que Planck recebeu a visita, ele escreve um cartão-postal para o próprio Rubens, no qual havia uma nova fórmula “originada de uma fortuita

¹ Para melhor compreender objetividade, neste contexto aplicamos como “problema” em que a resposta é o objeto desse problema. É como uma categoria na qual se anuncia de forma abstrata e concisa o problema referente aos constituintes últimos da natureza em geral, ou o problema dos constituintes últimos dos fenômenos quânticos, no caso de Heisenberg (CABRAL, 2019).

conjectura numa interpolação” (STUDART, 2010, p. 14), ou seja, com previsão de dados empíricos para altas e baixas frequências de radiação. Dias depois seu amigo Rubens responde, informando que a fórmula enviada por Planck se encaixava primorosamente aos dados experimentais de que havia alcançado. Emergia, então, por meio da troca de ideias e, principalmente, correspondência entre cientistas amigos e colaboradores, o início de um novo tempo no campo da teoria quântica (STUDART, 2010).

Na sequência, Planck dedica esforços a encetar à fórmula o seu significado físico de forma verdadeira, e foi o que fez e publicou seu trabalho em 14 de dezembro do mesmo ano, meses após o diálogo e troca de cartas com seu colega Rubens, relatando ser esse o trabalho mais extenuante de sua vida, introduzindo a expressão *quantum* de energia pela primeira vez, galgando no desmontar da teoria quântica (STUDART, 2010).

Após anos de tentativas das quais muitas foram malsucedidas, a hipótese ponderada por Planck foi considerar, de forma revolucionária, e quase que num ato de desalento, a energia como não contínua, e formada de um agrupamento de partes menores ou pequenos pacotes (STUDART, 2010).

Planck desafiou os cientistas da época, dizendo que a energia não podia ser vista como onda eletromagnética contínua e ininterrupta, que se propaga pelo espaço como era do entendimento de todos, mas considerava um agrupamento de pequenas quantidades ou pacotes mínimos de energia, e por isso a denominação de *quantum* de energia, em referência ao termo grego que significa quantidade (STUDART, 2010).

Diante dessa consideração, um grande dilema é instaurado, pois Planck ia contra a compreensão da comunidade dos físicos a respeito de a energia ser de natureza contínua e ondulatória, do qual havia respaldo pela teoria de James Maxwell e suas equações (STUDART, 2010).

Após algum tempo de buscas por meios alternativos para a questão da radiação do corpo negro, Planck resolve inferir a hipótese da presença de partículas de vibração nos sólidos, em que partiu do pressuposto de que tinha a capacidade de absorver e emitir luz. Essa inferência o levou a acreditar que as energias contidas nessas partículas dos sólidos estavam divididas em quantidades mínimas, os *quantum* de energia (MARTINS, 2010). Planck só percebeu que seu trabalho tratava de uma vertente relevante no entendimento dos fenômenos naturais um tempo

depois de suas considerações e publicações (MARTINS, 2010).

Os grupos científicos, ainda no início do século XX, não levaram em consideração a hipótese da quantização da energia de Planck. Mas, um tempo *a posteriori*, passaram a considerar tal fato, obtendo assim amplo respaldo da comunidade acadêmica, no quesito comprovação empírica. Apesar de objetar a uma admissão definitiva, Planck aguardava o despontar de uma elucidação intercorrente que adequaria sua evidenciação com a eletrodinâmica clássica. Apenas em 1905 surge a nova, um artigo publicado por um físico alemão, Albert Einstein (1879-1956), vinha corroborar suas hipóteses e agregar evidências ao trabalho de Planck, de modo a afetar a comunidade científica categoricamente (MARTINS, 2010).

Einstein sugere uma teoria simples e elucidatória, revolucionando o “efeito fotoelétrico” no ano de 1905. A teoria baseia-se na incidência da luz em uma chapa metálica, que resulta na remoção de elétrons integrados na chapa por meio da incidência. Assim surgem os questionamentos: por que os elétrons eram removidos da chapa? Existe explicação para ação da luz sobre os elétrons? Refere-se como em Planck, uma situação incomum frente aos conceitos clássicos que se sustentavam até então, a datar de Maxwell, a luz e os demais modelos de radiação eletromagnética (fenômeno ondulatório) e a explicação da luz como fenômeno corpuscular, postulado por Einstein. A partir dessa constatação do trabalho de Einstein, publicada em 1905, emerge o dualismo onda-partícula como o fenômeno mais provocante para o entendimento da nova teoria quântica (MARTINS, 2010).

Einstein apresenta uma proposta em seu famigerado artigo publicado em 1905, que é tenuamente diversa da hipótese de partida de Planck no início de suas pesquisas, embora as duas culminem em resultados praticamente idênticos, com minúsculas distinções, como nas formulações matemáticas das equações. Einstein canaliza seu interesse na própria luz, que representa um formato de radiação eletromagnética, diferente de Planck, que focou na energia eletromagnética. Assim, para Einstein, a luz era formada de partículas diminutas, como “átomos de luz”, ou quantum de luz. Einstein interpela, fundamentalmente, em seu artigo questões de como ou por que a luz tinha que ser encarada como uma onda eletromagnética contínua com capacidade de espalhamento pelo espaço, e não poderia proceder de forma não contínua e circunspecta, como constituída de um conjunto de partículas, ou quanta de luz, já que a própria matéria (como o átomo), não é contínua e composta por unidades? (MARTINS, 2010).

Ele ainda sustenta uma teoria corpuscular para a luz, pois ela era eficiente para explicar determinados fenômenos dos quais a teoria ondulatória de Maxwell não contemplava, criando aversão à ideia contemplada no eletromagnetismo, a respeito da existência de uma substância à qual chamaram de éter, e atuava como meio absoluto por onde as ondas eletromagnéticas se moveriam no espaço, ou seja, um elemento invisível que atuava como suporte para as ondas eletromagnéticas se deslocarem no espaço, e isso não era plausível para Einstein. Por esse motivo o jovem cientista volta esforços para a teoria corpuscular da luz com a qual mostra que determinados fenômenos relacionados à luz não tinham condições de ser explicados pela teoria ondulatória de Maxwell (MARTINS, 2010).

A proposta de Einstein era prevista pela hipótese de a luz ser composta por um acumulado de pontos de energia, e caso a suposição fosse verdadeira, cada ponto de luz colidiria com um elétron da placa metálica, disseminando energia por meio do choque. Se a energia ali presente fosse elevada, poderia acontecer a remoção do elétron da placa, e em caso de a energia não ser tão elevada, o elétron continuava em seu devido lugar. Uma experiência realizada por Robert Millikan, dez anos após a publicação de Einstein sobre o efeito fotoelétrico, veio a confirmar a suposição do cientista e a eficiência de sua equação proposta (MARTINS, 2010, p. 25).

A repercussão dos trabalhos de Einstein tomaram proporções internacionais, as quais os espectadores dessa teoria quântica buscavam mais por curiosidade, com algum ceticismo, uma vez que essa teoria contrapunha os conceitos clássicos de Maxwell (MARTINS; ROSA, 2014), e que admitia a luz em uma perspectiva ondulatória, e, de outro lado, pelas características inerentes a ela, ora ondulatórias, ora corpusculares da luz e demais formas de radiação. Situação complexa explicar que determinados episódios ópticos (difração e interferência) tinham um tipo de comportamento ondulatório para a luz e outros, como o efeito fotoelétrico, tomavam um caminho corpuscular, como Einstein afirmava. O fato trouxe discordâncias entre os cientistas e acarretou certo incômodo para a Ciência que intuía explicar a totalidade dos fenômenos. A dualidade partícula-onda ocasionou tantas divergências, que Jammer (1966) diz:

Uma decisão entre as duas teorias sobre a natureza da radiação competidoras não poderia ser forçada. Para a interpretação dos processos ópticos que envolviam a interação entre luz e matéria, a

visão quântica corpuscular parecia indispensável, ao passo que fenômenos como a interferência e a difração pareciam requerer o aparato conceitual da teoria ondulatória da luz. Este estado de coisas foi bem caracterizado por Sir William Bragg, quando ele disse estarem os físicos usando, segundas, quartas e sextas, a teoria clássica, e terças, quintas e sábados, a teoria quântica da radiação (JAMMER, 1966, p. 165).

Com intuito de esclarecer o cenário, que até então se compunha em uma dualidade onda-partícula, em que se entendia como partícula segundo a hipótese de Planck e Einstein, e também era reconhecida como fenômeno ondulatório, conforme o postulado clássico de Maxwell, esforços foram empregados e numerosos trabalhos desenvolvidos na década de 1920, no propósito de resolver a questão e entender as contradições encontradas na teoria quântica, sobretudo no quesito dualidade entreposta (MARTINS; ROSA, 2014).

No repertório de investidas para perpassar a contradição a respeito da dualidade instaurada, alguns trabalhos obtiveram destaque, um deles apresentado no ano de 1924 levou o nome de teoria BKS, devido a seus autores, Bohr, Kramers e Slater, assunto discorrido no próximo parágrafo. Outro, formulado por Louis de Broglie (1892-1987), apresentado no mesmo ano de 1924, buscava sobrepujar o dualismo partícula-onda e para isso defendia que a matéria apresentava, sincronicamente, comportamento corpuscular e ondulatório (MARTINS; ROSA, 2014).

Niels Bohr, juntamente com Hendrik Anton Kramers e John Clarke Slater, propõe em janeiro de 1924 uma teoria alternativa, chamada de teoria BKS, devido às iniciais de seus autores (DANTAS, 2005). Essa teoria tinha o intuito de solucionar a contradição da dualidade instituída, admitindo a característica insurgida até então sobre partícula-onda como vertente fundamental da teoria quântica, e outro fator justaposto nessa teoria aponta que se considerarem as ondas inerentes ao fenômeno da radiação, elas não representariam a realidade, isso de acordo com o aspecto clássico de uma descrição matemática correspondente a uma situação ontológica da física experimental. Contrariamente, as ondas exprimiriam a possibilidade de acontecimento de certo fenômeno. Heisenberg (2005) explica:

Eles [Bohr, Kramers e Slater] afirmaram, primeiramente, que a propagação ondulatória da luz de um lado, e sua absorção e emissão em quanta de outro, são fatos experimentais que deveriam ser a base de qualquer tentativa de clarificação. (...) Eles então

introduziram a hipótese de que as ondas tinham a natureza de ondas de probabilidade: de que elas representam não a realidade no sentido clássico, mas antes a ‘possibilidade’ de uma tal realidade. A hipótese era de que as ondas definiam a probabilidade de que, em cada ponto, um átomo que estivesse lá presente emitisse ou absorvesse um quanta (hv) de luz. Esta ideia levou à conclusão de que as leis da conservação da energia e momento não deveriam ser verdadeiras para um evento singular, mas apenas para uma média estatística. Ainda que esta conclusão estivesse incorreta (as conexões entre os aspectos ondulatório e corpuscular da radiação eram ainda mais complicadas), a tentativa de interpretação feita por Bohr, Kramers e Slater continha características importantes da interpretação posterior correta. A mais importante delas foi a introdução da probabilidade como um novo tipo de realidade física “objetiva” (HEISENBERG, 2005, p. 32).

Segundo o pesquisador Heisenberg, as teorias de Bohr, Kramers e Slater de 1924, favoreceram grandiosamente para esclarecer a teoria quântica, sendo um dos trabalhos que impulsionaram a área de forma notável, em virtude do caráter probabilístico congruente às ondas dos fenômenos ondulatórios, pelo fato de intentar uma descontinuidade com as noções clássicas de determinismo e causalidade, advindas de Isaac Newton e James Maxwell (DANTAS, 2005).

As pesquisas desenvolvidas por Bohr e seus companheiros refutavam uma conformidade com colaborações teóricas, no que se refere aos fenômenos quânticos ligados ao privilégio fidedigno aos aspectos causais e descrições deterministas, assim como possuir características fortemente interpretativas resultantes em aspectos probabilísticos, foi vastamente inspirador para Heisenberg. Este aspecto probabilístico apontado pela teoria BKS, outorga, conforme indicado por Heisenberg ao final da citação direta acima, “a introdução da probabilidade como um novo tipo de realidade física objetiva” (DANTAS, 2005, p. 32).

Ainda em 1924, Louis de Broglie desponta com sua hipótese, que consistia em conceituar a matéria (por exemplo, o elétron), simultaneamente, como partícula e onda, o que significaria em estender a abrangência do dualismo onda-partícula, que era relacionado apenas aos fenômenos da radiação (como no caso da luz) para o âmbito da própria matéria. Sendo o elétron e as demais partículas materiais integrantes da natureza possuíam, segundo de Broglie, um aspecto dual (DANTAS, 2005).

Louis se envereda por caminhos referentes a estudos de raio X, e isso foi possível em razão de seu irmão possuir um laboratório próprio, sem vínculos com

universidades no qual realizava experimentos para a comunidade de estudantes e pesquisadores, e que De Broglie utilizou para seus experimentos, culminando em atos decisivos na hipótese dualística da matéria. Concebido em 1895, o raio X tinha uma natureza inexplorada, que, de acordo com Martins e Rosa (2010, p. 46), os raios X “eram produzidos quando elétrons acelerados dentro de um tubo evacuado (tubo de raios catódicos ou tubo de Crookes) batiam em qualquer superfície sólida”.

A natureza do raio X teve um caminho inicialmente muito incerto, pois foi dado como ondas eletromagnéticas com curto comprimento de onda, e partículas eletricamente neutras, tese sustentada por alguns cientistas da época. No ano de 1907, Johannes Stark difundiu sua teoria quântica para o raio X, porém esta foi refutada por Walther Friedrich e Paul Knipping no ano de 1912, por meio de um experimento em que o raio X atravessa um cristal, e disso ocorria um padrão de interferência característico de fenômenos ondulatórios. O ápice dessa discussão se dá quando William Henry Bragg (1862-1942) ratifica que o raio X e a luz visível devem ser assimilados mediante teoria combinatória de propriedades corpusculares e ondulatória (MARTINS; ROSA, 2010).

A teoria quântica alcança patamares maiores a partir de 1924, através de De Broglie, que intenta combinar uma edição matemática em que fenômenos ondulatórios e corpusculares sejam unificados. Esse aspecto uno do paradoxo partícula-onda buscou atinar uma regulamentação ontológica para o caso das ondas de matéria. O empenho foi assentido tempos depois, quando: “A existência de propriedades ondulatórias no movimento de elétrons foi confirmada experimentalmente em 1927 por C. J. Davisson e L. H. Germer, nos Estados Unidos, e por George Paget Thompson, na Escócia” (MARTINS; ROSA, 2010, p. 46).

Tempos mais tarde,

“experimentos realizados por vários pesquisadores, com maior precisão e utilizando elétrons de alta velocidade, confirmaram que a equação [de De Broglie] era válida no domínio relativístico [para altas velocidades], ou seja, não foi apenas a aproximação clássica (de baixas velocidades) que recebeu confirmação” (MARTINS; ROSA, 2010, p. 46).

Louis de Broglie, no ano de 1929, foi laureado com o Prêmio Nobel pela comprovação experimental de suas ideias sobre as ondas de matéria, publicadas em 1924 (MARTINS; ROSA, 2010).

De Broglie, apesar de pouco proficiente às sutilidades do mundo quântico,

intentando ainda bases sólidas no aspecto matemático-formal e nexo conceitual de suas implicações filosóficas para assimilar a natureza, apresenta respostas para a hipótese partícula-onda. A teoria das ondas de matéria de Louis “ergueu uma ponta do grande véu”, segundo Einstein (MARTINS; ROSA, 2010, p. 52). Porém, não ausente das astúcias matemáticas e a carga da crítica de outros legados acadêmicos instituídos por experimentos variados. O período que precedeu a publicação de De Broglie em 1924 foi repleto de confrontos, pois em vias de diversas messes acadêmicas imbricadas de outros vieses investigativos é necessário um processo de maturação para as anteposições (MARTINS; ROSA, 2010).

Um dos embates principais, que circundavam a teoria de De Broglie, foi regido por Niels Bohr e seus companheiros, grupo este ligado a usos e costumes experimentais enlaçado com a espectroscopia, oposto ao conglomerado que Louis pertencia, que estudavam o raio X utilizando o laboratório de seu irmão. O mérito da causa que impulsionava o primeiro grupo se relacionava aos saltos quânticos ocorridos no interior das camadas atômicas, em que os elétrons circulavam de acordo com o modelo atômico proposto por Bohr em 1913 (DANTAS, 2005).

Bohr trabalhava em um modelo elaborado por ele, similar ao sistema planetário em que o núcleo do átomo correspondia ao sol, e ao redor estavam os elétrons circulando nas chamadas camadas eletrônicas, como os planetas girando ao redor do sol. Os elétrons podiam realizar o salto quântico, passando de uma camada a outra, e isso era dado como descontinuidade no mundo quântico, algo não contemplado nos estudos clássicos de Newton e Maxwell (DANTAS, 2005).

Observa-se que esforços eram empregados em estudos de descontinuidade e da dualidade onda-partícula, questões essas fundamentais da teoria quântica. Apesar de todo estudo desenvolvido por Louis de Broglie, outorgando a matéria comportamento ondulatório e corpuscular, o cientista se enveredou por questões matemáticas, mas no que concerne à ondulatória esse movimento acabou reprimido, suprimindo esperanças da comunidade científica e desestimulando suas tentativas a ponto de renunciar suas ideias intrínsecas em tempo *a posteriori*. E o questionamento, a despeito da descontinuidade e sua relação com a teoria das ondas de matéria do cientista, perduravam (DANTAS, 2005).

A teoria de Louis de Broglie, apesar de apresentar potencial, acabou por tomar um segundo plano no cenário quântico diante dos questionamentos do grupo de Bohr a respeito da descontinuidade explicitada nas raias espectrais na teoria da

onda de matéria de Louis de Broglie. E como o cientista não sustentou seus dados por meio do formalismo matemático, sua teoria acabou por colapsar. Heisenberg discorre sobre as inquietações entre a nova proposta teórica, formulada por Schrödinger e a recepção por parte do grupo de Bohr e Heisenberg:

Durante os primeiros meses de 1926, mais ou menos na mesma época em que proferi minha conferência em Berlim, Göttingen familiarizou-se pela primeira vez com o trabalho do físico vienense Erwin Schrödinger, que vinha abordando os problemas da teoria atômica por um novo ângulo. No ano anterior, Louis de Broglie, na França, chamara a atenção para o fato de que o estranho dualismo onda-partícula, que na época parecia impedir uma explicação racional dos fenômenos da luz, poderia estar presente no comportamento da matéria (por exemplo, dos elétrons). Schrödinger levou essa ideia mais longe, e, com uma nova equação de ondas, formulou a lei que rege a propagação das ondas materiais sob a influência do campo eletromagnético (HEISENBERG, 2011, p. 88).

Para fins de esclarecimentos, nesse trecho com palavras de Heisenberg, mais especificamente quando ele afirma que “Schrödinger levou essa ideia mais longe”, o termo “essa ideia” está se referindo à ideia de Louis em associar o comportamento ondulatório e corpuscular na teoria de ondas de matéria, em que os elétrons representam a parte corpuscular aduzida pela onda eletromagnética.

O modelo apresentado por Schrödinger foi baseado no de Louis de Broglie, porém com alguns diferenciais, e talvez como mais significativa pudesse citar a exclusão da ideia de a matéria ser conduzida por uma onda. Schrödinger também realizou um ampliamento no emprego de ondas simples para sistemas mais amplos apoiado em questões matemáticas. Ele adotou um agregado de ondas constituindo uma esquematização de oscilação tridimensional ao redor do núcleo atômico (MARTINS; MACHADO, 2010).

Schrödinger publica dois artigos no ano de 1925, no segundo ele traz que as órbitas dos elétrons ao redor do núcleo (ponto de vista de Bohr 1913, e defendida por De Broglie) não fazem mais sentido, implicando em uma nova conformação na ideia de matéria, se pautando na conceituação de onda, de maneira que aquilo denominado de matéria corpuscular (elétron, por exemplo) fosse considerado nessa teoria como matéria ondulatória, em outras palavras, assumir o elétron como uma onda, e em aspectos matemáticos demonstrar a objetividade material como um grupamento de ondas disseminadas pelo espaço, com frequências próximas, compreendidas em uma região muito próxima (MARTINS; MACHADO, 2010).

Há pouco foi citada a afirmação de Heisenberg que diz: “Schrödinger levou essa ideia mais longe”, em que a ideia, referenciada por Heisenberg, é a ideia das ondas de matéria de Louis de Broglie. Conforme visto até o momento pela pequena digressão tecida, é possível responder por que Heisenberg fez essa afirmação que Schrödinger levou a ideia de De Broglie mais longe (HEISENBERG, 2011).

Vale ressaltar duas situações fundamentais no auxílio da compreensão da posição de Heisenberg, para elaborar uma resposta aceitável à pergunta acima: em primeiro lugar, é necessário lembrar que, na teoria de Louis de Broglie, a matéria – como o elétron – era “conduzida” por ondas eletromagnéticas (a ideia de “ondas de matéria”), e tais ondas de matéria circulavam em torno do átomo; e, em segundo lugar, que este feito não era considerado na teoria de Schrödinger, visto que, segundo dito há pouco, o que ocorre, na mecânica ondulatória de Schrödinger, é uma área composta apenas por ondas que se transladam ao redor do átomo. Observa-se o relato de Heisenberg (2011, p. 88):

Mas a interpretação física do esquema matemático [da teoria de Schrödinger] trouxe-nos graves problemas. Schrödinger acreditava que, associando partículas e ondas materiais, havia descoberto um meio de eliminar os obstáculos que por tanto tempo vinham dificultando a compreensão da teoria quântica. Segundo ele, essas ondas materiais eram plenamente comparáveis a processos que se desenvolviam no espaço e no tempo, como as ondas eletromagnéticas ou as ondas sonoras. Ideias obscuras como saltos quânticos e coisas parecidas, desapareceriam por completo. Eu não tinha confiança numa teoria que contrariava nossa concepção de Copenhague, e fiquei perturbado ao ver que inúmeros físicos saudavam precisamente essa parte da doutrina de Schrödinger com um sentimento de liberação.

Como resposta à pergunta acima, afirma-se que, conforme Heisenberg, Schrödinger conseguiu “eliminar os obstáculos que por tanto tempo vinham dificultando a compreensão da teoria”. Esse “episódio a mais” de Schrödinger em relação a De Broglie, ocorreu, portanto, pelo fato de Schrödinger ter suprimido as “ideias obscuras de saltos quânticos e coisas parecidas”. Até então essas indagações poderiam ser compreendidas como comentários triviais de Heisenberg, a questão é que as concepções obscuras de saltos quânticos e coisas semelhantes, referidas por Heisenberg, compõem a centralidade do entendimento dos fenômenos quânticos, segundo o grupo de Bohr e do próprio Heisenberg. Neste sentido, é preciso atentar para a esclarecedora observação de Heisenberg (2011, p. 89):

Ao longo dos anos, as muitas conversas que eu tivera com Niels Bohr, Wolfgang Pauli e outros tinham-me convencido de que é impossível construir um modelo descritivo espacotemporal dos processos atômicos – o elemento descontínuo que Einstein havia mencionado em Berlim como traço característico dos fenômenos atômicos não permitia que se fizesse isso. Tratava-se, é claro, de uma característica negativa. Ainda estávamos longe de uma completa interpretação física da mecânica quântica, mas tínhamos certeza de que era preciso nos afastar da representação objetiva de processos no espaço e no tempo.

O núcleo do entendimento dos fenômenos atômicos do grupo de Bohr, e que Heisenberg pertence, consistiu em anuir a não possibilidade da construção de um modelo descritivo espacotemporal dos processos atômicos, exatamente pelo motivo de a descontinuidade ser ponto decisivo desses mesmos processos – assim como o paradoxo onda-partícula – com o fato agravante de que a descontinuidade não aceita a concepção de qualquer modelo descritivo espacotemporal dos processos quânticos. Admitindo-se a existência da descontinuidade, enquanto aspecto importante dos processos atômicos, segundo Heisenberg, como ajuda para a interpretação do próprio Heisenberg em relação ao modelo descritivo de Louis de Broglie, e o modelo de Schrödinger.

Com relação a Louis de Broglie, afirma-se que mesmo sua teoria abrigando lugar para a descontinuidade – visto que as ondas de matéria orbicular ao redor dos núcleos atômicos, e com possibilidade de “saltar” dos orbitais eletrônicos entre si (preservando o elemento da descontinuidade intrínseco ao processo do “salto”), De Broglie se enganou justamente na proposição de um modelo descritivo, visto que, de acordo com Heisenberg, não é possível a construção de um modelo descritivo espacotemporal em razão da descontinuidade. Lembrando aqui que, conforme Osvaldo Pessoa Jr., De Broglie não assume saltos quânticos em seu modelo, o que pode ser equivocadamente entendido no texto.

No tocante a Schrödinger, o que acontece, para Heisenberg, tem seus agravantes, uma vez que em seus estudos de mecânica ondulatória a descontinuidade não é contemplada, de maneira que tal fenômeno não é abrangido nos processos quânticos. Essa negativa da descontinuidade, por Schrödinger, resultou em uma inquietação a Heisenberg diante das ideias de Schrödinger na comunidade científica, consequência da publicação dessas ideias. Neste sentido, Heisenberg faz a seguinte afirmação:

A interpretação de Schrödinger – foi essa a sua grande novidade – negou a existência dessas descontinuidades. Quando um átomo passava de um estado estacionário para outro, já não se dizia que ele alterava subitamente sua energia e radiava a diferença sob a forma de quanta einsteinianos de radiação. A radiação resultava de um processo muito diferente, a saber, da excitação simultânea de duas oscilações materiais estacionárias, cuja inferência dava origem à emissão de ondas eletromagnéticas. Essa hipótese pareceu-me ousada demais para ser verdadeira. Reuni todos os argumentos ao meu alcance para mostrar que as descontinuidades eram uma característica autêntica da realidade, por mais inconveniente que isso fosse. O argumento mais simples, é claro, era a fórmula da radiação de Planck, de cuja exatidão empírica ninguém podia duvidar, e que, afinal, levava Planck a seus quanta de energia discretos (HEISENBERG, 2011, p. 89).

Pretendendo uma tratativa mais cativa no tocante às ideias de Schrödinger, Heisenberg se familiarizou com o novo formalismo do físico vienense e, de usufruto de um manuscrito que desenvolveu um estudo de caso para o átomo de hélio, fez uso do formalismo de Schrödinger e seguiu para Munique a fim de assistir à palestra de Schrödinger. O resultado não correspondeu às expectativas, tendo Heisenberg ficado eremítico na plateia frente ao êxito das demonstrações da nova teoria. Inconformado, contou sua frustração a Bohr, que convidou Schrödinger a visitá-lo em Copenhague. Após grandiosos debates ocorrerem, Heisenberg amplificou a convicção da importância de tentar compreender ontologicamente os fenômenos quânticos: “Nos meses seguintes [à conversa de Bohr com Schrödinger] a interpretação física da mecânica quântica foi o tema central de todas as conversas entre mim e Bohr” (HEISENBERG, 2011, p. 93).

Com a descrição apresentação por meio de um levantamento de arregimentações e associações de interesses, curiosidades, experimentos, debates pode-se ter uma noção dos caminhos necessários e complexos para que uma teoria científica possa emergir. Ela não surge simplesmente de um experimento ou uma determinação, mas é desenvolvida por meio de vários interesses e contestações, e muito estudo, testada, contrariada até que toma vida.

A intenção ao contar um pouco de história é justamente apresentar essas proposições adversas que dão origem a proposição científica, lembrando que aqui foi feito apenas um recorte de um todo muito maior. Assim, compreendendo esse movimento que precede o surgimento das teorias científicas, o capítulo seguinte aborda sobre a teoria ator rede que trata dessas associações e arregimentações.

3 TEORIA ATOR-REDE (ANT)

Neste capítulo são abordados conceitos da ANT de forma a compreender seus movimentos, associando ainda ao fluxo da ciência apontado por Latour, com vistas a Educação Científica contemplando a importância das redes de constituição de teorias científicas para que a compreensão destas, enquanto saber ensinado, seja possível e sustentável aos leigos e a opinião pública.

Ao olhar para essa descrição histórica dos fatos realizada no capítulo anterior, claro que algumas partes não foram totalmente relatadas, mas de acordo com o que foi possível levantar, observa-se uma arregimentação de rede, cientistas e teorias, que envolveu a teoria atômica dos modelos atômicos, que serviram e servem de base para outros conteúdos e temas da quântica. A rede descrita neste relato possui seus actantes, e se movimentou de forma a gerar as caixas-pretas de conteúdos que são aplicados no ensino atualmente.

Para fins de esclarecimentos, entende-se caixa-preta como o resultado da interação de atores numa mesma rede: se a sentença principal sofreu uma modalização positiva, ela se tornou um fato concreto e a caixa se fecha, caso contrário, ela é descartada (LATOUR, 2000). Segundo Latour:

A expressão caixa-preta é usada em cibernetica sempre que uma máquina ou um conjunto de comandos se revela complexo demais. Em seu lugar, é desenhada uma caixinha preta, a respeito da qual não é preciso saber nada a não ser o que nela entra e o que dela sai [...] Ou seja, por mais controvertida que seja sua história, por mais complexo que seja seu funcionamento interno, por maior que seja a rede comercial ou acadêmica para sua implementação, a única coisa que conta é o que se põe nela e o que dela se tira (LATOUR, 2000, p. 14).

Assim veem-se pessoas, laboratórios, escritos, conversas, experimentos, relações, relações sociais, financiamento, laboratórios, artigos, atores, humanos e não humanos, todos os envolvidos por meio de relações ou alianças em uma rede que foi sendo desenvolvida e construída nessa teoria.

Para melhor compreender essa colocação, é preciso compreender a Teoria Ator-Rede (TAR) ou *Actor-Network Theory* (ANT), (nesta pesquisa adotamos ANT), que é descrita como a sociologia das associações (LATOUR, 2012), uma vez que seu desejo é analisar as associações que se estabelecem entre atores humanos e não humanos. Entendida de forma geral “[...] como uma perspectiva sociológica que pretende mostrar de que maneira o social é construído no próprio ato de desenvolvimento da Ciência, do mercado e da inovação” (DANGUI, 2022, p. 25).

Partindo de Latour e Woolgar (1979), no livro “A vida de laboratório: a produção dos fatos científicos”, que derivam de um estudo etnográfico no Instituto Salk e analisam cada membro do laboratório frente ao desenvolvimento de suas funções, interações, escritos, pesquisas, operação de equipamento, trocas com os técnicos, resultados, etc, desenvolvem conceitos e terminologias próprias entendendo o laboratório como um sistema de inscrição literária, que produz enunciados científicos, construindo fatos e verdades científicas.

Sendo o laboratório um sistema de inscrição literária, sua finalidade se dá em convencer que um enunciado é um fato. Nessa perspectiva o fato é aquilo que se inscreve (ou escreve) em um artigo (LATOUR; WOOLGAR, 1997). E, inscrição, é “[...] termo geral referente a todos os tipos de transformações que materializam uma entidade num signo, num arquivo, num documento, num pedaço de papel, num traço [...]” (LATOUR, 2017, p. 362), como exemplo disso, pode-se citar que em uma pesagem de amostras, a balança é o inscrito e o que é anotado é a inscrição.

Esse sistema descrito (amostras, inscrição e inscrito), é chamado de *performance*, e descrevem o mundo real, e, em uma determinada articulação de um tema, se compõem, e os argumentos passam a constituir os enunciados (DANGUI, 2022). Latour e Woolgar (1997) propõem etapas enunciativas passíveis de o enunciado perpassar, de forma a compreender um fato, ou uma caixa preta ou, se transforme em ficção.

Sendo a construção dos fatos científicos, consolidada ao ser debatida e, assim, adquire *status* de realidade à medida que seja desnecessário citar a obra em que o conceito foi inicialmente compreendido, se tornando caixa preta. Para Latour (1987) o interesse maior é desenvolver modos de estudar a ciência em construção a partir da ANT.

Até este momento é citado uma compreensão de ANT de uma primeira geração. Como citado na pesquisa de Dangui (2022), a ANT passou por três fases para seu desenvolvimento, e, contempla o período de formação (primeira geração), consolidação (segunda geração) e expansão (terceira geração).

Partindo-se para a segunda e terceira geração, retoma-se que ANT é uma abordagem sociológica, que pretende dissolver a dicotomia que existe entre a natureza e o homem, enaltecendo a importância de se investigar suas associações, as possíveis conexões e as políticas de agrupamento. Desta forma todos os atores, seres humanos e não humanos, envolvidos são considerados agentes potenciais de

transformação (LEMOS, 2013).

De acordo com Law (1999), a ANT parte da ideia de que o ator é constituído por meio do conjunto de associações que estabelece com outro ator e pelo efeito que sua atitude produz na rede sociotécnica à qual pertence. Rede esta entendida como as conexões existentes entre diferentes actantes que interferem, influenciam e até modificam o comportamento um do outro, dependendo das associações que estabelecem.

Neste mesmo sentido, Latour (2012) afirma que a importância não está apenas no sujeito (humano), ou no objeto (não humano), mas na rede de associações que eles promovem ao se relacionarem, a fim de traduzir informações transformando-as em conhecimento. Assim, na ANT, o ator, humano e não humano é denominado de actante.

Segundo Czarniawska (2009), os papéis dos actantes não são fixos, e são as associações que estabelecemos com o todo, com o coletivo, e o que resulta delas. Todos os actantes podem ser mediadores – aqueles que modificam as associações; ou intermediários – aqueles que apenas transmitem as associações sem modificá-las. Assim, dependendo da situação e da ação realizada, tanto humanos – professores e alunos - como não humanos, como as tecnologias digitais que podem assumir o papel de mediação e, desta forma, promover a aprendizagem e a construção do conhecimento, uma vez que a educação é um processo social e está em permanente construção.

Latour e Woolgar (1997) mostram que o fato científico é construído, mas, também, que a possibilidade de ser uma “construção social” está inserida em uma lógica dicotômica, pois esse “social” era, até então, considerado o mundo político e cheio de artimanhas dos humanos (a sociedade) que tentam influenciar o mundo “objetivo” dos não humanos (a natureza), o qual somente os cientistas têm acesso e são capazes de representar. Essa ideia faz parte da grande divisão entre natureza e sociedade (científico e social) que, segundo Latour (1994), foi instaurada na tentativa de marcar a modernidade.

Latour (2000) afirma, então, que a Ciência estaria fundada sobre uma prática e não sobre ideias. Em sua abordagem, a ação efetiva dos cientistas, em estreita combinação com os objetos com os quais interage, deixaria de ser vista como mero pano de fundo na produção dos fatos científicos para fazer parte do primeiro plano de observação e descrição dos pesquisadores. Para o autor, é preciso investigar

como ocorre o processo de “construção” dos fatos científicos, em seus mínimos detalhes, em cada gesto, em cada ação, dentro e fora do laboratório, com a mesma dedicada observação com que os antropólogos estudam os chamados povos “selvagens”, mostrando, assim, a construção social dos fatos e evidenciando o caráter heterogêneo das práticas científicas, nas quais não há separação entre o conteúdo científico e o contexto social (LATOUR; WOOLGAR, 1997).

É nesse momento que podemos chamar de “tudo o que acontece antes” de se formar a caixa-preta, que Latour (2000) fala de “translação” (*translation* = tradução), fazendo a análise do processo de ordenação até chegar ao ponto em que não há mais contestações, está fechada a caixa-preta: aquilo que, a despeito de toda a complexidade e controvérsia que constitui o processo, estabilizou-se como verdadeiro e indubitável (LATOUR, 2000).

Com sua “antropologia das ciências”, Latour e Woolgar (1997) estavam interessados, em última instância, em estudar a construção dos fatos nas sociedades contemporâneas. Para tal, tiveram como base o princípio de simetria generalizada, no qual tanto a natureza quanto a sociedade deveriam ser explicadas a partir de um quadro comum de análise e interpretação. Dessa forma, a natureza e a sociedade devem ser tratadas em um mesmo plano, e nunca separadamente, já que não há entre elas diferença em espécie. Não há, de antemão, o mundo das coisas de um lado, e o mundo dos homens de outro, pois ambos são efeitos de redes heterogêneas.

Com esse princípio, Latour (1994) propõe, ainda, ultrapassar a separação entre os homens e as coisas, entre os humanos e os não humanos, visto que uns só podem ser pensados em relação aos outros. Conforme explica Law (1992), quase todas as nossas interações com outras pessoas são mediadas por objetos, como telefone, internet, carta, microfone, mesmo nas relações mais íntimas.

A Teoria Ator-Rede (ANT) ou Sociologia da Tradução, incorpora outros pesquisadores, e, segundo Law (1999), parte da ideia de que entidades (humanos e não humanos) são constituídas e adquirem seus atributos por meio do conjunto de relações que estabelecem com outras entidades e, por isso, pode ser considerada uma aplicação da semiótica – uma “semiótica material” – que não privilegia a instância linguística sobre as demais (LAW, 1999). Law (2007) sugere que, em vez de falarmos de ANT, deveríamos falar de semiótica material para capturar as incertezas, as aberturas e as diversidades dos trabalhos feitos de acordo com essa

perspectiva, desde seu surgimento até meados dos anos 1990.

De acordo com Tureta e Alcadipani (2009), a ANT é uma perspectiva de análise que não parte de suposições previamente definidas a respeito de fatores sociais, econômicos ou técnicos, uma vez que possui como pressuposto a não existência de definições rígidas que possam ser aplicadas em todas as situações. Entretanto, conforme afirmam Alcadipani e Hassard (2010), a ANT também pode ser vista como uma abordagem metodológica, já que oferece um ponto de vista singular que diz respeito a uma postura do pesquisador ao ir a campo, e também oferece uma série de ferramentas analíticas para a produção de conhecimento a respeito de organizações ou outros fenômenos.

A rede, para Latour e Woolgar (1997), varia de acordo com os arranjos de relações e elementos que ocorrem. É formada pela associação, mesmo que transitória, de elementos heterogêneos e não possui vida própria, independente das relações (LATOUR, 2005). “Ao invés de simplesmente carregar efeitos sem transformá-los, cada ponto da rede se transforma numa bifurcação, um evento ou origem de uma nova translação” (LATOUR, 2005, p. 128).

A noção de ator, que provê a fonte de uma ação (LATOUR, 1997), está vinculada à rede. Atores não são entidades fixas, mas possuem fluxos e movimentos ao longo da rede, o que não significa afirmar que não tenham estabilidade e continuidade, porém existe um caráter transitório de suas características, conforme ocorre o arranjo da rede (LATOUR; WOOLGAR, 1997). Posteriormente, o termo “actante” passa a ser usado para incluir não humanos na definição (LATOUR, 1999).

A noção de ator-rede tem relação com a ideia de agência na ANT. Para Latour (1999), a agência é propriedade de entidades associadas, considerando também o papel desempenhado pelos não humanos. Assim, qualquer entidade possui potencial para agir e a ação é o resultado de um processo contínuo de tradução (LATOUR, 1999). Uma agência invisível, que não faz diferença no meio em que se encontra, que não deixa rastro, não pode ser considerada uma agência (LATOUR, 2005).

Latour (2001) utiliza o termo não humano para se referir a microrganismos, materiais, equipamentos e artefatos de inscrição e armazenamento dos dados científicos, mostrando que eles só podem ser pensados em suas relações com os humanos. Segundo a definição do autor, esse conceito só significa alguma coisa na diferença entre o par “humano/não humano”. O par humano/não humano não

constitui uma forma de “superar a distinção sujeito/objeto, mas de ultrapassá-la completamente” (LATOUR, 2001, p. 352).

Por fim, outro conceito importante que não pode ser esquecido é o de social. Latour (2005) retorna às raízes do conceito de social para destacar o significado de “seguir/acompanhar”. Assim, o social deve ser entendido como uma rede heterogênea de humanos e não humanos, em vez de um domínio específico, ou um tipo particular de elemento, mas como um movimento de associações e de reunião dos elementos (LATOUR, 2005). Essa noção é importante para compreender a tradução.

“Traduzir (ou transladar) significa deslocar objetivos, interesses, dispositivos, seres humanos. Implica desvio de rota, invenção de um elo que antes não existia e que de alguma maneira modifica os elementos imbricados. Mas a operação de tradução implica uma solução aparentemente contraditória do cientista, pois ao mesmo tempo que procura engajar outras pessoas para que elas acreditem na caixa-preta, comprem-na e disseminem-na no tempo e no espaço, tenta controlá-las para que aquilo que elas adotam e disseminam permaneça mais ou menos inalterado” (FREIRE, 2006, p. 51).

O conhecimento, portanto, deriva e depende dos movimentos e transformações que ocorrem no confronto entre a ciência e o mundo, das traduções que são realizadas a cada etapa para que o mundo possa ser gerenciado de acordo com traços e inscrições que orientam os cientistas ao mesmo tempo que organizam a cadeia de associações e alianças necessárias para que um fato científico possa existir.

Estes traços permitem que as referências possam ser reconstruídas a cada passo, ao mesmo tempo que garantem que os movimentos de articulação modifiquem as coisas da natureza para que se tornem mais próximas dos objetos da ciência. Pois a ciência transforma, movimenta, deforma, inventa e descobre, simultaneamente: “A invenção quase sempre segue o novo manuseio oferecido por uma nova translação ou transporte” (LATOUR, 2001, p. 70).

Os fatos científicos, por este motivo, nunca são imediatamente visíveis, ou diretamente verificáveis. Somente podem sê-lo através de uma série de mediações, cada uma delas transladando uma realidade mais complicada para algo cujas forças podem ser transportadas mais facilmente. A tradução é o que permite a coerência e a manutenção do significado entre as etapas na cadeia de associações que garante

a existência de um fato.

Além disso, no final do livro *Esperança de Pandora* lê-se que os estudos científicos por meio da tradução, em vez de oporem

“[...] palavras ao mundo, graças à sua ênfase na prática, multiplicaram os termos intermediários que insistem nas transformações, tão típicas das ciências; como ‘inscrição’ ou ‘articulação’, ‘translação’ é um termo que entrecruza o acordo modernista. Em suas conotações linguísticas e material, refere-se a todos os deslocamentos por entre outros atores cuja mediação é indispensável à ocorrência de qualquer ação. Em lugar de uma rígida oposição entre contexto e conteúdo, as cadeias de translação referem-se ao trabalho graças ao qual os atores modificam, deslocam e transladam seus vários e contraditórios interesses” (LATOUR, 2001, p. 356).

Nosso conhecimento, deste modo, emerge de uma longa cadeia de atores que realizam a mediação entre outros atores, seja de forma intelectual ou puramente manual. Ainda que todo o universo esteja repleto de falhas, elas não são intransponíveis por serem constantemente atravessadas pelo trabalho da tradução. Sujeito e objeto seriam, desta forma, as duas extremidades da cadeia, e não a cadeia toda, como em casos é suposto.

3.1 FLUXO SANGUÍNEO DA CIÊNCIA

A arregimentação pode se relacionar com traduções de diversas incursões em que as circunstâncias, pesquisas, fatos científicos vão percorrendo. Para melhorar a compreensão, diz-se que a operação de tradução surge a partir da combinação de dois ou mais interesses diversos em um objetivo composto, sendo que o importante nesta operação não é exclusivamente a fusão que ela enseja, mas a criação de uma nova mistura.

Assim, não é um objetivo estabelecido *a priori*, mas que surge a partir de outros interesses diversos. Também é possível com as operações de tradução, que transformam as questões políticas em questões de técnica e vice-versa. Estas também podem ser relacionadas a agentes humanos e não humanos.

A arregimentação, em última análise, constitui um conceito que permite rastrear e compreender o que fazem os atores para não ficarem isolados em suas próprias idiossincrasias (LATOUR, 2011). Observa-se neste contexto a importância

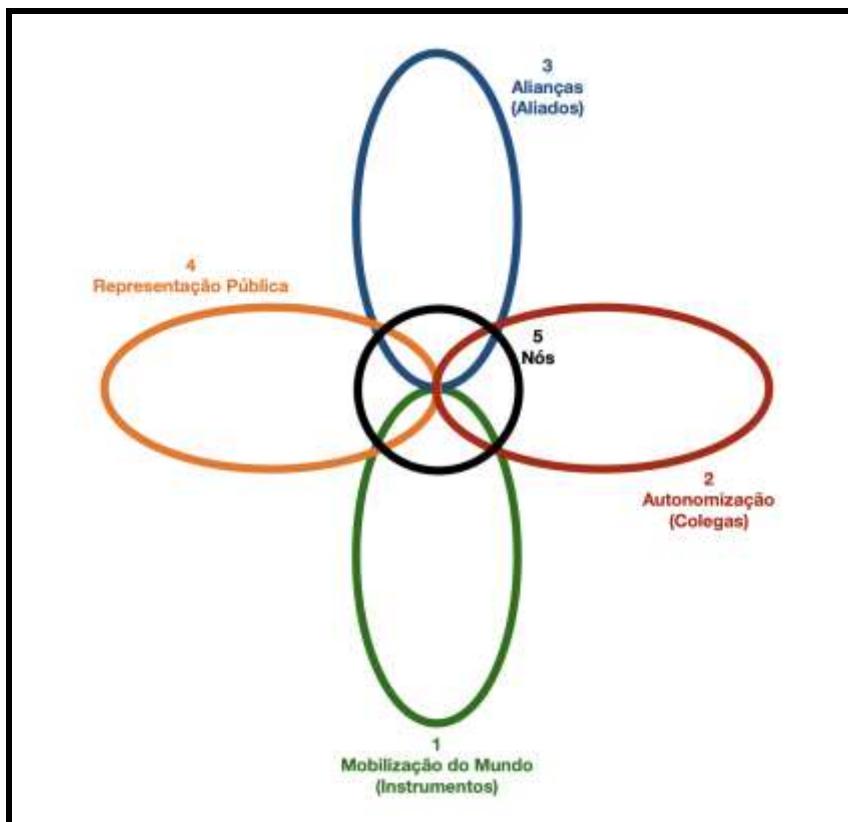
dos estudos científicos em que um conjunto de elementos heterogêneos e/ou sem vínculos, passa a partilhar de um coletivo comum, perfazendo um novo grupo de objetivos. Sendo praticamente impossível imprimir uma descrição para os enlaces e diversidade de que se encontram no sistema circulatório que traz vivacidade aos fatos científicos.

Assim, o processo de produção e circulação do conhecimento científico proposto por Latour (2001) é chamado de fluxo sanguíneo da Ciência. Latour não se inclinou a pesquisar sobre a Educação, mas no livro “Esperança de Pandora” ele teoriza sobre o sistema circulatório da ciência (SCC) no qual é possível localizar A Educação em Ciência em suas teorizações (DANGUI, 2022).

Com essa metáfora (SCC), Latour (2001) propõe cinco circuitos que os estudos sobre a atividade científica precisam considerar para reconstruir a circulação dos fatos científicos. Esses circuitos estão representados na figura a seguir, caracterizando atividades que não devem ser entendidas de forma isolada. Afinal, como cita Latour (2001, p. 138): “Cada uma das cinco atividades é tão importante quanto as outras, cada uma nutre-se de si mesma e das demais”. Essas atividades vão exigir habilidades diferenciadas do cientista, envolvendo a capacidade de obter e analisar dados, de comunicar de forma oral e escrita os seus resultados e argumentos.

Se pautando neste capítulo 3 do livro , observam-se os cinco circuitos citados que os estudos científicos precisam considerar para reconstituir os fatos científicos. E isso pode ser visto na Figura 1 abaixo:

Figura 1 – Fluxo Sanguíneo da Ciência



Fonte: adaptado de Latour (2001, p. 118)

Olhando para a figura vê-se 5 pontos que integram o circuito (mobilização de mundo, autonomização, alianças, representação pública, vínculos e nós), e que podem sofrer mudanças de acordo com o assunto que se coloca em evidência no núcleo central, formando os vínculos e nós. Sendo que, de acordo com o núcleo, as arregimentações são alteradas ou diversificadas. Este núcleo se enlaça em vínculos, não sendo um núcleo petrificado, mas rodeado por um contexto.

No primeiro circuito vê-se a mobilização do mundo que trata dos meios pelos quais não humanos se inserem no discurso. Meios esses que podem ser instrumentos, equipamentos, expedições, levantamentos e questionários, dependendo do assunto ou disciplina que está se mobilizando. O segundo circuito de autonomização trata da maneira pela qual uma disciplina, uma profissão, uma facção ou uma “congregação invisível” se torna independente e engendra seus próprios critérios de avaliação e relevância. Vale lembrar que a referência circulante não cessa com os dados, mas tem de continuar a fluir e convencer outros colegas.

No terceiro, que versa sobre alianças, observa-se sua fundamental função, pois não é possível se aplicar ou utilizar instrumentos, e nem mesmo uma disciplina

tornar-se autônoma se não houver alianças, ou empenho de tornar o público interessado. A persuasão e o aliciamento não são sempre evidentes, mas estão incutidos nas relações para que estas se estabeleçam, não sendo conexão natural, mas intuitivamente pensada.

A representação pública é o quarto circuito e o próprio nome indica sua funcionalidade, onde, por mais que não se relacione aos demais circuitos, é de extrema importância para tais, integrando o circuito de modo a requerer cuidado nas relações com outro mundo exterior, sendo as pessoas comuns, os repórteres, e os estudiosos ou professores. A sensibilidade à representação pública da Ciência pode ser ainda maior porque a informação não flui simplesmente dos outros três circuitos para o quarto, ela também dá corpo a inúmeras pressuposições dos próprios cientistas sobre seu objeto de estudo.

E por fim os vínculos e nós, que é o quinto circuito, e não é propriamente o conteúdo científico, como se os anteriores citados fossem condições para chegar ao objetivo. Os quatro circuitos anteriores são como veias e artérias que levam ao coração palpitante. Sendo como um nó muito apertado no meio de uma rede, e que mantém agrupados diversos outros recursos heterogêneos.

Tal descrição resulta, portanto, em mais uma consequência epistemológica: não existe interior e exterior da Ciência. Quando chegamos perto da Ciência em ação, percebemos que atores de todas as esferas da sociedade são mobilizados para que a prática científica possa ocorrer.

Quando ocorre mutilação no circuito exposto, pode acarretar um abismo entre palavras e mundo, por não ocorrer mediações. Ocasionalmente muitas vezes pela desatenção e pelo uso descuidado de diferentes escálpelos analíticos, que se pode obter o modelo conteúdo versus contexto a partir do múltiplo e heterogêneo esforço dos cientistas. Essa mutilação dos circuitos ocorre quando da enucleação no modelo.

Enfim, para os afirmativos que os estudos científicos oferecem uma explicação social da Ciência, o autor afirma que isso está de acordo, porém a explicação se refere à origem artefactual de um conceito inútil de sociedade, consequência da enucleação de disciplinas científicas a partir de sua existência coletiva.

Após compreender que os circuitos denominados de fluxo sanguíneo, são assim denominados por ser um sistema que dá e mantém a vida a determinado

assunto e necessitam de movimentos circulantes dentro deste para continuar existindo, a próxima seção é tratado a respeito da Educação Científica com uma abordagem para esse sistema circulante discorrido.

3.2 EDUCAÇÃO CIENTÍFICA: UM OLHAR PARA O FLUXO SANGUÍNEO

Observa-se que no processo de formação de um tema, assunto ou proposição científica, existe toda uma rede arregimentada, em que os atores são quem compõem essa rede, não sendo entes fixos, rígidos, com uma essência preexistente e com propriedades autônomas; mas algo provisório, construído, que demanda esforço para ser estabilizado e para continuar existindo, e, existindo mediante associações com outros. E, dentro de uma rede, em sua extensividade, encontram-se os elos, como visto na Figura 1, que compõem os fluxos e relações que compreendem e resultam nos fatos científicos.

Ao olhar para o fluxo sanguíneo das Ciências, tem-se que um dos elos que compõem esse fluxo sanguíneo da Ciência é a representação pública, a qual leva a Ciência aos não praticantes, e isso pode ocorrer tanto formal quanto informalmente, e que trata de levar e validar a prática científica perante a sociedade, trabalhando com a opinião pública.

Esse elo, tão importante quanto os demais, como dito acima, refere-se também à opinião pública, ou seja, à visão dos membros da sociedade que não participam diretamente da prática científica (Latour, 1999), os não especialistas, cujo conhecimento sobre Ciência é obtido, principalmente, por meio da Educação Básica. Ou por meio da divulgação pública dos conhecimentos, como livros, artigos e publicações (empregados na escola para uso no ensino). E, considerando que é na escola que a maioria das pessoas recebe seu conhecimento, não somente os conteúdos da Ciência, mas (ainda que implicitamente) sobre o que é a Ciência.

Assim, a educação científica não pode ser pensada como algo apartado da Ciência, mas como elemento de sua própria rede (WEINSTEIN, 2008). Não existe uma Ciência fechada no interior dos laboratórios, enquanto os que estão na escola apenas a divulgam ou a transmitem. A educação científica forma a opinião pública, que, por sua vez, medeia o desenvolvimento científico.

Compreendendo isso, constata-se que a percepção sobre Ciência que a opinião pública possui, obtida por meio da Educação em Ciências, é tida como uma

visão absolutista, como prática conservadora (LEMKE, 2011), positivista (KINCHELO, TOBIN, 2009), objetiva e salvadora da humanidade (DECONTO, 2014). E, devido a isso, pensam gerar algum fortalecimento à Ciência. Quando o que realmente ocorre é o contrário, pois isso leva a supressão, uma vez que a Ciência necessita da mediação humana, para que haja leitura e compreensão de informações, dados ou “fatos”. Sendo um dos pontos de fragilização das Ciências, a apresentação de uma visão reduzida sobre sua natureza, ou seja, uma visão reducionista², não considerando o todo, sendo algo comumente implementado pela Educação em Ciências tradicional. Quando na verdade, o ponto forte está no fato de ela articular redes extensas, que sustentam todo o processo científico.

Além da visão reducionista, como citado acima, outra situação recorrente é o apagamento da rede que sustenta as proposições científicas. Latour e Woolgar (1986) apontam que algo se torna um “fato” autônomo quando a rede que o articulou é totalmente apagada dos textos científicos. Os “micróbios de Pasteur” se tornam “micróbios da natureza” quando não há mais a necessidade de lembrar todos os experimentos e teorias que Pasteur precisou mobilizar. Isso é um processo natural: conforme o actante se articula com a rede, ele se torna independente. Tal autonomia, entretanto, tem um efeito colateral quando chega para a opinião pública, pois, embora a comunidade científica tenha acompanhado o processo de estabilização e autonomização daquele actante, a população costuma ser apresentada ao actante já estabilizado.

Lima *et al.* (2018) discutem, por exemplo, como o fóton, apesar de passar por mais de 80 anos de articulações e desarticulações, é apresentado por livros didáticos como um actante da natureza, apagando maior parte da rede que o articulou. Nesse caso, os autores dos livros didáticos valem-se de um discurso positivista e de autoridade para sustentar sua narrativa sobre o fóton (LIMA *et al.*, 2017; LIMA *et al.*, 2018) e apenas informam aos alunos sua existência sem explicitar sua articulação. Esse “apagamento” da rede pela Educação Científica é proposto pela representação abaixo, na Figura 2.

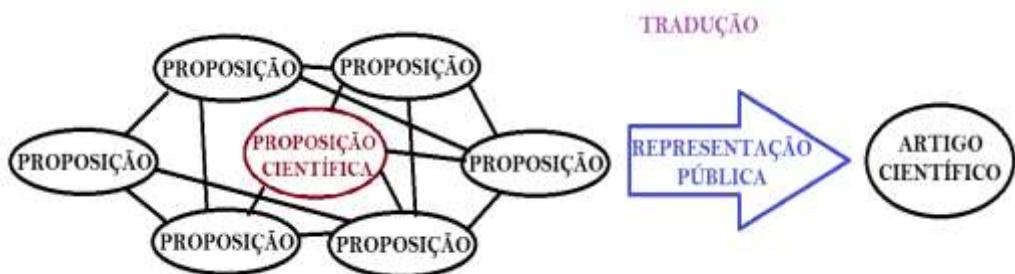
A esquerda na figura tem-se toda a rede que sustenta e dá a vida a uma proposição científica, e podemos chamar de elos do circuito, em que as proposições,

² Não significa que elas estejam erradas, mas estão contando apenas “uma parte” da história. Conforme preconizado pela Cartografia das Controvérsias, devemos tentar nos aproximar de um ator pelo maior número possível de formas (LATOUR, 2012).

objetivos e interesses se associam formando uma proposição científica que necessita ir a público, passando pela representação pública culminando em artigo científico. No caso da figura, o artigo é uma tradução de toda essa rede arregimentada de proposições que vai para o público.

Porém quando passa pela representação chegando a artigo toda a parte a esquerda não é descrita e nem sustentada, ficando apenas com a proposição científica pronta e acabada sem citar o seu processo de emergência, arregimentações e associações.

Figura 2 – Apagamento da rede pela Educação Científica



Fonte: adaptado Latour (2001)

Por meio da figura meramente ilustrativa, vê-se esse apagamento da rede da Ciência pela Educação Científica no processo de representação pública, no qual ao lado esquerdo tem-se uma rede extremamente extensa. Esse apagamento tira da Ciência o poder que verdadeiramente sustenta suas proposições. E, enunciando as proposições científicas como autônomas, há uma desconexão de suas redes, retirando suas âncoras, obscurecendo, portanto, que a garantia da validade de uma proposição científica se dá por sua rede.

Existem diferentes e importantes contribuições para a educação em Ciências, a partir do legado de Bruno Latour. A começar pela recomendação dos primeiros artigos publicados no Brasil sobre o filósofo francês (VIANNA; CARVALHO, 2001) de se extrapolar o ensino do conteúdo científico, aproximando o aluno da prática científica. Proposta também detectada na literatura internacional (MODY, 2015), de forma que não se reduza a Natureza da Ciência ao discurso que é feito sobre ela, explicitando as práticas que são realizadas pela Ciência oficiosa, de forma a reconhecer que aquilo que sustenta a realidade de uma proposição científica é a rede que ela articula.

No próximo capítulo, a proposta metodológica da pesquisa é estabelecida, de modo a compreender os passos percorridos para que essa pesquisa se construísse diante do levantamento dos artigos com a temática proposta; identificação da rede de citações dos artigos por meio do Google Acadêmico e, demonstração dessa rede de artigos e seus citados; análise dos artigos utilizando a ANT e identificação das traduções.

E, assim, compreender como se deu esse trajeto, e as bases para elaboração de forma a responder a questão: de que maneira é possível identificar e caracterizar a rede arregimentada no Ensino de Química no que tange a Teoria Atômica na Revista Química Nova na Escola, e quais traduções são tipificadas nesse estudo?

4 PROPOSTA TEÓRICO METODOLÓGICA

Neste capítulo é apontado o percurso tomado para a realização e constituição dessa pesquisa, com a finalidade de encontrar resposta para a questão problema demandada pelo tema proposto.

É descrita, primeiramente, uma contextualização da pesquisa em que se aponta uma justificativa para os caminhos percorridos e inquietações associadas em seu processo de desenvolvimento. Culminando em uma revisão sistemática para o levantamento do *corpus*, e para isso pautou-se nas etapas de Okoli e Schabram (2010), que são apresentadas na sequência, no item coleta de dados, em que as etapas elaboradas e desenvolvidas são apresentadas e delineadas.

Posteriormente, e no último item deste capítulo 4, é apresentada uma tabela com o *corpus* da pesquisa obtido do levantamento de revisão bibliográfica na Revista Química Nova na Escola (QNEsc), e uma tabela com o número de vezes que os artigos *corpus* foram citados. Sendo um recorte de uma rede maior em que será olhado e analisado pelo viés descrito neste capítulo, de acordo com a problemática estabelecida.

4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

De acordo com Corazza (2007), a metodologia não é escolhida apenas de acordo com o tema pretendido, mas é, “uma prática de pesquisa que nos toma” (CORAZZA, 2007, p. 16). E esta requer uma elaboração de modo a não ter seus objetos de estudos como “arquipélagos, que embora bem instalados, não se comunicam com os outros” (CORAZZA, 2007, p. 20). Assim a metodologia não é preestabelecida, mas emerge por meio das práticas e dos discursos pela formação histórica, emergindo dos meios e dos caminhos trilhados para planejamento, e objetivação da pesquisa.

Essa prática pode abranger diversos níveis de articulações entre teorização, práxis, política engajada nas lutas de classes ou comunidade, ambientes virtuais, classes negadas, grupos subjugados, jogos das relações de poder, dentre tantos outros. E com essas bases epistemológicas torna-se um campo aberto a ser pesquisado e investigado.

O pesquisador, quer seja social, quer seja natural, não se caracteriza como

indivíduo observando o mundo com base em nada; são os participantes de um universo cultural e linguístico no qual inserem os seus projetos individuais e coletivos (FOUREZ, 1995).

Se valendo desse contexto, pulsava uma inquietação interna prévia, a respeito de alguns assuntos de pesquisa, porém um deles gerava inquietação maior, e neste caso era a química quântica e suas relações com o ensino-aprendizagem, e a partir dessa inquietação percorriam as sinapses. O problema de pesquisa começava a pairar na mente por meio das vivências, estudos, leituras, pesquisas, mas requeria uma elaboração responsável e cuidadosa, de forma a integrar essas inquietações. Após várias escritas e supressões, o problema de pesquisa emerge configurando-se na ideia de que se observa que a teoria quântica, por vezes polêmica e pouco entendida (FREIRE JR, 2011), ultrapassou os currículos escolares, sendo empregada em indústrias e produtos tecnológicos de ampla utilização nos dias atuais (DAVIDOVICH, 2021), produtos esses intrínsecos ao dia a dia do indivíduo, e que por vezes tem o poder de deslocar o ensino para outros locais, diferentes dos habituais, principalmente em se tratando de computadores, equipamentos eletrônicos, *internet* das coisas, inteligência artificial, nuvem de armazenamento, entre outros. Assim, o problema a ser investigado pretende levantar os artigos com a temática proposta de Teoria Atômica na QNEsc; identificar a rede de citações dos artigos por meio do Google Acadêmico e, demonstrar essa rede de artigos e seus citados; analisar os artigos utilizando a ANT e identificar traduções.

De forma a responder a questão: De que forma é possível identificar e caracterizar a rede arregimentada no Ensino de Química no que tange a Teoria Atômica na Revista Química Nova na Escola, e quais traduções são tipificadas nesse estudo?

Entende-se que a teoria quântica, por vezes estigmatizada e mistificada nos dias atuais por apropriações e uso de cunho não científico e religioso, gera um idealismo subjetivista que se propaga sem fundamentos, tratando de hipóteses empíricas (PESSOA JR., 2018). Enquanto o viés científico do tema, apesar de não estar estagnado, encontra-se pouco estudado e divulgado na área de ensino, e isto pode ser visto pela quantidade de trabalhos disponíveis vinculados a essa área de química quântica e ensino, em que ao se buscar trabalhos especificamente abordando o assunto, observa-se de uma forma simplista e geral, sem análises mais

profundas ou recortes específicos, uma área em desenvolvimento e potencial crescimento com os anos.

4.2 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Para realizar o levantamento dos dados da pesquisa, diversos testes foram realizados, testes como busca de bases de dados com artigos científicos, como Google Escolar, Scielo, e Revistas diversas que atendesse a demanda da pesquisa, porém, ao olhar mais profundamente para a Revista Química Nova na Escola (QNESc), identificou-se que ela possuía os requisitos, por ser tratar de divulgação científica, Química e Ensino.

Assim, para a coleta dos dados, entendeu-se que a aplicação da revisão sistemática de literatura, em conjunto com a análise temática, poderia ajudar na organização desse caminho e levantamento dos dados requisitados a esta pesquisa.

A revisão sistemática foi realizada pautada em Okoli (2019), a partir das seguintes etapas: planejamento, seleção, extração dos dados, síntese dos estudos e a escrita da revisão.

Já a análise temática, segundo suas autoras, possibilita a execução flexível capaz de fornecer um conjunto rico e detalhado dos dados, pelo processo de extração e interpretação destes (BRAUN; CLARKE, 2006). Após realizar a seleção dos estudos que seriam analisados na revisão de literatura, foram executadas as etapas da análise temática que consistiram em pré-análise, extração dos dados e síntese dos resultados (Figura 3).

A pré-análise consistiu em uma familiarização com o conteúdo e geração de dos códigos em que o pesquisador identificou as características dos dados. Na sequência a extração dos dados se deu por extrair os dados com os temas potenciais e principais, elencando uns e descartando outros, e por fim a síntese dos dados em que o próprio nome diz, os dados referentes ao que intenciona e que foram demarcados e extraídos são sintetizados.

Figura 3 – Etapas de Revisão sistemática (a) e análise temática (b)



Fonte: adaptado de Okoli (2015)

Desse modo, com o objetivo estabelecido e o planejamento pronto, iniciou-se a revisão sistemática, com a coleta de dados, que consistiu na busca por artigos, e optou-se por trabalhar com artigos por se tratar de divulgação científica de fácil acesso, que possui alto fluxo de movimento nos programas de graduação e pós-graduação, entre outros. Como o intuito estava voltado, de modo macro para a Teoria Quântica, e de modo micro para a Teoria Atômica (Química) relacionada ao Ensino, a revista escolhida para a pesquisa foi a Química Nova na Escola, criada em 1995, que trata exclusivamente de assuntos do Ensino de Química. Atualmente sua publicação se dá com periodicidade trimestral, estando em seu volume 44, e conta ainda com a publicação de edições exclusivas de trabalhos de eventos e cadernos temáticos.

Assim, após a escolha da revista, a forma de busca dos artigos ocorreu por meio de consulta ao site da revista (www.qnesc.sbn.org.br), na aba de edições anteriores em que todos os cadernos se encontram disponíveis para consulta. Dessa forma, todos os volumes foram consultados de forma sistemática, abrindo cada edição, olhando artigo por artigo, avaliando o título, as palavras-chave e resumo, a fim de verificar se tratava do tema proposto nesta pesquisa, ou seja, se envolvia de alguma forma teoria atômica (modelos atômicos). Cadernos temáticos foram excluídos deste *corpus*, devido ao tema de cada um não ter relação com o assunto.

Após a identificação dos artigos, o movimento seguinte foi levantar todos os trabalhos que citaram estes artigos *corpus*. E para isso, a dinâmica adotada foi

pesquisar os 30 artigos *corpus* no *Google Acadêmico*, um a um, abrindo o *link* de citado “x” vezes que existe como métrica neste *site*. Foi avaliado se cada uma dessas citações eram artigos ou não, uma vez que se optou por olhar apenas para artigos na composição dessa rede, e omitir outros trabalhos, como trabalho de conclusão de curso, teses, dissertações e livros, pela mesma justificativa já realizada acima.

Para essa dinâmica, houve um impasse que demandou tempo maior que o esperado para este levantamento das citações, uma vez que o *Google Acadêmico*, após determinada quantidade de buscas e consultas, bloqueia o ID do computador por entender que esse movimento realizado é um robô de coleta de dados. Esse bloqueio permanece por alguns dias e depois regulariza, porém ocasiona um certo atraso no levantamento dos dados, já que o bloqueio permanece por volta de 4 a 5 dias consecutivos.

Após essa revisão sistemática e levantamento dos dados, que resultou no *corpus* da pesquisa, que são 30 artigos apresentados na seção seguinte, e que é parte da rede identificada no tema da Teoria Atômica, assim como os trabalhos que citaram esses artigos *corpus*.

Esse *corpus* foi categorizado em naturezas emergentes da leitura destes, que são: teórico e de ensino. Teórico que apresentaram apenas conteúdos da área dura e Ensino os que continham de algum modo propostas, estudos, ou qualquer vertente ao ensino do conteúdo.

Outro movimento que surgiu antes da análise temática, foi olhar para os artigos *corpus* compreendido como Ensino utilizando os óculos do fluxo sanguíneo da Ciência de forma adaptada para este olhar, do qual outra variedade de categoria foi identificada, e que dizem respeito a propostas ao ensino aplicado do tema.

E, na sequência a ação foi a análise temática desse *corpus* para avaliar possibilidades de traduções nessa rede de artigos provindos da caixa-preta advinda da teoria atômica estabelecida por seus autores ao longo de seu desenvolvimento, aceitação e viabilização no ensino.

4.3 CORPUS DA PESQUISA

O processo de levantamento do *corpus* da pesquisa foi descrito acima no item 4.2, e desse processo gerou-se um total de 30 artigos provenientes das publicações

de artigos na Revista Química Nova na Escola, no período de 1995 a 2022. Esses artigos foram selecionados de acordo com sua temática sobre Teoria Atômica. No Quadro 1 abaixo, encontra-se a relação desses artigos determinados nos padrões de buscas, estabelecidos para essa pesquisa. Para a codificação deles, utilizou-se a letra A referente a artigo e a numeração 01 em diante, gerando os códigos vistos na coluna esquerda do quadro.

Quadro 1 – Artigos Constituintes do *corpus* da pesquisa

Código	Artigo da QNEsc
A01	MORTIMER, E. F. Concepções atomistas dos estudantes. Química Nova na Escola . v. 1, n. 1, p. 23-26, 1995.
A02	CHASSOT, A. Sobre prováveis modelos de átomos. Química Nova na Escola . v. 3, n. 3, p. 3, 1996.
A03	TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO, R. O átomo e a tecnologia. Química Nova na Escola . v. 3, n. 3, p. 4-7, 1996.
A04	FILGUEIRAS, C. A. L. A Espectroscopia e a Química: da descoberta de novos elementos ao limiar da teoria quântica. Química Nova na Escola . v. 3, n. 3, p. 22-25, 1996.
A05	ROMANELLI, L. I. O papel mediador do professor no processo de ensino-aprendizagem do conceito átomo. Química Nova na Escola , v. 3, p. 27-31, 1996.
A06	TOSTES, J. G. Estrutura Molecular: o conceito fundamental da química. Química Nova na Escola , v. 7, p. 17-20, 1998.
A07	FREITAS, L. C. G. Prêmio Nobel de Química em 1998: Walter Kohn e John A. Pople. Química Nova , v. 22, p. 293-298, 1999.
A08	MELEIRO, A.; GIORDAN, M. Hipermídia no ensino de modelos atômicos. Química Nova na Escola , v. 10, p. 17-20, 1999.
A09	DUARTE, H. A. Carga nuclear efetiva e sua consequência para a compreensão para a estrutura eletrônica dos átomos. Quím. Nov. Esc. , v. 17, p. 22-26, 2003.
A10	CAMPOS, R. C.; SILVA, R. C. De massas e massas atômicas. Quím. Nov. Esc. , v. 19, p. 8-10, 2004.
A11	NERY, A. L. P.; FERNANDEZ, C. Fluorescência e estrutura atômica: experimentos simples para abordar o tema. Química Nova na Escola , n. 19,

	p. 39-42, 2004.
A12	FILGUEIRAS, C. A. L. Duzentos anos da teoria atômica de Dalton. Química Nova na Escola , v. 20, p. 38-44, 2004.
A13	FERNANDEZ, C.; MARCONDES, M. E. R. Concepção dos estudantes sobre ligação química. Química Nova na Escola , n. 24, p. 20-24, 2006.
A14	ROQUE, N. F. Uma festa no céu-peça em um ato focalizando o desenvolvimento da Química a partir do século XVIII. Química Nova na Escola , v. 25, p. 30-33, 2007.
A15	OKI, M. C. M. O congresso de Karlsruhe e a busca de consenso sobre a realidade atômica no século XIX. Química Nova na Escola , v. 26, p. 24-28, 2007.
A16	JÚNIOR, FRANCISCO. W. E Uma abordagem problematizadora para o ensino de interações intermoleculares e conceitos afins. Química Nova na Escola , n. 29, p. 20-23, 2008.
A17	BENEDETTI FILHO, E.; FIORUCCI, A. R.; BENEDETTI L. P. S.; CRAVEIRO, J. A. Palavras cruzadas como recurso didático no ensino de teoria atômica. Química nova na Escola , v. 31, n. 2, p. 88-95, 2009.
A18	FRANÇA, A. C. G.; MARCONDES, M. E. R.; CARMO, M. P. do. Estrutura atômica e formação dos íons: uma análise das ideias dos alunos do 3º ano do ensino médio. Química Nova na Escola , v. 31, n. 4, p. 275-282, 2009.
A19	BENITE, A. M. C.; BENITE, C. R. M.; SILVA FILHO, S. M. Cibercultura em Ensino de Química: Elaboração de um objeto virtual de aprendizagem para o ensino de modelos atômicos. Química Nova na Escola , v. 33, n. 2, p. 71-76, 2011.
A20	MELO, M. R.; NETO, E. G. de L. Dificuldades de ensino e aprendizagem dos modelos atômicos em química. Química Nova na Escola , v. 35, n. 2, p. 112-122, 2013.
A21	OLIVEIRA, S. F.; MELO, N. F.; SILVA, J. T.; VASCONCELOS, E. A. Softwares de simulação no ensino de atomística: Experiências computacionais para evidenciar micromundos. Química Nova na Escola , v. 35, n. 3, p. 147-151, 2013.
A22	SKAF, M. S. O Prêmio Nobel de Química 2013. Química Nova na Escola , v. 35, n. 4, p. 243-246, 2013.
A23	CHAVES, L. M. M. P. História da Ciência no estudo de modelos atômicos em livros didáticos de química. Química Nova na Escola , v. 36, n. 4, p. 269-279, 2014.
A24	DA SILVA, G. R.; MACHADO, A. H.; SILVEIRA, K. P. Modelos para o Átomo:

	atividades com a utilização de recursos multimídia. Química Nova na Escola , v. 37, n. 2, p. 106-111, 2015.
A25	DA SILVA, N. S.; FERREIRA, A. C.; SILVEIRA, K. P. Ensino de modelos para o átomo por meio de recursos multimídia em uma abordagem investigativa. Química Nova na Escola , v. 38, n. 2, p. 141-148, 2016.
A26	MELONI, R. A.; VIANA, H. E. B. O ensino de Química no Brasil e os debates sobre o atomismo: um estudo dos programas da educação secundária (1850-1931). Química Nova na Escola , v. 39, n. 1, p. 46-51, 2017.
A27	PEREIRA, L. S.; SILVA, J. L. P. B. Uma História do Antiatomismo: Possibilidades para o Ensino de Química. Química Nova na Escola , v. 40, n. 1, p. 19-24, 2018.
A28	RAMOS, Ta. C.; MOZZER, N. B. Análise do uso da analogia com o “Pudim de Passas” guiado pelo TWA no ensino do modelo atômico de Thomson: considerações e recomendações. Química Nova na Escola , v. 40, n. 2, p. 106-115, 2018.
A29	MARQUES, A. V. L.; CAVALCANTI, H. L. B. Construção de um espectroscópio alternativo para o ensino do modelo atômico de Bohr e linhas espetrais de elementos. Química Nova na Escola , v. 44, n. 1, p. 4-8, 2022.
A30	BENEDETTI FILHO, E.; MATSUMOTO, M. Y. Hantaro Nagaoka e o modelo saturniano. Química Nova na Escola , v. 44, n. 1, p. 9-16, 2022.

Fonte: a autora

Com o *corpus* da pesquisa identificado e devidamente codificado no quadro acima, o movimento seguinte foi em prol de analisar esses dados, com a finalidade de identificar as publicações derivadas destes artigos, ou seja, trabalhos que utilizaram esses artigos como referência para a construção de seus próprios, isto é, trabalhos que citaram os artigos em questão (Quadro 1). Após isso, o intuito foi identificar a rede que se movimenta ao redor deste tema, suas relações e interações.

A princípio pensou-se também em trabalhar com as referências dos artigos *corpus*, porém em uma análise prévia de 10 artigos, viu-se que as referências eram diversas e independentes, não existindo uma referência sendo empregada em dois ou mais artigos, por isso optou-se em não incluir essa análise neste momento para este trabalho, por uma questão de recorte da rede.

Para melhor compreensão, segue abaixo o Quadro 2 com as quantidades de trabalhos citados por cada um dos artigos do *corpus*, em que se observam os dados sem tratamento, ou seja, sem a devida análise e exclusão de trabalhos diferentes de

artigo científico. Para esse levantamento foi feito uma descrição de cada uma das publicações citações advindas de cada artigo dos 30 que compuseram o *corpus*, para posterior tratamento, ou seja, cada link de citação referente aos artigos *corpus* foi aberto para verificação sobre a natureza do que se tratava. Os dois últimos artigos que datam de 2022, por serem mais recentes, não foram citados em artigos disponíveis na base de dados de busca utilizada, o Google Acadêmico. Pesquisa realizada em meados de 2022.

Quadro 2 – Quantidade bruta de Citações da cada artigo *corpus*

Artigo	Quantidade de Citações
A01	105
A02	36
A03	12
A04	37
A05	59
A06	12
A07	25
A08	46
A09	11
A10	3
A11	19
A12	39
A13	91
A14	10
A15	8
A16	40
A17	52
A18	38
A19	42
A20	83
A21	23

A22	4
A23	24
A24	10
A25	9
A26	6
A27	6
A28	8
A29	0
A30	0

Fonte: a autora

Assim, segue-se para o próximo capítulo, que aborda a rede identificada dentro de um recorte, de uma rede extensa e complexa, mas que para se atingir o objetivo fez necessário o recorte, não desconsiderando a totalidade da rede que existe e existiu. Assim, são estabelecidas possíveis relações e tratado como as traduções/translações podem ser identificadas nos artigos *corpus* levantados para a pesquisa, trazendo os resultados e discussões acerca do tema.

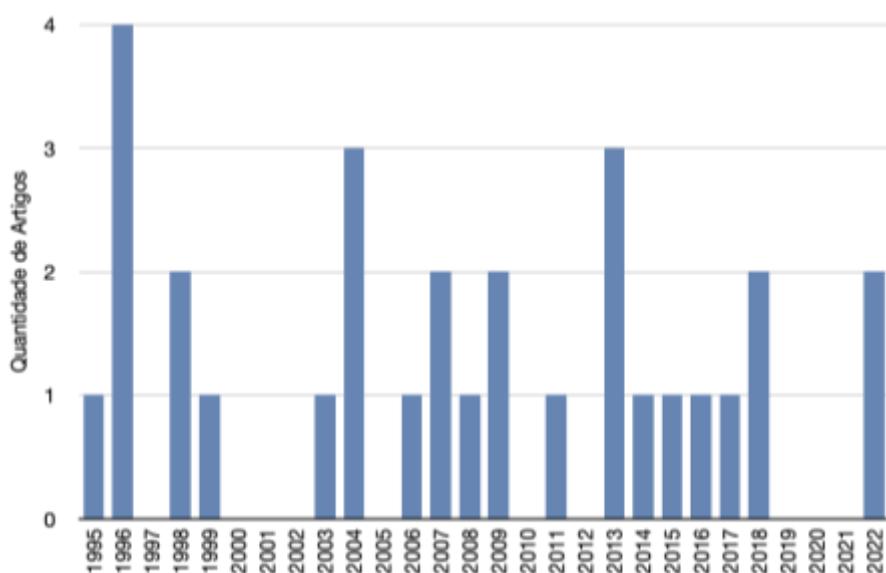
5 REDES, RELAÇÕES E INTERAÇÕES

Neste capítulo, as redes arregimentadas no recorte dado a essa pesquisa são identificadas, e as relações existentes entre elas são olhadas no intuito de verificar as interações possíveis entre elas. Portanto, são colocadas em um primeiro momento algumas considerações a respeito do *corpus* identificado e previamente analisado. Posteriormente, outros encaminhamentos serão tomados para fins de pesquisa, encaminhamentos estes visando a TAR, observando a evolução cronológica dos artigos publicados com o tema, e as possibilidades de translações provindas dos artigos.

5.1 CONSIDERAÇÕES RELEVANTES DO CORPUS DA PESQUISA

Em um olhar para o *corpus* da pesquisa, em um primeiro momento pós-levantamento dos artigos, optou-se por delinear a evolução anual da quantidade de trabalhos encontrados na revista QNEsc, que veio a formar o *corpus* da pesquisa. Segue abaixo o gráfico 1, que demonstra essa evolução. E, se observa que nos últimos anos poucas publicações aconteceram frente ao tema de teoria atômica, sendo mais explorada nos anos de 1996, 2004 e 2013.

Gráfico 1 – Quantidade de artigos por ano



Fonte: a autora

Na sequência, o movimento foi identificar as citações de cada um dos artigos e, para a apresentação desse quadro de dados, é trabalhado com uma filtragem para que sejam extraídos apenas os artigos para a composição da rede. Assim, dessa forma, chega-se ao Quadro 3 abaixo – parecido com o Quadro 2 – porém neste (3), tem-se a quantidade referente apenas á artigos produzidos que utilizaram os artigos *corpus* como referência, ou seja, que citaram o artigo *corpus* em seus trabalhos. Na sequência do quadro é apresentado um gráfico (Gráfico 5) dessas citações deste *corpus* tratado, com o ano de produção do artigo *corpus*, quais artigos e as quantidades de citações que tiveram, de acordo com o Quadro 3.

Quadro 3 – Quantidade de citações de artigos do *corpus* que compõe a Rede

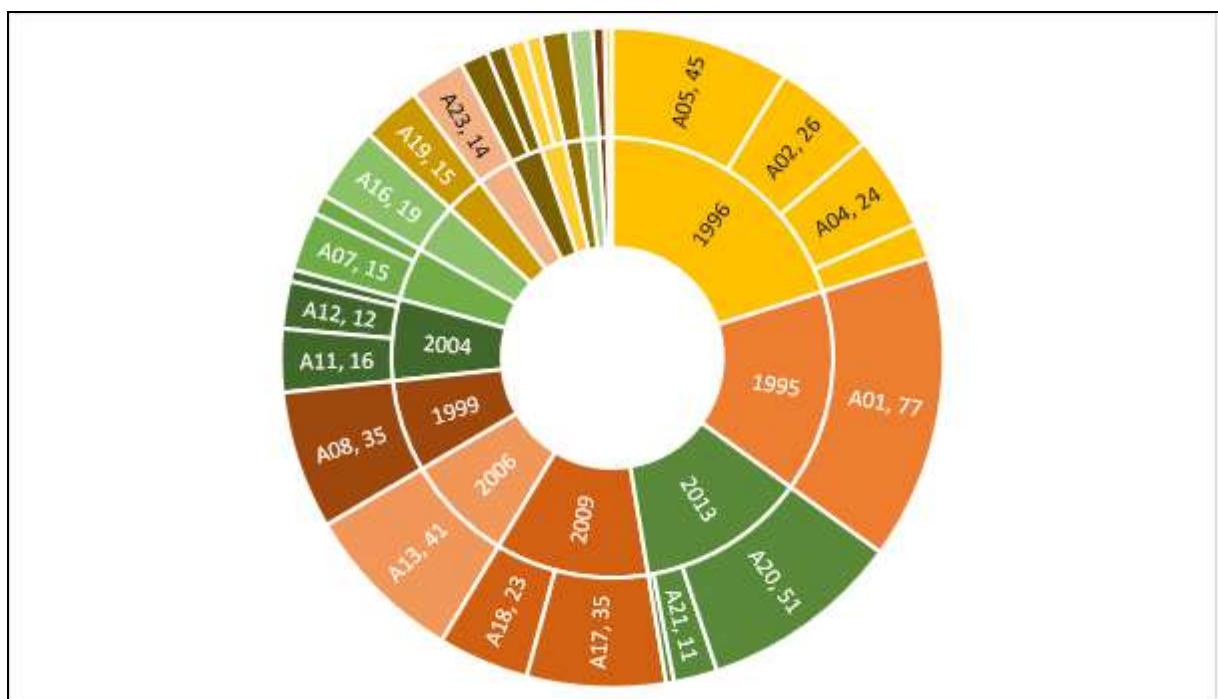
Artigo	Quantidade de citações
A01	77
A02	26
A03	9
A04	24
A05	45
A06	5
A07	15
A08	35
A09	7
A10	3
A11	11
A12	12
A13	41
A14	4
A15	5
A16	19
A17	35
A18	23
A19	15

A20	51
A21	11
A22	2
A23	14
A24	2
A25	6
A26	3
A27	5
A28	7
A29	0
A30	0

Fonte: a autora

Este gráfico 2, como já dito, trás o ano de cada artigo (*corpus*), sua codificação e a quantidade de citações provenientes destes de forma ilustrativa, em que os com menor quantidade de citações acabam sendo representados, mas sua identificação descritiva fica omitida pela baixa quantidade.

Gráfico 2 – Representação das citações de cada artigo



Fonte: a autora

Ao olhar para as possibilidades de relações existentes, vê-se, por meio da ANT, que quando se assume que algo, como objeto de pesquisa, adquire sentido por meio das relações que são estabelecidas em uma rede de significantes, entende-se que o aspecto relacional de como determinada realidade se sustenta traz a movimentação da rede e seus significados, como atores. Considerando ainda que as pesquisas que se apropriam de suas noções podem realizar diferentes percursos.

Diante do levantamento dos artigos *corpus* e suas citações, com a finalidade de identificar as relações entre os artigos do levantamento, ou seja, a rede associada ao tema proposto foi adotada o uso do software *Gephi*, que demonstra ilustrativamente o retrato de rede dessas relações por meio da inserção de dados. É uma plataforma de código aberto que foi construída para visualizar redes (DECUYPERE, 2020).

Para essa composição da rede dentro do *Gephi* os dados inseridos foram referentes aos 30 artigos *corpus* (códigos A01 á A30), se relacionando com suas citações identificadas (C01 á C_n), ressaltando que as citações se referem apenas a artigos, os dados de citações usados para essa rede são após a filtragem e retirada de elementos citações diferentes de artigos.

As citações foram codificadas com mesmo formato dos artigos *corpus*, porém ao invés de utilizar a letra “A” foi utilizada a letra “C” de citação, seguida de números crescentes para indicar essas citações.

Após inserção dos dados codificados no software, foi realizado um procedimento crucial no sentido de construção da rede, ou seja, a chamada espacialização da topologia da rede de modo a obter uma visualização interpretável que especialize a rede de maneira uniforme e consistente com as premissas teóricas da ANT.

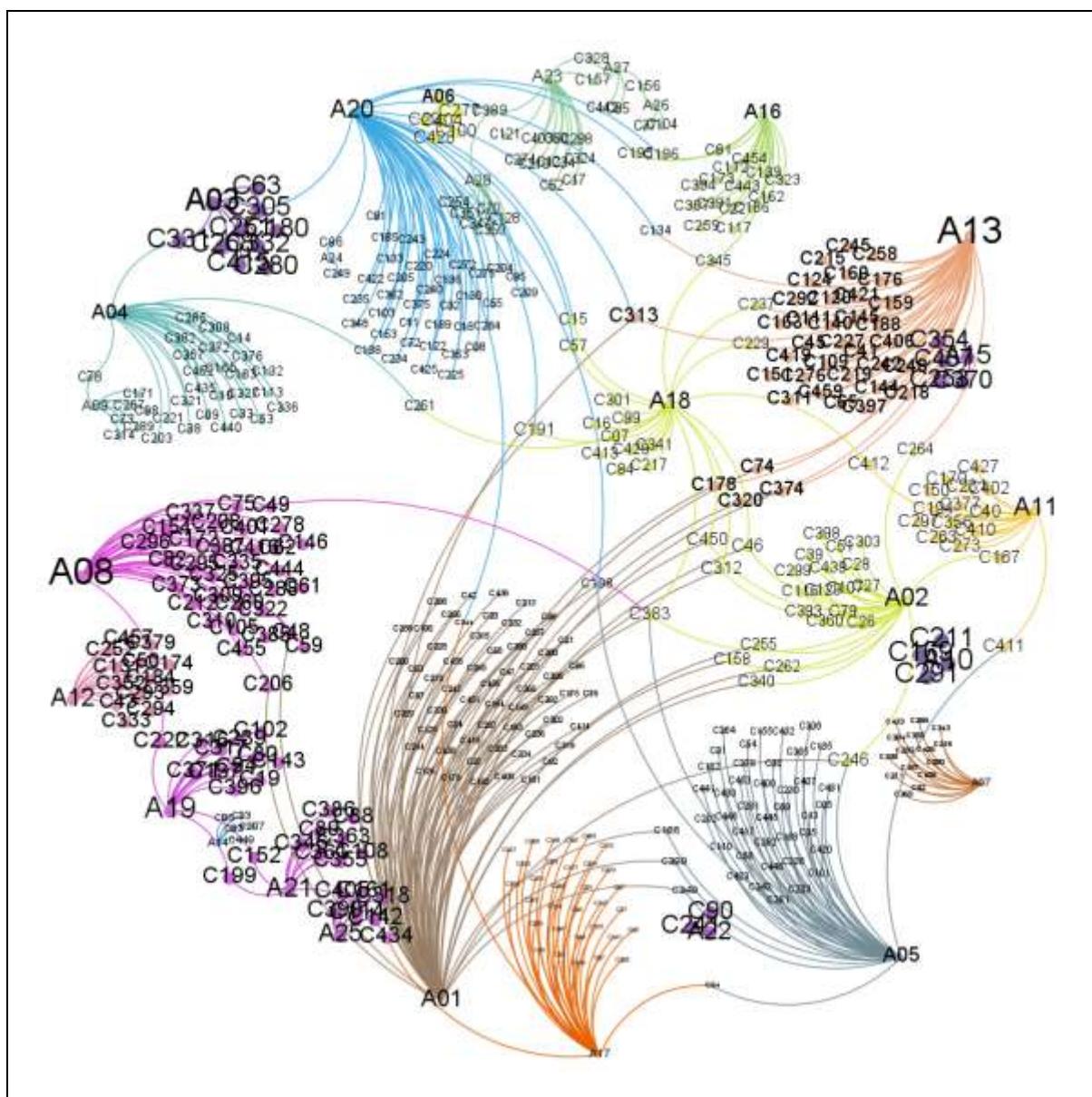
Assim, referente ao *layout*, o algoritmo de força de atração e repulsão entre os nós empregado foi o *force-atlas* para a disposição dos dados conforme se vê na figura. A espacialização “finalizada” obtida por meio do algoritmo pode ser compreendida em analogia aos conceitos de forças atrativas e repulsivas da Física ou de forma mais detalhada:

Um *layout* com vetores de força trabalha a partir de uma analogia física: **confere-se uma força repulsiva aos nós**, enquanto as **arestas operam como molas que ligam os nós por elas conectados**. Uma vez que o algoritmo é iniciado, ele muda a disposição dos nós até que encontre um equilíbrio que garanta o melhor balanceamento das forças. Tal equilíbrio

minimiza o número de linhas cruzadas e, portanto, maximiza a legibilidade do grafo [...] (VENTURINI; MUNK, JACOMY, 2018, p. 21, grifo nosso).

Ao atingir o equilíbrio, há uma disposição significativa onde os nós que estão, mais direta ou indiretamente relacionados tendem a ficar mais próximos entre si (VENTURINI; JACOMY; JENSEN, 2021).

Figura 4 – Rede dos artigos *corpus* e suas citações



Fonte: a autora

Essa figura trás todos os 30 artigos corpus (A's) e as citações (C's) que cada um deles teve. Dessa forma observa-se existem citações que possui apenas uma ligação, e outras que possuem diversas conexões. Essas conexões vão formando a

rede que se integram entre si, formando ligações uns com outros, arregimentando novos e diversos autores dentro de uma temática. Houve citações que apresentou mais de 3 e até 4 artigos do *corpus* em suas referências.

O C313 (laranja), por exemplo, possui 3 conexões, uma com o A01 (marrom), o A13 (laranja) e o A20 (azul). O C261 (azul) possui duas conexões, uma com o A04 (azul esverdeado), com o A18 (amarelo). Como também é possível identificar um *cluster* isolado, por suas citações não se conectarem com outras, como é o caso do A10 que possui coloração roxo mais claro, próximo ao A02 e A11, e apesar de estar sem conexões faz parte da rede, uma vez que possui a temática de pesquisa.

Após compreender as relações em um aspecto de conexões e números, observa-se que, apesar de possuírem um tema central de ligação para todos os artigos levantados, alguns se relacionam mais diretamente entre si, enquanto outros estavam mais isolados, como é possível ver na figura apresentada acima.

Na sequência, outro apontamento é feito, frente à rede estudada. Os artigos *corpus* foram analisados na tentativa de identificar associações advindas dos conteúdos relacionados a ensino e aprendizagem. E diante dessa análise um pouco mais detalhada desses artigos, viu-se que os 30 artigos se dividem em duas categorias, sendo artigos teóricos com conteúdos do tema, e artigos com abordagem de ensino, que tratam a respeito de propostas de ensino do assunto teoria atômica. São 12 na categoria de teoria, e 18 na categoria de ensino. Ver Quadro 4 abaixo.

Quadro 4 – Classificação dos artigos *corpus*

Classificação	Artigos
Ensino	A01, A05, A08, A10, A11, A13 A14, A16, A17, A18, A19, A20, A21, A23, A24, A25, A28, A30
Teórico	A02, A03, A04, A06, A07, A09, A12, A15, A22, A26, A27, A29

Fonte: a autora

Outro ponto considerado importante ao olhar para esse *corpus* e apontar algumas relações, se refere às citações levantadas. E para identificar algumas aproximações foi montado o Quadro 5 abaixo, que demonstra que um determinado artigo do campo citado empregou mais de um artigo categorizado como *corpus*.

Quadro 5 – Artigos citação e artigos corpus

Artigo Citação	Artigo Corpus
C15	A18, A20
C46	A01, A02, A18
C48	A01, A08
C57	A18, A20
C64	A05, A17
C74	A01, A13
C78	A09, A04
C96	A20, A24
C134	A13, A20
C152	A19, A21
C156	A26, A27
C157	A23, A27
C158	A01, A02
C166	A01, A05
C167	A11, A02
C178	A01, A13
C191	A01, A18, A20
C195	A16, A20
C196	A16, A20
C198	A01, A05, A20
C199	A19, A21
C206	A01, A08
C222	A08, A19
C229	A13, A18
C237	A13, A18
C246	A01, A02, A05
C255	A01, A02
C261	A04, A18

C262	A01, A02
C264	A02, A13
C305	A03, A20
C312	A01, A02, A18
C313	A01, A13, A20
C320	A01, A13
C328	A23, A27
C331	A03, A04
C340	A01, A02
C344	A17, A20
C345	A16, A18
C349	A01, A05
C374	A01, A13
C383	A01, A02, A05, A08, A18
C389	A20, A23, A28
C399	A01, A05
C411	A05, A11
C412	A11, A18
C434	A17, A21
C450	A01, A02, A18

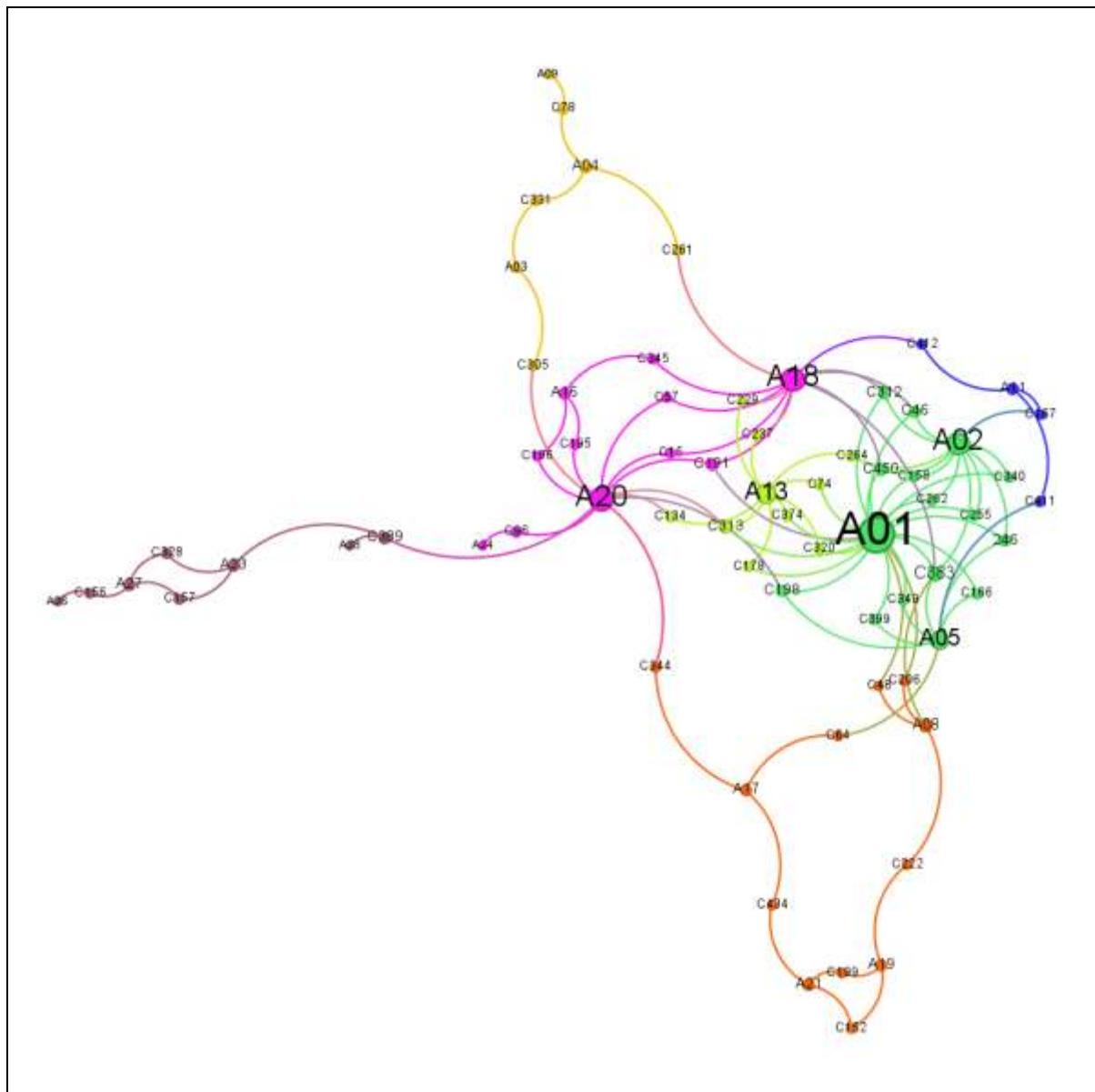
Fonte: a autora

Na figura abaixo pode-se observar a rede que essas ligações estabelecem, de forma a relacionar entre si. Para o desenho da rede abaixo foi empregado o uso do software *Gephi* com as informações do Quadro 5 acima. Essas informações são referentes aos artigos citações do corpus que foram apareceram em mais de uma citação. Sendo “A” os artigos *corpus* e os “C” as citações provenientes do *corpus*. Da mesma forma que na figura de rede acima e anterior a essa, para a disposição do layout, baseou-se na força de atração e repulsão entre os nós, por meio da aplicação do *force-atlas*.

Sendo que alguns artigos se destacam mais na figura em razão de

apresentarem maior quantidade de artigos que citaram eles, ou seja, empregaram estes na composição bibliográfica de elaboração. Outros artigos com menor número de citados, aparecerem menos evidenciados na figura, e alguns ainda mais afastados, porém não desconectados.

Figura 5 – Ilustração da rede das citações e artigos corpus



Fonte: a autora

Para melhor compreensão, ao identificar na figura 5 acima o C345 (lilás), observa-se que este possui ligação com o artigo A16 (lilás) e A18 (lilás), ou seja, o C345 usou como referência tanto o artigo A16 como o A18. Outro exemplo, o C389 (marrom) possui ligação com o A20 (lilás), o A23 (marrom) e o A28 (marrom). O C383 (verde) possui conexão com o A01 (verde), A02 (verde), A05 (verde), A08

(laranja), e A18 (lilás).

Quanto maior o tamanho do círculo que os representam, maior a quantidade de citações que estes tiveram, assim também ocorre como a descrição de cada artigo, quanto maior a inscrição descritiva destes, maior a quantidade de conexões que ela possui.

Após trazer um olhar para esses resultados de formação de rede, na próxima seção será apresentada uma análise desses artigos categorizados como ensino, de modo a olhar outras aproximações entre esses artigos que se utilizam de abordagens, que consideram entidades humanas e não humanas em práticas sociais de ensino e adotam uma perspectiva relacional para estudar essas práticas, apontando possíveis traduções em cada um dos artigos selecionados.

5.2 FLUXO SANGUÍNEO ADAPTADO X ARTIGO CORPUS

Numa perspectiva de olhar os artigos *corpus*, em que existem 12 artigos teóricos e 18 deles voltados ao ensino, pode-se dizer que os artigos classificados como teóricos são identificados como elementos do conhecimento científico, que emergem na rede com apresentação de informações relevantes do tema, ou seja, fazem parte da teoria em si, proposta dentro de Teoria Atômica com suas vertentes, por exemplo, um voltado especificamente ao Modelo de Dalton, outro voltado à construção do espectroscópio, entre outros, mas todos voltados a área dura da Química (Teoria Atômica).

Para os demais artigos, que (também fazem parte do conhecimento científico) e estão diretamente relacionados a ensino (18), em um viés para as práticas do ensino de Ciências, foi realizada uma adaptação do fluxo sanguíneo da Ciência como forma de compreender a constituição dos artigos, de modo a, posteriormente, trabalhar com a identificação de possíveis traduções apresentadas por eles.

O intuito dessa categorização se relaciona com os fluxos existentes dentro das práticas de ensino que circulam dentro desse sistema proposto em que se faz necessário um coração palpante que bombeie possibilidades para que o ensino-aprendizagem ocorra.

Assim, foram considerados os elos do sistema da Figura 1, propostos por Latour (2001), e em uma forma de categorização, aproximação e adaptação dos dados presentes nos artigos científicos, iniciou-se com o elo de mobilização de

mundo (1), sendo entendida como o meio pelo qual os humanos e não humanos se inserem no discurso, no qual se observam facilidades para a transformação de mundo, que são convertidos em argumentos ou uso de outros que auxiliam na aprendizagem, e para os artigos foi observado o uso de programas ou ferramentas, ou emprego de experimento ou aplicativo para auxiliar o ensino-aprendizagem.

Para o elo autonomização (2), entende-se como aliados para que o ensino se consolide ou movimento em que a pesquisa se torna independente com seus próprios critérios de relevância. Então, a adaptação para este elo está na compreensão do emprego do tipo de proposta ou método de ensino escolhido pelo aplicador, professor ou autor da proposta.

No elo alianças (3), que presume o estabelecimento de parcerias que possam viabilizar as práticas de ensino, entende-se como local de realização dessas propostas, ou algum tipo de financiamento para sua execução, e as parcerias estabelecidas para que essas práticas sejam viabilizadas.

No elo (4) tem-se a representação pública, entendida como o artigo publicado, que é o modo como o conhecimento científico é apresentado a não especialistas, porém nesse momento será considerada a maneira como o artigo é viabilizado ao leitor, se é apenas informativo, teórico, resultado de pesquisa, estudo, proposta, proposta aplicada, entre outros. O elo 5 não entrou nesse momento de categorização, porém é um elo que faz a amarração em todos os demais citados.

Com essa perspectiva do fluxo sanguíneo estabelecido, os artigos *corpus* Ensino foram analisados e sua disposição perante as categorizações e informações podem ser observadas no Quadro 6.

Quadro 6 – Categorização dos artigos com os elos do fluxo sanguíneo das Ciências

Artigo	Elo (1)	Elo (2)	Elo (3)	Elo (4)
A01	Uso de modelos intuitivos dos alunos; história das Ciência	Aula dialogada	Aplicação escola x, 8ª série fundamental; UFMG	Aplicada a alunos
A05	Professor 1 – livros. Professor 2 – textos. Professor 3 – texto; instrução; experimentação	Análise de ensino e aprendizagem	Professores do ensino médio; doutorado Unicamp	Estudo observação de professores; sugestão de professor como mediador

A08	Uso de Hipermídia (CD-ROM Representações Imagéticas dos Modelos Teóricos para a Estrutura da Matéria); lúdico	Sugere: professor mediador	Autora ligada à Unicamp, produtora de material hipermídia	Proposta (não aplicada)
A10	Experimentos	Sugere: professor mediador	Professor PUC – RIO – professor centro federal de educação tecnológica de SC	Proposta (não aplicada)
A11	Experimentos	Sugere: professor mediador	Professor escola Vera Cruz; professora da USP	Proposta (não aplicada)
A13	Análise da literatura para identificar concepções alternativas do estudante	Sugere: professor diagnosticar	2 professoras da USP (IQ)	Proposta (não aplicada)
A14	Peça teatral	Sugere: discussão sobre Ciências, após a peça	Curso: química através do teatro (disciplina optativa UFBA)	Disciplina optativa UFBA
A16	Experimentos; problematização	Abordagem problematizada	Para ensino pré-vestibular – ONG fonte – Araraquara – SP	Aplicada a alunos
A17	Atividade lúdica: palavra cruzada	Atividade lúdica	1º ano ensino médio – escola pública – Dourados – MS	Aplicada a alunos
A18	Questões aplicadas para investigar o conhecimento dos alunos	Sugere: professor mediador	3º ano ensino médio – escola pública – SP; professor USP	Estudo
A19	OVA (ambiente virtual de aprendizagem):	Material didático digital com animações e analogias	FAPEG; CNPQ; SEE – GO	Material disponível em repositório de objetos digitais do

	ciberatômico	computacionais		MEC
A20	Texto; experimento	Mediações pedagógicas	1º ano ensino médio – escola estadual – Aracaju; 2 licenciandos da UFS	Aplicada a alunos
A21	Simulador; método Jigsaw	Professor mediador + estratégia de aprendizagem cooperativa	9 ano – escola pública – Lajeado – PE; professor UFPE	Aplicada a alunos
A23	História da Ciência; livros didáticos	Revisão bibliográfica em livros didáticos	2 professores UNB; 1 professora mestranda	Análise bibliográfica
A24	Simuladores; vídeos (<i>YouTube</i>)	Sugere: professor mediador	Coltec UFMG; portal do professor	Proposta (não aplicada)
A25	Vídeos, animações e simulações	Ensino por investigação	1º ano ensino médio – escola pública federal – BH; UFMG	Aplicada a alunos
A28	TWA – <i>Teaching With Analogies</i>	Mediações pedagógicas	2º ano ensino médio – escola pública – MG; UFOP	Aplicada a alunos
A30	Biografia de Nagaoka	Abordagem STEAM	1 professor UFSCAR; 1 professor USP	Proposta (não aplicada)

Fonte: a autora

Par melhor compreensão das categorizações nos elo do fluxo sanguíneo adaptado, observa-se para o A01, que o elo 1, que indica o meio pelo qual os humanos e não humanos se inserem no discurso, no qual se observam facilidades para a transformação de mundo, que são convertidos em argumentos ou uso de outros que auxiliam na aprendizagem, foi utilizado modelos intuitivos dos alunos em associação com história das Ciências; para o elo 2, que consistiu na compreensão do emprego do tipo de proposta ou método de ensino escolhido pelo aplicador, professor ou autor da proposta, vê-se a utilização da aula dialogada com Ensino Investigativo. Para o elo 3, no qual entende-se como local de realização dessas

propostas, ou algum tipo de financiamento para sua execução, e as parcerias estabelecidas para que essas práticas sejam viabilizadas, tem-se um parceria entre a escola de aplicação da proposta, sendo um 8^a série do fundamental em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). E, no elo 4, que é o modo como o artigo é viabilizado ao leitor, vê-se uma proposta de ensino aplicada a alunos.

Desta análise categorizada, pelo fluxo sanguíneo da Ciência adaptado, dos 18 artigos *corpus* voltados ao ensino, pode-se extrair algumas informações adicionais. Com o olhar no elo 4, que retrata os caminhos que a representação pública permeia, vê-se que existem propostas de ensino, propostas de ensino aplicada, estudo realizado, material didático disponibilizado para aplicação, e ainda uma disciplina optativa. Sendo que 6 artigos são propostas aplicadas, 6 são propostas sem aplicação, 3 são estudos, 1 é material didático, 1 é uma análise bibliográfica, e 1 é uma disciplina optativa.

Em outro movimento analítico, para trabalhar com as traduções, os 6 artigos que foram categorizados como proposta de ensino aplicada, foram esmiuçados com análise temática de forma a compreender suas relações, entre outros atores presentes nessa rede. Os demais não entraram nessa análise, uma vez que o intuito nesta pesquisa é trabalhar com uma identificação ou compreensão das traduções dos artigos voltados ao ensino com aplicação, ou seja, os apontamentos de traduções a serem identificados comprehendiam a prática da ciência em um âmbito aplicado, de forma a integrar os movimentos de ensino-aprendizagem.

Nesse momento, então, são analisados de forma aprofundada os artigos A01, A16, A17, A21, A25 e A28. Na sequência tem-se um resumo do assunto do artigo e como este foi elaborado, seguindo para a próxima seção que apresentam as traduções desses artigos.

Artigo A01: Aulas de química. Conteúdo: matéria / dilatação. Alunos da 8^a série do Ensino Fundamental. Tipo de metodologia: aula dialogada com uso de experimento e modelos.

Proposta 1: um tubo de ensaio com um balão na boca é aquecido, e solicitado aos alunos que representem por desenho o modelo do antes e do depois do aquecimento, e explique o acontecimento.

Ideia apresentada pelos alunos: substancialismo na dilatação do ar. Não existe vazio

entre as partículas, existem outras partículas.

Proposta 2: modelos ilustrativos do comportamento do ar em uma seringa sendo comprimida com seu orifício fechado.

Ideia dos alunos: a ideia de que a natureza abomina o vazio permanece.

Justificativa identificada pelo professor para o fato: maneira como é trabalhado modelo atômico inicialmente partindo de Dalton, porém não esclarecendo muitas vezes modelos mais elaborados, trabalhando com os estados físicos da matéria, explicando os espaços existentes entre as moléculas etc.

Sugestão do professor para superar a situação identificada como generalizada para a maioria dos estudantes dessa faixa etária: empregar exemplos da própria história das Ciências. Trabalhar o desenvolvimento de ideias científicas e desmistificar visões simplistas de que a Ciência se desenvolve linearmente e de que as teorias científicas se originam unicamente como consequência do acúmulo de fatos empíricos, empregando argumentos racionais e uso de exemplos da história das ciências para essa superação.

Artigo A16: Curso pré-vestibular. Coordenado pela ONG – FONTE (Frente Organizada pela Temática Étnica), cursinho para alunos de baixa renda. Conteúdo: interações intermoleculares.

O Professor defende que é no diálogo da realidade observada, na problematização e na reflexão crítica de professores e estudantes que se faz o conhecimento.

Etapa 1: coleta de informações a respeito das concepções dos estudantes sobre o assunto.

Resultado: a grande maioria entende que o tema está relacionado à mistura.

Proposta: a superação deve acontecer no diálogo, sem imposição de um saber por parte do professor.

Etapa 2: problematização das concepções dos estudantes. Associado a trabalho em grupo com exposição oral, discussão e escrita por parte dos alunos.

Resultado: estabeleceram ideias mais consistentes por meio do debate geral e debate em grupo. Embora ainda apresentasse algum conceito inadequado.

Etapa 3: retomada de discussão no tema, e aplicação de experimentos simples envolvendo misturas de espécies químicas.

Resultado: educador e educandos, mediados pelos resultados experimentais obtidos, refletiram na busca de alguns apontamentos.

Proposta: se evidencia o papel do professor como mediador da discussão, não como detentor de um saber depositado nos alunos.

Etapa 4: avaliação por meio de questionário aberto.

Resultado: A resposta correta aos problemas é um indicativo de uma aprendizagem crítica, visto que para resolvê-los os alunos precisaram aplicar conceitos estudados para prever situações, e não apenas repetindo algo memorizado.

Considerações do professor: tal abordagem posta em prática possibilitou um refinamento conceitual relativamente elevado no que concerne às interações intermoleculares. Ressaltando o papel participativo dos estudantes, como resultado da abordagem problematizadora, e emprego de experimento, com evidências finais positivas com relação à aprendizagem.

Artigo A17: Ensino de química. Conteúdo: teoria atômica. Alunos de 3 turmas do 1º ano do Ensino Médio de uma escola pública no Mato Grosso do Sul.

O artigo propõe uso de palavras cruzadas como uma substituição dos exercícios de fixação em sala de aula ou extraclasse.

Antes da aplicação da atividade, o conteúdo da aula é ministrado aos alunos. E posteriormente a atividade é realizada, sendo aplicada uma parte em sala e a outra parte como extraclasse.

Resultado: Após a aplicação da atividade, os professores das turmas realizaram avaliações sobre o conteúdo ministrado, e os resultados indicaram que houve um aumento significativo nas notas apresentadas pelos alunos com a atividade.

Conclusão: o uso de palavras cruzadas relacionadas à teoria atômica se mostrou um instrumento versátil e facilitador no processo de ensino-aprendizagem, com promoção de motivação.

Artigo A21: Ensino de química. Conteúdo: conceitos de atomística. Anos do 9º ano escola pública, cidade de Lajedo / PE.

O artigo aponta proposta aplicada pelos autores, em uma aula, em que se iniciou com um bate-papo sobre o tema, com uso do texto “O átomo e a tecnologia” (Tolentino e Rocha-Filho, 1996), com leitura individual e discussão posterior.

Num segundo momento a turma foi dividida em 4 grupos. E cada grupo ficou responsável por um assunto designado pelo professor dentro do tema principal. Os grupos foram direcionados ao laboratório de informática, com um roteiro

experimental para guiar as atividades e um manual com instruções sobre o uso do software. Após as atividades cada grupo teve que expor aos demais grupos suas descobertas. O aplicativo utilizado foi um software do tipo simulação, intitulado Rutherford Scattering, desenvolvido pelo grupo PhET da University of Colorado-Boulder.

O modo de avaliação final foi um questionário com 6 questões. E como conclusão o autor descreve que o uso do software de simulação e a estratégia de aprendizagem cooperativa (método Jigsaw), mostrou-se eficaz com ajuda do professor mediador do processo de ensino-aprendizagem.

Artigo A25: Ensino de modelos atômicos. Proposta de Sequência de Ensino. Alunos do 1º ano do Ensino Médio de escola pública de Belo Horizonte / MG.

A proposta da sequência de ensino é baseada em ensino por investigação com uso de recursos multimídias. Os alunos foram divididos em grupos, foram utilizados vídeos com o assunto Matéria para contextualização, depois apresentados modelos por meio de objetos educacionais, na sequência usou-se o simulador phet colorado para demonstração do conteúdo, seguido por conteúdo aplicado pelos professores com apresentação de *slides*. Seguido de experimentos e simulações no phet colorado. A proposta foi elaborada pensando em 5 argumentos que sustentam a proposta, sendo o primeiro os parâmetros curriculares nacionais. O segundo é pautado em Mortimer e se refere à simulação com caráter de experimento. O terceiro corrobora com o segundo, uma vez que reforça o papel relevante da simulação. O quarto está ligado à forma tradicional com a qual a maioria dos professores de química trabalha. E por último, o quinto, baseia-se no ensino por investigação, que aponta características desejadas para essa proposta.

Como resultado, os elaboradores e aplicadores da proposta, que utilizaram a proposta na aplicação do estágio obrigatório, sendo acompanhados por professor regente, dizem ter se aproximado mais com a metodologia ensino por investigação, por terem aplicado em um contexto escolar. O envolvimento dos alunos participantes foi bastante satisfatório, como também o desenvolvimento das atividades propostas, onde foi possível estimular a participação dos alunos, e auxiliá-los na construção de ideias importantes para o conhecimento químico.

Artigo A28: Ensino de Química. Conteúdo: modelo atômico de Thomson. Alunos do

2º ano do Ensino Médio de uma escola pública do interior de Minas Gerais.

O artigo apresenta uma proposta de ensino que foi ministrada em uma aula de 50 minutos pela autora do artigo, com o objetivo principal de trabalhar a analogia entre o modelo atômico de Thomson e o “pudim de passas”, a partir das etapas do modelo TWA (*Teaching with Analogies*). Nesta intervenção, além das pesquisadoras autoras desse trabalho, estavam presentes na aula dois estagiários do curso de Licenciatura em Química, os quais observavam regularmente as aulas de Química nessa turma. A proposta seguiu na perspectiva TWA de uma primeira etapa: introduzir o conceito alvo, que ocorreu por meio de discussão sobre o trabalho dos cientistas e sobre as principais ideias propostas por Dalton em seu modelo, na intenção de se discutir as reformulações daquelas ideias por Thomson, baseado em novas evidências. Na sequência veio a etapa 2: rever o conceito análogo. Consistiu em apresentar aos estudantes uma figura (pudim de passas) e discutir com eles as características do análogo “pudim de passas”. A etapa 3 foi identificar as características relevantes do alvo e análogo, em que foi debatido sobre o análogo e o alvo, e a pesquisadora, com a participação de alguns estudantes, ressaltou as principais características dos dois domínios. Após a discussão do mapeamento, a pesquisadora sistematizou no quadro as relações estabelecidas entre o “pudim de passas” e o modelo atômico (etapa 4: mapear as semelhanças). Na sequência, a pesquisadora questionou os estudantes sobre as limitações daquela comparação, esclarecendo o significado desse termo (etapa 5: identificar onde a analogia falha). No fim, quando a pesquisadora estava no processo de conclusão (etapa 6: tirar conclusões) e sistematização das ideias, foi notada uma evolução na participação dos estudantes, o que possibilitou uma maior interação da pesquisadora com a turma.

Em um segundo momento, com 3 semanas de período de tempo, um questionário com o objetivo de analisar a compreensão dos estudantes sobre o modelo atômico de Thomson foi aplicado aos estudantes.

Ao avaliar os efeitos da proposta guiada por TWA, evidenciou-se que grande parte dos estudantes foi capaz de compreender a relação de similaridade de distribuição homogênea de passas/cargas entre o “pudim de passas” e o modelo atômico de Thomson. Finalizando com a contribuição e certeza de que este trabalho pode contribuir com professores (em formação e em atuação) na reflexão sobre o papel das analogias no ensino de Ciências.

Na próxima seção desta pesquisa, são apresentadas as possibilidades de

tradução para os seis artigos do *corpus*, categorizados como ensino, que são constituídos de uma proposta aplicada aos alunos.

5.3 TRADUÇÕES DOS ARTIGOS CORPUS

Como visto no capítulo 3, as redes constituem-se em um sistema coletivo de ação, onde os distintos atores envolvidos no processo social estabelecem alianças em função de objetivos comuns, contemplando seus respectivos interesses, isto é, aquilo que os ajude a alcançar seus objetivos entre as muitas possibilidades existentes. O processo de expansão e de consolidação da rede, que consiste em estabelecer conexões entre atores que não estavam anteriormente conectados, pode ser compreendido pela noção de tradução ou translação (CALLON, 2017).

Neste processo coletivo, as redes operam por meio de traduções provisórias e experimentais, que elaboram, fazem circular e estabelecem os saberes, as competências e os artefatos técnicos necessários às novas práticas (LATOUR, 2001). Por serem totalidades abertas, capazes de crescer por meio de fluxos, circulações e alianças que interferem e sofrem interferência de diversos atuantes (LATOUR, 2001). Assim, segundo Callon (2008, p. 308), “[...] a ideia de tradução corresponde à circulação e transporte, a tudo que faz que um ponto se ligue a outro pelo fato da circulação”.

Assim, a tradução para ANT é o deslocamento, algo que vai com a correnteza, invenção, mediação, a criação de um novo *link* que não existia antes e que opera modificações em todos os agentes (LATOUR, 1999). A tradução é um processo que envolve, simultaneamente, desvios de rota na circulação de ações (transporte) e articulações nas quais cada elemento expressa os interesses dos demais elementos em sua própria linguagem. Portanto, toda translação envolve actantes.

As traduções se tornam peça central da teoria de Latour por serem as alianças que se estabelecem entre interesses que, mesmo diferentes, deverão se unir para se tornarem mais fortes. Costa (2023) aponta que, para Latour (2016, p. 28), “um determinado curso de ação sempre é composto por uma série de desvios cuja interpretação, posteriormente, define uma defasagem que dá a medida da tradução” (Figura 8).

Ainda de acordo com Costa (2023), a tradução pode ser compreendida como

“deslocamento, desvio de rota, tendência, invenção, criação de um vínculo que não existia e que, até certo ponto, modifica os elementos imbricados” (LATOUR, 2001, p. 207), ou ainda “uma conexão que transporta, por assim dizer, transformações” (LATOUR, 2012, p. 160).

Os atores dessa pesquisa, no caso os artigos *corpus*, classificados como ensino, estão vinculados a essa rede por meio do tema que é teoria atômica, e se relacionam com ensino e se encontram nessa tradução em que os associam à rede descrita e levantada.

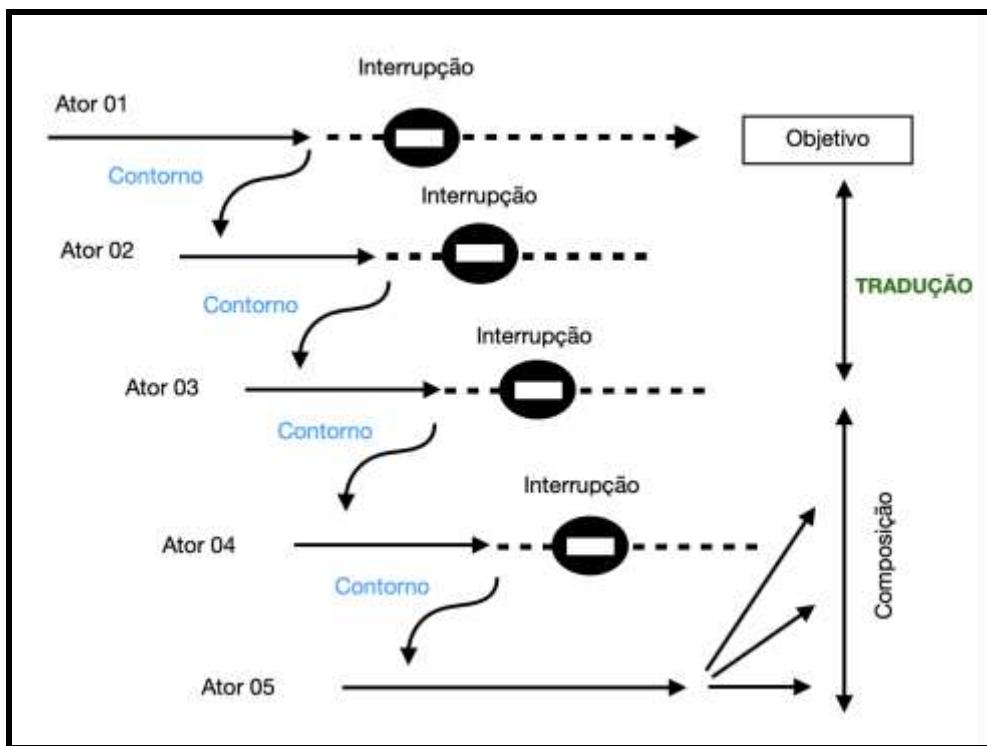
Baseando-se nas abordagens sociais e materiais, as redes são concebidas como ferramentas que permitem apresentar (mais do que representar) como uma prática é composta através de relações por atores heterogêneos. Assim, seguiu-se para uma análise de cada artigo categorizado como ensino com objetivo de compreender as relações existentes que permeiam essa tradução.

Os desvios são todos quantos forem identificados em cada artigo, partindo da medida da defasagem ou tradução, podendo em determinados artigos haver mais, enquanto em outros menos, com a ideia de identificá-los para melhor visualização da rede apresentada. Quando não há mais interrupções identificadas, tem-se uma composição como é visto na figura, esta composição podemos dizer e considerar que são as práticas de ensino adotadas por cada professor e ou autor, com o objetivo de chegar ao objetivo com as traduções no caminho.

As traduções a serem analisadas para os 6 artigos selecionados, estão relacionadas a conceito, a metodologia de ensino e teorias de aprendizagem. Este é o foco do olhar na identificação das traduções, ou seja, o olhar para as traduções após uma leitura do artigo *corpus*, ficou preestabelecido nessas três linhas citadas. Partindo sempre do tema que para todos é Teoria Atômica, com suas variações dependendo da abordagem que cada artigo faz, lembrando que atualmente o ensino predominante que se tem na educação básica é o tradicional mecanicista.

A linha de base de identificação dessas traduções parte da figura abaixo, como já explicada tem-se um objetivo e para atingi-lo ocorrem algumas interrupções nas três vertentes propostas nesta pesquisa (conceito, metodologia e teorias da aprendizagem), que incide nas traduções que formam a composição das práticas de ensino.

Figura 6 – Desvios e defasagem da tradução



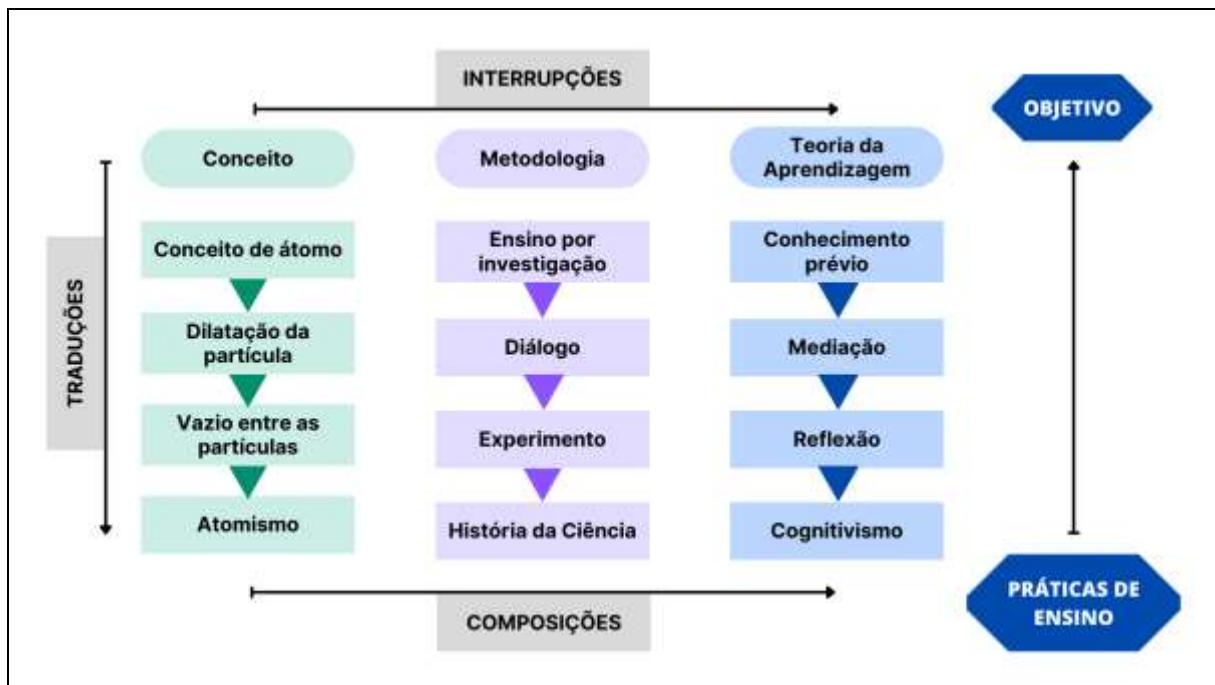
Fonte: adaptado de Latour (2016)

5.1.1 Artigo A01 – Concepções Atomistas dos Estudantes

Partiu-se para olhar as traduções em cada artigo, traduções nas três vertentes que são conceitos, metodologia e teorias da aprendizagem, e para isso foi preciso identificar o tema específico dentro da teoria atômica de cada artigo, para então olhar para as traduções.

Tem-se na Figura 7 abaixo as traduções de cada uma das três vertente estão dispostas na vertical, e na horizontal, lado a lado tem-se as 3 linhas preestabelecida de traduções. Cada linha da vertical foi uma tradução encontrada no artigo, o conjunto de todas as traduções, nas três vertentes, formam a composição que são as práticas de ensino que cada autor adotou para chegar ao objetivo.

Figura 7 – Traduções do A01



Fonte: a autora

O artigo A01 possui o tema específico sobre o conceito de átomos. E, para seguir nesse caminho, o tema já estabelecido como caixa preta pelos cientistas foi analisado nas referências do próprio artigo que contemplava o assunto do conceito de átomo, para compreender a caixa preta estabelecida no tema.

Dentro dessas referências do A01, foi possível identificar que o autor usou os conceitos de Bachelard (1996), sobre o papel dos modelos no processo de ensino e aprendizagem, enfatiza-se que o uso inadequado das imagens pode obstaculizar o conhecimento quando uma representação de átomo, por exemplo, é tomada como real e “[...] uma única imagem, ou até uma única palavra, constitui toda a explicação” (BACHELARD, 1996, p. 91).

E, pautando-se no conceito de Bachelard, Mortimer, autor do A01, trata o conceito da mesma maneira adotada por Bachelard, não havendo uma tradução no quesito conceito. Observa-se a fala do autor:

“Na superação dessas dificuldades, o professor poderá recorrer aos exemplos da própria história das ciências [...] mostrar aos alunos, através da história da ciência, que os modelos que eles propõem se assemelham a modelos históricos que foram superados por um mais simples e racional, um modelo que admite que as partículas se movimentam no espaço vazio e explica várias transformações dos materiais em termos de mudanças no arranjo, na organização, na energia e no movimento das partículas, sem a necessidade de lhes

atribuir todas as propriedades macroscópicas" (MORTIMER, 1995, p. 26).

Bachelard afirma que para utilizar a história da Ciência no ensino é necessário compreender o processo de desenvolvimento do conhecimento científico, e "sem dúvida, seria mais simples ensinar só o resultado. Mas o ensino dos resultados da Ciência nunca é um ensino científico" (BACHELARD, 1996, p. 289).

Continuando no caminho de tradução do conceito, vê-se que o autor parte do assunto de dilatação de partículas e os vazios existentes entre elas, segundo a ideia de que a natureza abomina o vazio. Sendo que algumas dificuldades para a aceitação do atomismo envolve a superação de obstáculos como a descrença no vazio entre as partículas, e, não é questão a ser decidida pelas evidências empíricas, mas pela negociação, baseada em argumentos racionais e no uso de exemplos da história das ciências (MORTIMER, 1995).

Para a metodologia de ensino diz-se averiguar uma tradução, visto que o conceito abordado é trazido para o ensino, e deixa de estar entre os cientistas, passando a ser elaborado e apresentado para discussão e ensino em sala de aula. E para isso o autor emprega o ensino por investigação, que se constitui em uma abordagem que promove o questionamento, o planejamento, a escolha de evidências, as explicações com base nas evidências e a comunicação (CARVALHO, 2018).

Vê-se uma discussão, um diálogo do professor com os alunos, a respeito do tema para verificar o conhecimento e entendimento dos alunos, com posterior apresentação de experimento seguido de atividade em que os alunos tinham que desenhar o experimento realizado, e explicar o que aconteceu, o professor vai mediando o processo e conduzindo com novos modelos de exemplificação, com explicação do conteúdo. O autor sugere o uso da História da Ciência como forma de melhorar a compreensão dos alunos, e aqui frisa-se que ele aponta toda a investigação feita com os alunos, e faz a sugestão de uso da HC no artigo para melhor ensino-aprendizagem.

O objetivo inicial estava previsto no ensino o conceito de átomo, e o objetivo final era a aprendizagem dos alunos (implícito no texto), mas presente enquanto objetivo final, em que o autor faz indicações de como mediar esse ensino-aprendizagem para se obter melhores resultados.

Na Tabela 7 acima, é possível observar os desvios, ou seja, as traduções identificadas no artigo A01 analisado, em que o objetivo é o ensino do conceito de átomo. Porém, para a realização dessa tarefa a abordagem tradicional não é suficiente para que haja compreensão dos alunos desse conceito, portanto, os desvios realizados são feitos para que o objetivo de ensino estabelecido inicialmente seja efetivamente alcançado. E para isso, o diálogo e a discussão possibilitaram identificar as dificuldades dos alunos, e por meio dessa compreensão foram sendo propostos experimentos e uma apresentação de modelagem com auxílio da mediação do professor. E, por fim, o autor indica que com o emprego ou inclusão da HC a possibilidade de alcançar a superação de dificuldades dos alunos e atingir o objetivo é ainda maior.

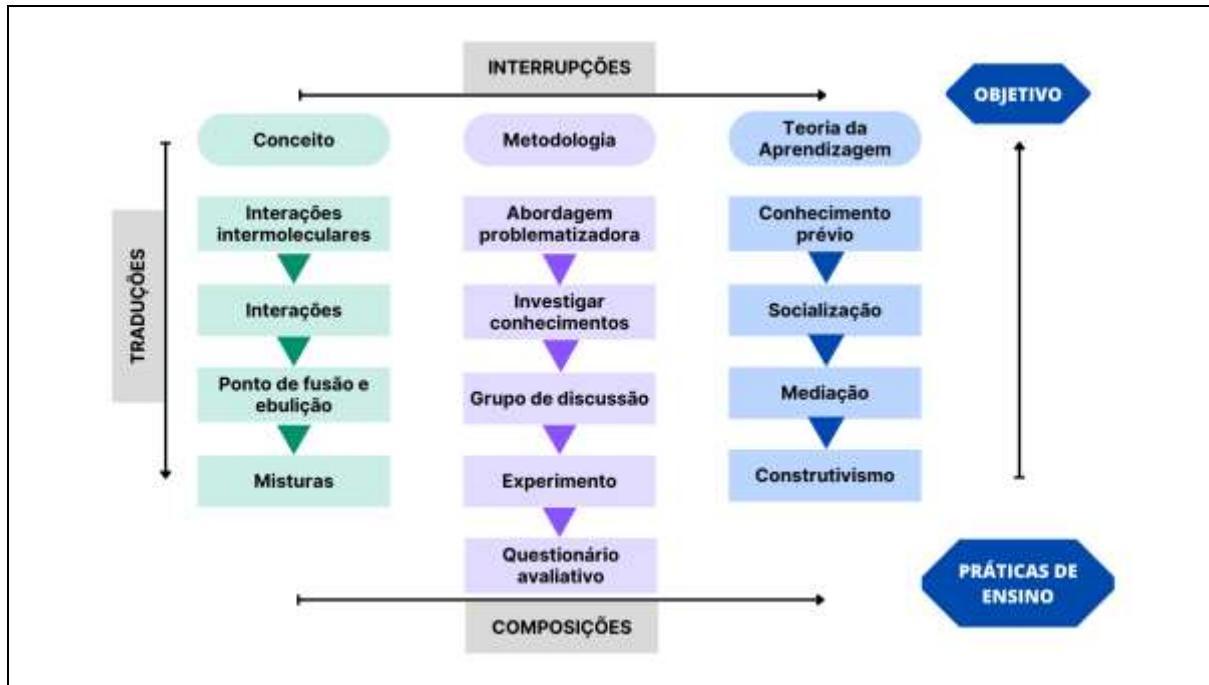
Referente à teoria da aprendizagem, identificou-se uma tradução para o cognitivismo, devido à capacidade do aluno em aprender coisas novas estar diretamente ligada a conhecimentos prévios que ele possui. Para estes teóricos, é necessário investigar quais os saberes do aluno acerca do assunto que será ensinado, e auxiliá-lo para que ele consiga sistematizar e organizar os novos conhecimentos, por meio de associações com o seu conhecimento prévio.

E no artigo é perceptível essa ação de levantamento dos conhecimentos dos alunos, devido à discussão embatida após apresentação de experimento de dilatação de partículas, e por meio da mediação do professor este coloca a classe em reflexão por meio dos diálogos e questionamentos e ainda socialização de cada conclusão dos alunos.

5.1.2 Artigo A16 – Uma Abordagem Problematizadora para o Ensino de Interações Intermoleculares e Conceitos Afins

Para o artigo A16, foram identificadas as seguintes traduções apresentadas na Figura 8 abaixo. A linha de apresentação das traduções do A16 seguem as mesmas apresentadas no A01, tanto na vertical quanto para a horizontal, formando as práticas de ensino deste autor, objetivando ensino a aprendizagem.

Figura 8 – Traduções do A16



Fonte: a autora

O tema específico do artigo A16 é sobre interações intermoleculares, como previsto e sugerido no próprio título. Ao olhar para as referências usadas pelo autor no quesito do tema, identificou-se que o autor não utilizou uma referência específica para o assunto do conceito interações moleculares, sendo assim, buscou-se outros artigos que pudessem apontar o conceito para compreender as traduções relativas.

De acordo com Rocha (2001), “interação química significa que as moléculas se atraem ou se repelem entre si, sem que ocorra a quebra ou formação de novas ligações químicas, [...] chamadas de interações não covalentes ou interações intermoleculares”. Em outras palavras, pode-se relacionar com as características de cada molécula ou átomo, que interagem entre si. Características essas elétricas, que atribuem ao átomo caráter de sistema energético estável com um núcleo positivo e elétrons de carga negativa que se ligam pela força eletromagnética.

Entendido que as interações intermoleculares são as características de determinada ligação entre átomos (de forma bem simplista), mas que também possui seus significados científicos, seguiu-se em analisar as traduções na mesma linha de conceitos, métodos de ensino e teorias de aprendizagem. E com relação aos conceitos, observa-se que a abordagem do autor se pauta nesse conhecimento

estabelecido pelos cientistas em forma de caixa-preta, e que para que este seja aplicado aos estudantes precisa ser iniciado de forma mais simples para que haja a construção do conhecimento, utilizando estratégias.

Assim, diz-se que, no tocante aos conceitos, os mesmos estão pautados no conhecimento científico e traduzidos em linguagem que os estudantes possam compreender. O autor cita etapas para execução da tarefa de ensinar o tema, na primeira etapa ele fala sobre o professor investigador coletar informações a respeito das concepções dos estudantes sobre as interações intermoleculares. Vale ressaltar que a turma de aplicação da proposta era uma turma de cursinho pré-vestibular, que possivelmente já tenha tido contato com o conteúdo.

Na segunda etapa, foram problematizadas as concepções dos estudantes levantadas na primeira etapa. Para isso, foi empregada a formação de grupos para discussão da questão proposta com registros escritos das considerações de cada grupo, com debate geral da turma. Aqui foram introduzidas ainda questões como substâncias gases e líquidos, ponto de fusão e ebulição.

Seguindo para a terceira etapa, com as concepções dos estudantes sobre as interações intermoleculares, a discussão foi retomada agora de forma mais ampla e com a realização de testes experimentais. Com os resultados experimentais o professor investigador debate com os alunos sobre os resultados, esclarecendo conceitos do tema por meio de questões que levam a uma reflexão crítica da própria pergunta, de forma a estimular a curiosidade e reflexão do aluno, com papel ativo e participativo dos estudantes, considerando as misturas, sistemas homogêneos e heterogêneos.

Retomando o conceito de professor investigador, Alarcão (2001, p. 6) afirma que “ser professor-investigador é, primeiro que tudo, ter uma atitude de estar na profissão como intelectual que criticamente questiona e se questiona”. E ainda é “ser capaz de se organizar para, perante uma situação problemática, se questionar, intencional e sistematicamente, com vista à sua compreensão e posterior solução”.

Nesses conceitos vê-se o professor investigador descrito no artigo A16, percorrendo o caminho proposto por Alarcão, problematizando o conteúdo de forma crítica, trazendo experimentos para que o estudante compreenda o conteúdo e dialogando com eles de modo a ser mediador no processo de construção do conhecimento.

Essa metodologia fundamenta-se em abordagem pedagógica crítica, que

concebe a educação como prática social voltada para a crítica e a transformação social da realidade. Essa abordagem vem sendo desenvolvida a partir de diversos autores como Paulo Freire (2008), Demerval Saviani (2009), José Carlos Libâneo (1994), Cipriano Luckesi (2005), Moacir Gadotti (1991), Henry Giroux (2012), entre outros. Nessa perspectiva, Libâneo (1994) afirma que ensino crítico:

Implica objetivos sociopolíticos e pedagógicos, conteúdos e métodos escolhidos e organizados mediante determinada postura frente ao contexto das relações sociais vigentes na prática social (...) Ensinar significa possibilitar aos alunos, mediante a assimilação consciente de conteúdos escolares, a formação de suas capacidades e habilidades cognoscitivas e operativas e, com isso, o desenvolvimento da consciência crítica (...) que não é outra coisa que o pensamento independente e criativo em face de problemas da realidade social disciplinado pela razão científica (...) (LIBÂNEO, 1994, p. 100).

Diante dessas descrições feitas acima, e pensando nos desvios para que o ensino do conteúdo proposto acontecesse, identificou-se e destacou-se na Tabela 8 acima as traduções previstas no artigo. Iniciando com a abordagem de ensino prevista, que foge da tradicionalista, e se pauta no professor como mediador do conhecimento em uma construção em que o aluno é exposto a um processo investigativo com experimentos, discussões com questões, e história da Ciência. Assim, as interrupções descritas na figura foram identificadas na leitura realizada na íntegra do artigo, e que o autor foi expondo como processo na proposta realizada.

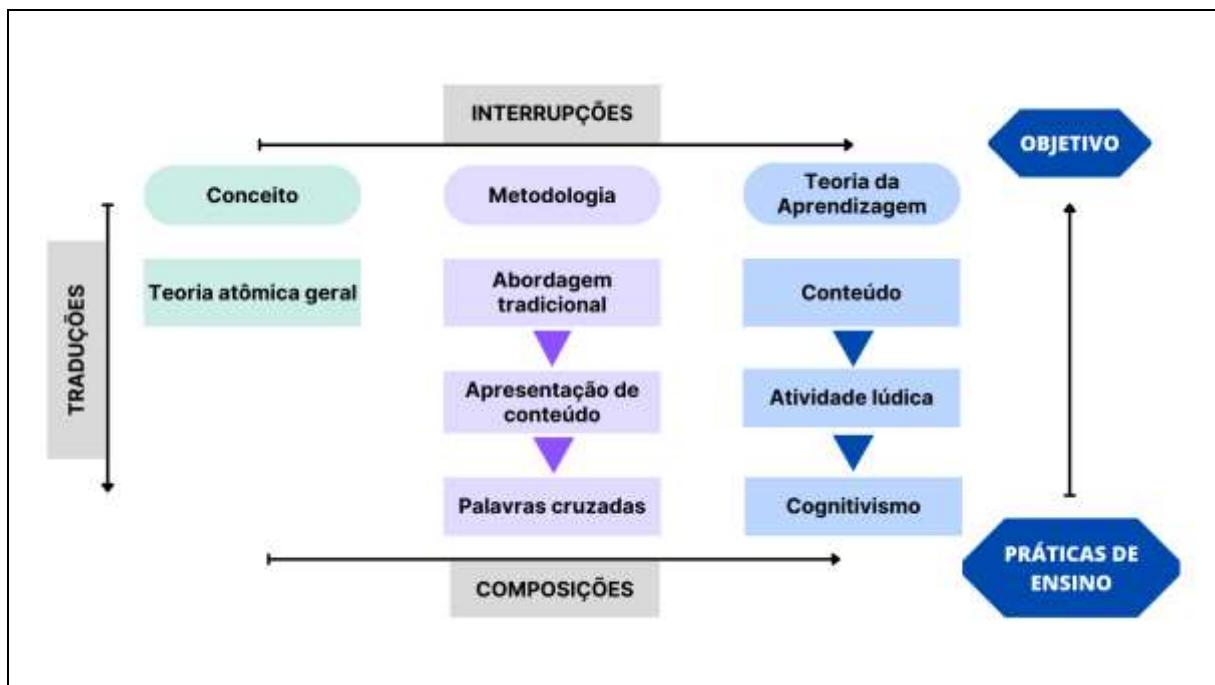
A teoria de aprendizagem é vista como construtivista, baseando-se no fato de que o artigo aponta evidências do professor como mediador do conhecimento, e o discente é atuante nessa construção em que há uma identificação da concepção dos alunos frente ao conteúdo, uma discussão em grupos menores, experimentação em que os alunos participam e interagem com intenção de desenvolver competências e diálogo com finalidade de verificar a aprendizagem, sendo o aluno pensador, crítico, com participação ativa, reflexivo, alcançando novas compreensões e entendimentos.

5.1.3 Artigo A17 – Palavras Cruzadas como Recurso Didático no Ensino de Teoria Atômica

Para o A17, as traduções identificadas neste estão apontadas na Figura 9 abaixo. O método demonstrativo segue o padrão dos anteriores, como a forma de

identificação deles também.

Figura 9 – Traduções do A17



Fonte: a autora

O artigo A17 tem como conteúdo teoria atômica, conceitos e definições. E para abordar o ensino do conteúdo, a proposta do autor se pautou no desenvolvimento e aplicação de palavras cruzadas como recurso didático na aprendizagem. As palavras cruzadas foram utilizadas com a função lúdica de despertar o interesse dos alunos, devido ao desafio que lhes impõem, e com funções didáticas diversas advindas das ações tomadas por estes para realizarem essa atividade lúdica.

As palavras cruzadas foram elaboradas pelo professor com o conteúdo em questão, e aplicadas como atividade lúdica em substituição aos exercícios do livro didático e ou qualquer material complementar de aprendizagem. Sua aplicação se deu após ministrar a aula relativa ao assunto. No artigo, não houve ênfase na maneira como essa aula foi procedida, a interpretação que faz pela leitura do artigo é uma aula tradicional com aprendizagem mecânica, pela falta de evidências descritas no próprio artigo que se faça crer que a abordagem empregada para a teoria havia sido diferenciada para posterior aplicação da atividade lúdica. Fica claro apenas a substituição da atividade comum pela palavra cruzada.

A aplicação se deu para 3 turmas de 1º ano de Ensino Médio, e verificou-se durante a aplicação interesse por parte dos alunos pela resolução da atividade lúdica proposta. Para responder à palavra cruzada os alunos puderam pesquisar no livro didático, no caderno, fazer questionamentos sobre a interpretação de conceitos e definições ao professor e, às vezes, ao próprio colega.

As referências do artigo não apresentaram nenhuma dentre elas relativas ao conteúdo de química: teoria atômica. E, ao observar a atividade que se encontra anexa ao artigo, percebe-se o conteúdo químico com uma abordagem de química geral de teoria atômica, envolvendo conceitos do conteúdo, cientistas da história de Ciência que desenvolveram o tema, o átomo nuclear, as partículas, propriedades quânticas, íons, os modelos, distribuição energética, Prêmio Nobel de Física Atômica, filósofos, entre outros.

Assim, vê-se que o objetivo principal do artigo não estava focado na aula em si, em como a aula foi pensada e elaborada, ou na forma de abordagem de ensino do conteúdo teórico, mas na metodologia lúdica como alternativa à proposta de exercícios. Dessa forma, entende-se que para esse artigo não é possível discorrer a respeito de tradução no conceito.

Sabe-se que, nos debates acerca da utilização do jogo com fins educativos, é comum a discussão quanto às suas duas funções principais que, segundo Kishimoto (1996), uma é referente à função lúdica, ou seja, o jogo relacionado com a diversão, ao prazer; e outra, à função educativa, na qual está envolvido o pedagógico e o educativo. Que ambas as funções intencionadas quando da aplicação da palavra cruzada, pois “palavras cruzadas foram utilizadas com a função lúdica de despertar o interesse dos alunos, devido ao desafio que lhes impõe, com funções didáticas diversas advindas das ações tomadas por estes para realizarem a atividade lúdica” (BENEDETTI FILHO *et al.*, 2008, p. 90).

O lúdico apresenta-se como uma possibilidade de ensino que visa à reflexão e a ligação entre o que é imaginário e o que é real (VYGOTSKI, 1998). Nesse sentido, a inclusão do lúdico justifica-se à medida que pode auxiliar os educadores na promoção de uma educação na busca de resgatar valores humanos, assegurando que atuem de forma física e mental por meio de interações sociais, bem como na melhoria do ensino.

Destarte, as traduções identificadas neste artigo baseiam-se na atividade proposta como alternativa aos exercícios normalmente aplicados como

complementar, com intuito de motivar os alunos a interagirem com o conteúdo, e entre si, de forma a socializar o conteúdo, além de buscarem pesquisar as respostas de modo que a aprendizagem seja melhor efetivada com este método. Assim segue na Tabela 9 acima. E vê-se que, referente às traduções, prevê a substituição dos exercícios de fixação do conteúdo pelas palavras cruzadas, seguindo as demais que puderam ser identificadas na leitura integral do artigo, em que o autor descreve uma resistência inicial dos alunos para a realização da atividade, mas que foi superada com diálogo e incentivo do professor ao trabalho deles de pesquisar respostas, como também socializar os conhecimentos durante a realização da atividade.

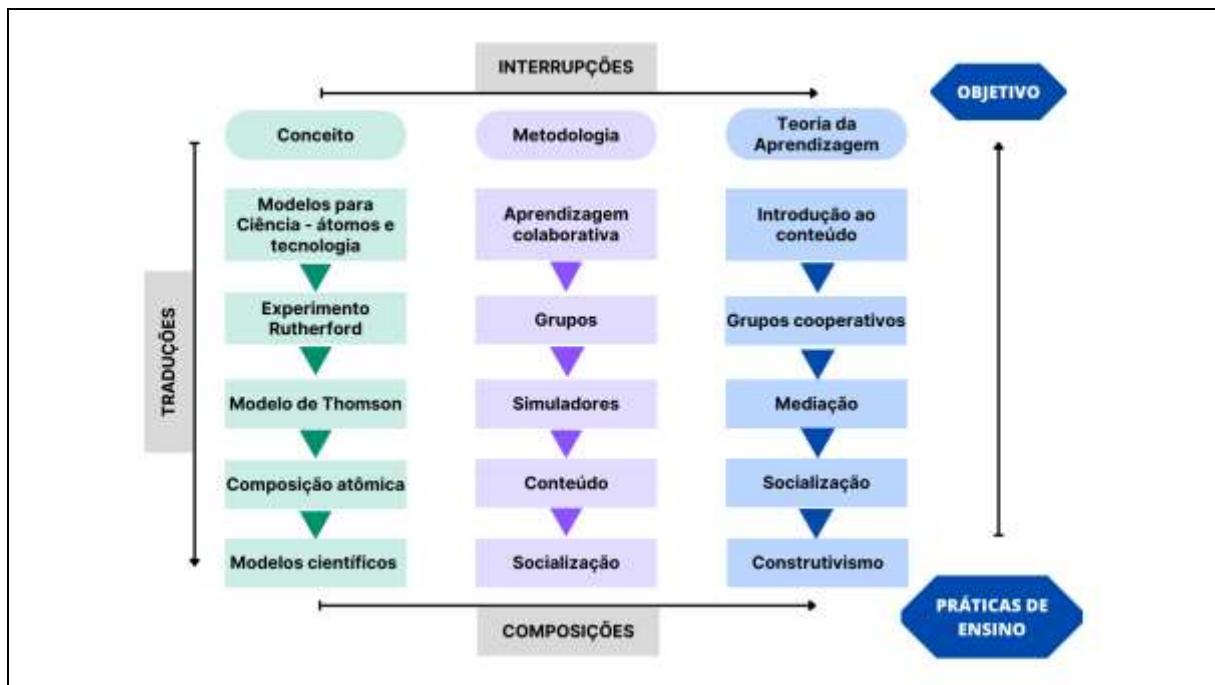
Relativo à teoria de aprendizagem, o que pode se afirmar são apenas evidências do emprego de aprendizagem mecânica, pois no artigo diz: “Foi sugerida aos professores a apresentação dos conteúdos antes da utilização das palavras cruzadas, devido ao fato de o livro didático adotado não ter sido analisado previamente como suficiente ou inadequado para pesquisa ou estudo pelo aluno para preencher as palavras cruzadas” (BENEDETI FILHO *et al.*, 2008, p. 90). Complementando ainda: “Nenhum material didático complementar ao livro didático foi desenvolvido ou selecionado com o propósito de subsidiar a aplicação da atividade lúdica antes das aulas sobre o assunto terem sido ministradas” (BENEDETI FILHO *et al.*, 2008, p. 90).

Assim, pode-se concluir que a tradução se deu no emprego da atividade lúdica (palavra cruzada), em que uma parcela da turma apresentou resistência, e que posteriormente executaram a tarefa, e os resultados obtidos foram positivos.

5.1.4 Artigo A21 – Softwares de Simulação no Ensino de Atomística: Experiências Computacionais para Evidenciar Micromundos

As traduções identificadas no artigo A21 estão descritas na Figura 10 abaixo, seguindo as mesmas análises dos anteriores.

Figura 10 – Traduções do A21



Fonte: a autora

O artigo A21 possui como tema central o conteúdo dos modelos atômicos. O autor apresenta uma sequência didática pautada em aprendizagem cooperativa com o professor mediador, e o aluno atuando como protagonista do processo de aprendizagem.

Ao olhar para os referenciais teóricos empregados neste artigo, alguns deles remetem ao conteúdo de atomística, e, dentre eles, um atrai um olhar mais aguçado para nossa análise, pois está dentre os artigos elencados como teórico no *corpus* inicialmente selecionado.

O artigo referencial em questão, cujo título é “O átomo e a tecnologia” de Tolentino e Rocha-Filho, foi publicado em maio de 1996. Apresenta o ensino da estrutura do átomo como um rico manancial de fatos que resultaram em aplicações importantes ou explicaram fenômenos do dia a dia. Ele traz conceitos dos modelos atômicos compreendidos como caixa preta, que sofre traduções para emprego no ensino em escolas e ao público leigo.

Sobre as traduções identificadas em conceitos, a aula foi iniciada com bate-papo sobre a importância e necessidades dos modelos para a Ciência, leitura de artigo intitulado de “Átomo e tecnologia”, seguido de trabalho em grupo, que se deu com um tema para cada grupo: Experimento de Rutherford; O modelo de Thomson;

Composição atômica; e Modelos científicos. Posteriormente, foi feita uma socialização entre os grupos de modo a todos conhecerem sobre os 4 temas, sendo a tradução em conceitos iniciando em modelos para a Ciência, seguido do tema átomo e tecnologia e posteriormente os modelos atômicos.

Referente à metodologia de ensino adotada pelo autor vê-se a utilização de aprendizagem cooperativa, com a utilização do método de JigSaw. Essa metodologia consiste em dividir a turma em grupos que vão trabalhar de modo cooperativo, se reorganizando em diferentes momentos e agrupamentos para partilhar e construir conhecimento. O método foi desenvolvido por Elliot Aronson, em 1978, e possui esse nome por referência a quebra-cabeças tradicionais (FIRMIANO, 2011). O trabalho que cada aluno realiza é essencial para a concretização do trabalho final do grupo e a sua sistemática de funcionamento, que se assemelha à de um quebra-cabeça.

Segundo Moreira (2012, p. 32):

O professor, ao assumir o seu papel de incentivador e observador, desenvolve uma grande flexibilidade e criatividade na sua função de formador e educador, dando-lhe, também, uma oportunidade para desenvolver trabalho colaborativo com os seus pares, substituindo o isolamento que caracteriza o seu desempenho no ensino tradicional. Por outro lado, os professores devem ter uma boa preparação e motivação na implementação desta estratégia. Desta forma, evitar-se-iam problemas relacionais entre os alunos, bem como dificuldades de coordenação dos grupos por parte do professor (MOREIRA, 2012, p. 32).

Assim, as traduções identificadas como possíveis no artigo em questão podem ser visualizadas acima, e se iniciam com uma interrupção da abordagem totalmente tradicional de ensino, partindo para uma proposta colaborativa em que se trabalha com grupos menores e com recursos para que o aluno obtenha resultados positivos por meio da proposta de ensino aplicada. As demais interrupções são identificadas no decorrer do texto do artigo com as indicações feitas pelo autor do uso das ferramentas, e modo de trabalho aplicado, visando o objetivo final (ensino-aprendizagem).

No que tange à teoria de aprendizagem, observa-se o construtivismo, em que o aluno desenvolve suas estruturas mentais no processo de construir o conhecimento, mediado pelo professor, não havendo nada de passividade e sim um processo contínuo de assimilação, acomodação e equilibração progressista, e o

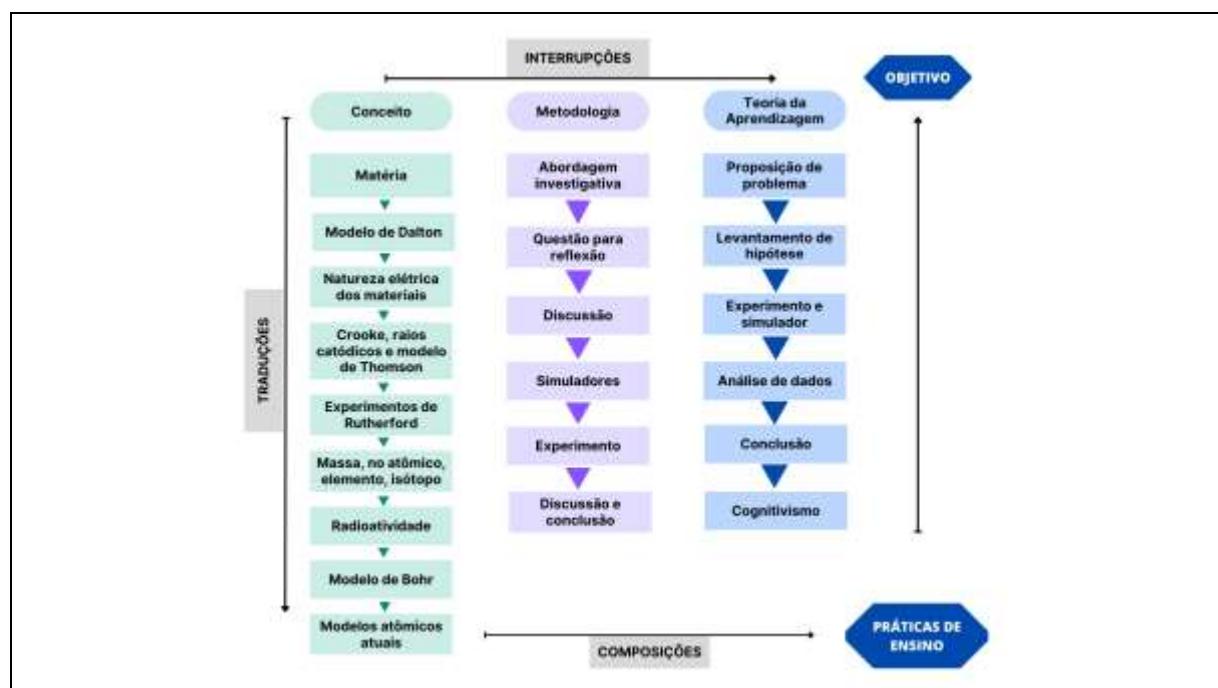
conhecimento é construído por meio de uma interação constante com o meio (PIAGET, 1996).

No artigo é possível identificar esse ponto em várias partes do texto e uma delas diz que: “[...] apesar de emergirem alguns conflitos de convivência dentro dos grupos, mas foi isso que deixou a atividade ainda mais humana e social, possibilitando uma melhor compreensão da natureza da ciência e seu processo de construção, o que contribuiu para o alcance de metas de domínio pessoal nos alunos” (OLIVEIRA, et al., 2013, p. 143).

5.1.5 Artigo A25 – Ensino de Modelos para o Átomo por meio de Recursos Multimídia em uma Abordagem Investigativa

Neste artigo, após a leitura e identificação das traduções, as mesmas encontram-se listadas abaixo na Figura 11.

Figura 11 – Traduções do A25



Fonte: a autora

O artigo tem o conteúdo de teoria atômica, mais especificamente o ensino de modelos para os átomos. E apresenta uma sequência didática elaborada com abordagem investigativa, envolvendo recursos multimídia, animações, simuladores, vídeos, no intuito de auxiliar a compreensão dos alunos quanto aos fenômenos

submicroscópicos que envolvem o átomo.

Assim, no tocante aos referenciais teóricos empregados o autor utiliza apenas um referencial teórico para o tema referente ao conteúdo de química, no caso uma dissertação de mestrado sobre modelos atômicos. Os demais referenciais são para aporte teórico da abordagem investigativa empregada.

Apesar de uma única referência do aporte teórico de modelos atômicos, cita-se no artigo uma sequência de abordagem de conteúdos para se atingir o objetivo, sendo: o que é matéria; modelo atômico de Dalton; natureza elétrica dos materiais; estudos de Crooke, raios catódicos e modelo de Thomson; experimentos de Rutherford; número de massa, número atômico, elemento químico e isótopos; radioatividade; modelo de Bohr; ideias atômicas atuais.

No que tange à metodologia investigativa, acredita-se que a proposta de um ensino por investigação, com todas as suas características, favorece que o aluno construa as suas ideias e, dessa forma, a aprendizagem seja mais inteira e significativa (LIMA; MUNFORD, 2007), apontando uma aproximação entre a ciência acadêmica e a ciência escolar. Devido ao reconhecimento da grande diferença que existe entre elas, entende-se que o ensino de ciências hoje não reflete a prática da ciência acadêmica, portanto, há a criação de um estereótipo de cientista e do fazer científico que é prejudicial para o ensino. Como citam Lima e Mumford (2007, p. 6), “o principal objetivo da escola é promover a aprendizagem de um conhecimento científico já consolidado, enquanto, por outro lado, o principal objetivo da ciência acadêmica é produzir novos conhecimentos científicos”.

A proposta foi elaborada com a seguinte sequência: proposição do problema, levantamento de hipóteses, elaboração do plano de trabalho, montagem do arranjo experimental e coleta de dados, análise dos dados, e conclusão e socialização das ideias. A proposta foi aplicada a uma turma de 1º ano de Ensino Médio de escola pública, e os alunos foram divididos em grupos para o trabalho.

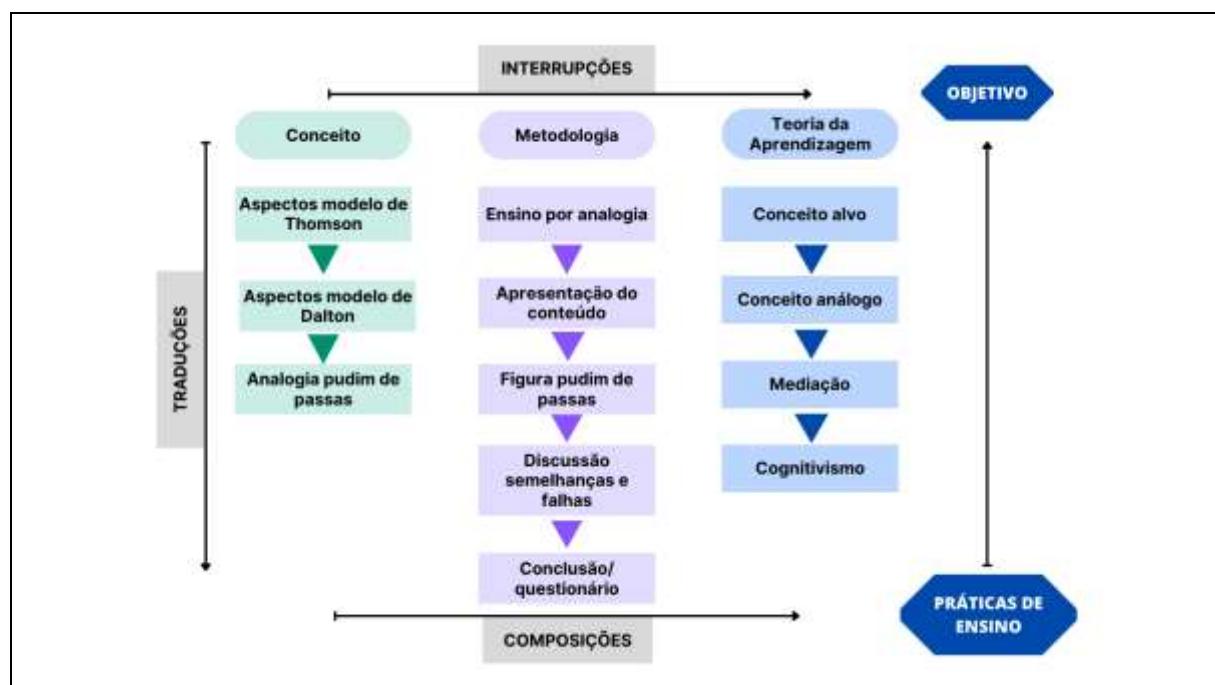
Entende-se a teoria de aprendizagem empregada aqui como cognitivista, uma vez que a Resolução de Problemas, ou Solução de Problemas, termo proposto por Ausubel em sua Teoria da Aprendizagem Significativa, caracteriza-se como uma metodologia de ensino em virtude de constituir-se numa aprendizagem pela descoberta, devidamente orientada por hipóteses, que, por sua natureza específica, exige a transformação e a reintegração do conhecimento estabelecido para a assimilação, aquisição e retenção da ideia nova (SOUZA, 2014). Algo claramente

identificado no artigo proposto. E assim entende-se a tradução presente em teoria da aprendizagem como cognitivista, não partindo de uma abordagem tradicional, mas que visa o processo de cognição, por meio do qual a pessoa atribui significados à realidade. Com o processo de compreensão, transformação, armazenamento e uso da informação envolvido na cognição, com regularidades nesse processo mental.

5.1.6 Artigo A28 – Análise do Uso da Analogia com o “Pudim de Passas” Guiado pelo TWA no Ensino do Modelo Atômico de Thomson: Considerações e Recomendações

Neste artigo, após a leitura e identificação das traduções, as mesmas encontram-se listadas abaixo na Figura 12.

Figura 12 – Traduções do A28



Fonte: a autora

O artigo A28 apresenta um conteúdo de modelos atômicos, e possui abordagem de ensino pautada em ensino por analogia ou *Teaching With Analogies* (TWA), em que as etapas seguidas foram as seguintes: Introduzir o conceito alvo; Rever o conceito análogo; Identificar as características relevantes do alvo e análogo; Mapear as semelhanças; Identificar onde a analogia falha; e Tirar conclusões. Foi

aplicado em uma turma do 2º ano do Ensino Médio em escola da rede pública de ensino.

No que diz respeito aos referenciais teóricos empregados, dois deles tratavam do assunto de química, sendo um livro científico de química, e, o outro também um livro, com tema específico de modelos atômicos. Os demais referenciais tratavam do assunto de ensino de Ciências e sobre o uso de analogias para o ensino. Assim, referente aos conceitos, o autor o traz de modelos prontos, como dito antes, vistos como caixa preta.

Visto isso, as traduções nos conceitos pertinentes a modelos atômicos são identificadas no artigo como aspectos do modelo atômico de Thomson, com breve discussão sobre o trabalho dos cientistas e sobre as principais ideias do modelo de Dalton e analogia do pudim de passas.

As traduções, que dizem respeito ao quesito de abordagem de ensino, identificadas no artigo presente em análise, é a abordagem de ensino TWA, como visto acima. Uma analogia é definida por Gentner (1989) como um tipo de comparação, em que um conceito ou uma situação familiar (domínio base ou análogo) compartilha relações de similaridade com um conceito a ser ensinado (domínio alvo). Parte-se dessa metodologia apresentando o conceito alvo, seguido da analogia, com uso de ilustrações e discussão, na qual há um mapeamento das semelhanças e identificação das falhas, partindo para a conclusão em um ambiente argumentativo com posterior avaliação.

Segundo Cachapuz (1989), existem dois tipos de estratégias utilizadas no modelo de ensino assistido por analogias, e são classificados em estratégia centrada no aluno (ECA) se este seleciona o veículo, ou estratégia centrada no professor (ECP), caso este último apresente o veículo. E com a leitura do artigo, identifica-se a estratégia centrada no professor, tanto que o autor diz:

A discussão dessas limitações da analogia com o “pudim de passas”, guiada pelo professor, pode favorecer a compreensão dos estudantes sobre a dinamicidade e organização dos elétrons no modelo atômico de Thomson, além de uma avaliação crítica deles sobre essa analogia (RAMOS; MOZZER, 2018, p. 112).

A metodologia empregada possui uma base tradicional, porém com a inserção de metodologias de analogias com debate, por isso a interrupção inicial. Também se utiliza da ilustração para melhor compreensão das analogias e possui a

tentativa de criar um ambiente argumentativo, com intuito de aumentar a participação e interesse dos estudantes. As traduções identificadas, descritas acima, são resumidas na tabela 12.

Sabe-se que o emprego de modelos, metáforas e analogias têm sido amplamente utilizados para a transmissão de conhecimentos, de maneira geral e, mais especificamente, no ensino da Biologia, Matemática, Física e Química. Para Pozo e Gómez-Crespo (apud LIMA; NUÑEZ, 2004, p. 256), os modelos são definidos como sendo “um processo representacional que faz uso de imagens, analogias e metáforas, para auxiliar o sujeito a visualizar e compreender o referente, que pode se apresentar de difícil compreensão, complexo e abstrato, ou em alguma escala perceptivelmente inacessível”. Sendo que, “a aprendizagem de conceitos e a construção de modelos – entendendo estas, como uma das finalidades da educação científica – requerem a superação das dificuldades de compreensão por parte dos estudantes”. Desta forma o professor deve trabalhar conteúdos de maneira verbal com base em dados e fatos mais específicos e simples, enfatizando os conceitos da disciplina específica até obter seus objetivos, os princípios estruturantes das ciências (POZO; GÓMEZ-CRESPO (1998, p. 31-32).

Assim, Moreira e Masini (2006, p. 14) definem o processo de aprendizagem significativa com base nos estudos das ideias de Ausubel, a partir de uma abordagem cognitivista, como sendo um “processo quando o material novo, ideias e informações que apresentam uma estrutura lógica, e esta interage com conceitos relevantes e inclusivos, claros e disponíveis na estrutura cognitiva, sendo estes assimilados, de maneira a contribuir direta ou indiretamente em sua diferenciação, elaboração e estabilidade”. Dessa forma, a experiência consciente, claramente articulada e precisamente diferenciada, que emerge quando sinais, símbolos, conceitos e proposições potencialmente significativos são relacionados à estrutura cognitiva e nela incorporados (MOREIRA; MASINI, 2006, p. 16).

Giordan e De Vecchi (1996) definem que o modelo é uma estrutura que pode ser usada como referência, a partir de uma imagem analógica que permita materialização de uma ideia ou um conceito, tornado, assim, diretamente assimilável.

É frequente o uso de analogias por muitos autores, a fim de subsidiar a aprendizagem de Ciências, como apontam Ferraz e Terrazzan (2002, p. 46 apud LIMA; NUÑEZ, 2004, p. 256): “[...] as analogias e metáforas são um componente

central do processo de conhecimento humano. O raciocínio por analogia é parte integrante de nossa cognição e, nessa perspectiva, as analogias são ferramentas do pensamento”.

Assim, conclui-se que a tradução prevista em teoria de aprendizagem trata-se de cognitivista, frente ao exposto acima, em que o artigo aponta como uma frente empregada para tal proposta elaborada pelos autores, apontando uso de linguagem metafórica e analógica na facilitação da transferência do conhecimento conceitual prévio para o científico.

5.4 CONSIDERAÇÕES

Nesta pesquisa é possível identificar traduções relativas a um tema, e esses desvios relacionais podem ser visto tanto no que se diz caixa-preta do tema Teorias Atômicas (não rompendo a caixa-preta em nenhum momento, apenas empregando outros modos de abordagem para se alcançar um objetivo), como no quesito ensino quando parte de um sistema de ensino tradicional. Essas traduções podem ser encaradas como rizomas³ que partem de um núcleo que possui como fonte teorias atômicas, e se distribui de diversas formas e assuntos específicos que pertencem ao tema principal, e cada ator autor percorre seu caminho, dentro da rede, movimentando a mesma de formas diversas, em um mesmo objetivo, o ensino, por meio da elaboração de proposta e sua aplicação para verificar os resultados.

Na questão de ensino observa-se que, basicamente, se toma um rumo construtivista e cognitivista como alternativa ao tradicional, em que cada proposta se dá de forma também variada, visto as metodologias de ensino aplicadas em cada um, com emprego de recursos variados para o mesmo fim, que é ensino-aprendizagem.

Consoante com Cardoso e Santaella (2021), a dinâmica da tradução é compreendida como uma cinesia de inovação, uma vez que perfaz um movimento para que relações antes não existentes possam emergir. E dentro desse movimento observam-se aspectos que se mantêm e outros que se modificam (MELO, 2011), e dentro de um contexto investigativo, a transposição de um lugar para outro (FREIRE,

³ A noção de rizoma se aproxima daquela elaborada por Deleuze e Guatarri (1996), a organização dos elementos não segue linhas de subordinação hierárquica, com uma base ou raiz dando origem a múltiplos ramos, mas, pelo contrário, qualquer elemento pode afetar ou incidir em qualquer outro.

2021).

De acordo com Mello (2019, p. 9), a teoria de transposição didática de Chevallard:

“[...] é uma teoria que envolve a epistemologia da ciência, a teoria cognitiva da ciência, a didática do ensino e teorias sociais para se entender, criar regras e estudar os mecanismos que regem o processo de transformação do conhecimento produzido nas esferas de pesquisa, para o campo acadêmico, deste para os livros didáticos e deste para a sala de aula do ensino básico” (MELLO, 2019, p. 9).

Assim, conforme cita Chevallard (2005, apud Costa, 2023 p. 68):

“transposição didática é um processo pelo qual o saber – leis, teorias – produzido pelos cientistas (o Saber Sábio) se transforma naquele que se encontra, por exemplo, nos currículos e livros didáticos (o Saber a Ensinar) e, principalmente, naquele que se efetiva nas salas de aula (o Saber Ensinado)”.

Destarte, a transposição conjectura a subsistência do processo em que o conteúdo do saber atribuído como saber sábio (saber apresentado nas palavras originais de seus autores), passa por diversas transformações ajustadas e adequadas que a substabelece como objetos de ensino (MARQUES; ORENGO, 2021).

Ao olhar para as possibilidades de apagamento das redes nos seis artigos analisados, vê-se que apenas o A01 traz a proposta de integração de História da Ciência em sua proposta, de forma a trazer sustentação a teoria que está apresentando, os demais não fazem menção a HC.

Outro aspecto são os recursos que cada artigo contempla, vêm a demonstrar a presença dos não humanos nas propostas, seja em um simulador, no uso do laboratório, uso da HC, figuras como analogias e modelagem, vídeos, textos, artigos, experimentos, laboratório, entre outros, e vêm a formar o híbrido, em que os humanos os utilizam, enquanto ferramentas, tecnologias e recursos, sendo ainda coisas/objetos que possibilitam um aumento das capacidades e sentidos dos aprendizes, e esses actantes agenciados produzem profundas mudanças no comportamento, na cultura, no conhecimento, facilitando o ensino (saber ensinado).

Os não humanos são participantes ativos, tanto quanto os humanos e ambos não se sobrepõem, como em uma hierarquia, mas atuam de forma a contribuir igualmente quando arregimentados na rede (MITEW, 2014). Circulam e fazem

alianças entre si, se estabelecendo na relação das coisas (LATOUR, 2012). É possível dizer se tratar de uma simetria generalizada em que humano e não humano possuem igual importância, uma não purificação em que sujeito e objetos se enredam, e trilhas rastreadas, ou seja, as conexões são traçadas, que configuram a ANT.

Assim, quando Latour (2012) fala em agência, está se referindo à capacidade desses actantes em provocar, em motivar outros atores, na rede, a executar uma ação. Ou seja, o agenciamento possui intencionalidade de modificar, auxiliar, mediar uma nova ação. Isso significa pensar além das noções e ações humanas no mundo.

O professor não é o principal portador da função ensinar, mas divide o papel com os demais actantes que estão presentes nessa rede, e perfazem o ensino de determinado tema, sendo esse ensinar um atributo de associações de entidades, como pode ser visto na pesquisa em questão (LATOUR, 2001).

Considerando ainda que, a configuração dos ambientes das instituições de ensino é sempre híbrida, formada naturalmente pela associação entre indivíduos e tecnologias/objetos (SANTAELLA, 2008), ou híbridos de instrumentos educacionais e disciplinares (LEMOS, 2014). As quais foram identificadas por meio das traduções presentes nos artigos estudados. E, que caso esses constituintes híbridos sejam retirados do ambiente de ensino, que sentido resta no processo de ensino-aprendizagem, já que se observa que estes são intrínsecos não sendo possível compreendê-los distintamente fora dessas associações.

Sendo ainda o intermediário aquilo que não é anterior a seu devir, mas presente em cada etapa desse devir (SIMONDON, 2007). Evidenciando que a “escola” (ressalta-se aqui escola como um ambiente de aprendizagem, ou se referindo á práticas de ensino), é produzida pelas relações por meio de associações híbridas que contribuem para o ensino-aprendizagem.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa em questão se inicia discorrendo sobre Teoria Quântica, mostrando alguns de seus conceitos e os atores que movimentaram essa rede até o momento em que veio a se tornar caixa-preta. Dentro da Teoria Quântica, veem-se imbricações tanto Físicas quanto Químicas, e na Química, a Teoria Atômica se relaciona diretamente com a Quântica, estando vinculadas intrinsecamente.

Assim, após apresentar inicialmente essa rede de atores, enveredou-se para um tema mais específico da Quântica, a Teoria Atômica, mote da pesquisa, do qual se buscou identificar a rede arregimentada no assunto principal, com vistas a levantar e analisar artigos científicos na revista Química Nova na Escola.

O intuito foi responder de que forma é possível identificar e caracterizar a rede arregimentada no Ensino de Química no que tange a Teoria Atômica na Revista Química Nova na Escola, e quais traduções podem ser identificadas e tipificadas neste estudo.

Deste modo, o levantamento dos artigos com a temática proposta apontou um total de trinta artigos relativos à Teoria Atômica na QNEsc, e mais um total de x trabalhos publicados que citavam esses artigos, que foram chamados de *corpus*, sendo utilizado o Google Acadêmico para identificação dos trabalhos citados. E, por meio do software *Gephi* a rede de conexões pode ser ilustrada para melhor visualização das relações.

Na sequência, para realizar a análise dos artigos utilizando a ANT a fim de identificar traduções dentro dos selecionados para análise, alguns movimentos de categorização foram aplicados, elegendo os artigos tidos como de Ensino, na primeira categorização. E, que se referia à Proposta de Ensino Aplicada, qualificados na segunda categorização empregando o fluxo sanguíneo da Ciência adaptado.

Como dito, buscou-se dentro da temática eleita a ser investigada, chegando-se a um total de 30 artigos, destes, após todas as filtragens descritas na metodologia, obteve-se em um total de 6 artigos que foram analisados. A análise deles compreendeu identificar as traduções presentes em cada um deles e, contemplou 3 vertentes a serem olhadas, que se referem a conceito, a metodologia e teorias da aprendizagem, identificadas com aplicação da análise temática.

Algumas discussões se enveredaram por caminhos necessários para se chegar ao intuito da pesquisa, entre eles, o fluxo circulante que a Ciência e suas

práticas percorrem foi olhado e colocado no texto, pois a partir dele foi possível vislumbrar a representação pública, que integram os artigos científicos, e por meio desse fluxo os artigos analisados foram selecionados. Uma vez que, por vezes, existe um apagamento da rede arregimentada formadora de determinado tema, tratando-se apenas de um saber ensinado. Tornando-se uma representação pública de autoridade científica, sem menção de como e meios pelos quais percorreram para se instaurarem tais quais são.

E partindo para o fechamento desta pesquisa, pode-se inferir que a rede apresentada neste trabalho é apenas um recorte de uma rede muito maior da qual se todos os atores fossem rastreados, possivelmente não caberiam em um trabalho apenas, pois muitos actantes se colocam na relação, cumprem seus papéis e após isso já não possuem mais sentido na rede, sendo que novas outras relações com outros actantes são estabelecidas e assim o movimento vai acontecendo, se perfazendo e construindo a rede.

No tocante às traduções presentes nos artigos analisados, infere-se que todas as propostas partem de um programa de ação possivelmente preestabelecido por cada autor em que se almeja algo dentro deste programa. Este algo não é claramente especificado dentro de cada artigo, mas, de certa forma em linhas gerais entende-se que é o ensino-aprendizagem de Teoria Atômica.

Dentro desse objetivo, cada autor traça seu caminho de maneiras diversas e determinadas de forma autônoma ou não, uma vez que cada um escolhe uma forma de abordagem, porém estabelece parcerias que por vezes indicam o caminho a ser seguido. E frente a isso, vê-se uma mediação técnica estabelecida entre o professor com os objetos apresentados em cada caso e cada artigo, devido à ação técnica dentro de um hibridismo resultante da associação dos elementos participantes. Cada qual caracterizado em suas *performances*.

Vale-se lembrar de que, está-se trabalhando com dados fornecidos no artigo, e dentro de sua aplicação possivelmente as imbricações e *performances* no momento da aplicação são diversas e podem ir por múltiplos outros caminhos arregimentando outros actantes. E, dentro disso, observa-se e identifica-se um conjunto de ações dentro do qual se possui o intento de tornar o saber sábio em saber ensinável, com transformações adaptativas que vão torná-lo apto para ocupar um lugar entre os objetos de ensino.

Esse caminho de transposição implica em saber ensinar, já que os conceitos

precisam ter semelhanças com o conjunto de ideias originais, presente no seu contexto de pesquisa, mesmo que adquiram outros significados próprios do ambiente escolar em que se trabalha.

Consoante a isso, percebe-se que as traduções identificadas se pautaram em transposições com a finalidade de ensino e aprendizagem do tema, tema este elaborado e aplicado por meio de abordagens de ensino e teorias de aprendizagem, que mesmo com limitações apresentaram-se efetivas dentro dos artigos analisados.

Assim, considera-se olhar em análises futuras as *performances* dessas propostas em outras aplicações, em outros contextos sociais, de forma a interagir com artefatos mobilizados e aliados para que se obtenham objetivos de ensino e aprendizagem, assim como a mediação técnica frente a uma proposta elaborada.

Por último, ao realizar essa pesquisa foi possível a compreensão da grandiosidade das relações estabelecidas dentro de pesquisas científicas e quantos objetivos elas arregimentam para que pudessem entrar em ação e serem estabelecidas. Relações que se fazem e desfazem e deixam seus rastros na rede como forma de contribuição na emergência de determinado tema. Ao analisar artigos em uma rede do tema Teorias Atômicas, é possível identificar uma variedade imensa de aplicações e práticas do ensino de Ciências que vislumbram olhares para a Educação.

REFERÊNCIAS

- ALARCÃO, I. Professor-investigador. Que sentido? Que formação? In: CAMPOS, B. P. (org.) **Formação Profissional de Professores no Ensino Superior/Cadernos de Formação de Professores**. Porto: Porto Editora, 2001. p. 21-30.
- ALCADIPANI, R.; HASSARD, J. Actor-Network Theory, organizations and critique: towards a critique of organizing. **Organization**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 419-435, 2010.
- ARROIO, A.; HONORIO, K. M.; WEBER, K. C.; HOMEM-DE-MELLO, P.; DA SILVA, A. B. F. O ensino de química quântica e o computador na perspectiva de projetos. **Química Nova**, [s. l.], 2005.
- BACHELARD, G. **A Formação do Espírito Científico**. Tradução Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- BACHELARD, G. **O novo espírito científico (Os pensadores)**. Tradução Remberto Francisco Kuhnen, Antonio da Costa Leal e Lídia do Valle Santos Leal. São Paulo: Nova Cultura, 1988.
- BENEDETTI FILHO, E.; FIORUCCI, A. R.; CRAVEIRO, J. A. História da Química para o Ensino Médio: Uma abordagem lúdica. **ANAIIS DO SEMEX**, n. 1, 2008.
- BIZELLI, J. L. **Inovação**: limites e possibilidades para aprender na era do conhecimento. São Paulo: Ed. da UNESP: Cultura Acadêmica, 2013.
- BIZERRIL, J. O vínculo etnográfico: intersubjetividade e coautoria na pesquisa qualitativa. **Universitas: Ciências da Saúde**, Brasília, v. 2, n. 2, p. 152-163, 2004.
- BRAUN, V.; CLARKE, V. Using thematic analysis in psychology. **Qualitative Research in Psychology**, v. 3, n. 2, p. 7-101, 2006.
- CABRAL, J. E. G. **Entre a matéria e a forma: o problema da objetividade dos fenômenos quânticos em Werner Heisenberg**. 2019. 207f. Tese (Doutorado em Filosofia) – Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.
- CACHAPUZ, A. Linguagem metafórica e o ensino das ciências. **Revista Portuguesa de Educação**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 117-129, 1989.
- CALLON, M. **L'emprise des marchés**. Comprendre leur fonctionnement pour pouvoir les changer. Paris: La Découverte, 2017.
- CALLON, M. Dos estudos de laboratório aos estudos coletivos heterogêneos, passando pelos gerenciamentos econômicos. Entrevista. **Sociologias**, Porto Alegre, 2008.
- CARDOSO, T. de S.; SANTAELLA, L. A relevância da mediação no pensamento de Bruno Latour. In: ALZAMORA, G.; ZILLER, J.; COUTINHO, F. A. (org.). **Dossiê**

Bruno Latour. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2021. p. 141-177.

CARVALHO, A. M. P. Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação. **RBPEC**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 765-794, 2018.

CHEVALLARD, Y. **La Transposición didáctica**. Buenos Aires: Aique, 2005.

CORAZZA, S. M. Labirintos da pesquisa, diante dos ferrolhos. In: CORAZZA, Sandra Mara. **Caminhos Investigativos I: novos olhares na pesquisa em educação**. Rio de Janeiro: Lamparina Editora, 2007.

COSTA, M. V. Quem são? Que querem? Que fazer com eles? Eis que chegam às nossas escolas as crianças e jovens do século XXI. In: **VI Colóquio sobre questões curriculares e II Colóquio Luso-Brasileiro sobre questões curriculares**, 2005.

COSTA, T. Q. **Um estudo ator-rede acerca da implementação de um experimento no ensino de física**. 2022. 105f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

CZARNIAWSKA, B. Emerging institutions: pyramids or anthills? **Organization Studies**, Canadá, [s. l.], v. 30, n. 4, p. 423-441, abr. 2009.

DANGUI, A. C. M. **A Teoria Ator-Rede e o Ensino de Ciências no Brasil**: uma revisão sistemática dos artigos publicados nos últimos 20 anos. 2022. 144f. Dissertação (Mestrado em ensino de Ciências e Educação Matemática). Universidade Estadual de Londrina. 2022.

DANTAS, M. T. **Heisenberg e a Filosofia Grega**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Filosofia. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2005.

DAVIDOVICH, L. **Tecnologias quânticas emergentes**. 3 Ciclo ILP-FAPESP de Ciência e Inovação, promovido pelo Instituto do Legislativo Paulista (ILP) e a FAPESP. 2021.

DECONTO, D. C. S. **A perspectiva ciência, tecnologia e sociedade na disciplina de metodologia do ensino de física**: um estudo na formação de professores à luz do referencial sociocultural. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Ensino de Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2014.

DECUYPERE, M. Visual Network Analysis: a qualitative method for researching sociomaterial practice. **Qualitative Research**, Londres, v.20, n.1, p.73-90, 2020. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1468794118816613>. Acesso em: 08 ago 2023.

DELEUZE, G.; GUATTARI, F. **Mil Platôs – Capitalismo e Esquizofrenia**. Rio de Janeiro: 34, 1996. v. 3.

FIRMIANO, E. P. Aprendizagem Cooperativa na Sala de Aula. **Programa de**

Educação em Células Cooperativas (PRECE), 2011.

FOUREZ, G. **Idealismo e História Humana**. In: A Construção das Ciências: introdução à filosofia e a ética das ciências. São Paulo: Editora da Universidade Paulista, 1995.

FREIRE JR, O.; PESSOA JR, O.; BROMBERG, J. L. **Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais**. Eduepb, 2011.

FREIRE, L. L. Humanos, não humanos...ação! In: ALZAMORA, G.; ZILLER, J.; COUTINHO, F. A. (org.). **Dossiê Bruno Latour**. Belo Horizonte: Editora UFMG, p. 113-139. 2021.

FREIRE, L. L. Seguindo Bruno Latour: notas para uma antropologia simétrica. Rio de Janeiro: **COMUM**, 2006.

GENTNER, D. The Mechanisms of Analogical Learning. Em Vosniadou, S. & Ortony, A. (Eds.). **Similarity and Analogical Reasoning**. Cambridge: Cambridge University Press, 199-241. 1989.

GIORDAN, A. VECCHI, G. **As origens do saber**: das concepções dos aprendentes aos conceitos científicos. 2ed. Porto Alegre: Artes Médicas. 1996.

GIROUX, H. A. **Praticando estudos culturais nas faculdades de Educação**. In: SILVA, Tomaz Tadeu da (org.). Alienígenas na sala de aula: uma introdução aos estudos culturais em educação. Petrópolis, RJ: Vozes, 2012, p. 83-100.

HEISENBERG, W. *A parte e o todo*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2011. p. 88.

JAMMER, M. **The Conceptual Development of Quantum Mechanics**, New York, McGraw-Hill Book Company, 1966.

KINCHELOE, J. L.; TOBIN, K. The much exaggerated death of positivism. **Cultural Studies of Science Education**, 4(3), 513–528. 2009.

KISHIMOTO, T. M. **Jogo, brinquedo, brincadeira e a educação**. 7 ed. São Paulo: Cortez, 1996.

LATOUR, B. **A Esperança de Pandora**: ensaios sobre a realidade dos estudos científicos. Tradução Gilson C. C. de Souza. São Paulo: Editora Unesp, 2017.

LATOUR, B. **Cogitamus**: seis cartas sobre as humanidades científicas. São Paulo: Editora 34, 2016.

LATOUR, B. **Reagregando o social**: uma introdução à teoria do ator-rede. Salvador: EDUFBA; Edusc, 2012.

LATOUR, B. **Reassembling the Social**. An Introduction to Actor-Network-Theory. 2005.

LATOUR, B. **A Esperança de Pandora:** ensaios sobre a realidade dos estudos científicos. Tradução Gilson C. C. de Souza. São Paulo: EDUSC, 2001.

LATOUR, B. **Ciência em ação:** como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora. São Paulo: Editora UNESP, 2000.

LATOUR, B. On Recalling ANT. **The Sociological Review**, [s. l.], v. 47, n. 1 (supl.), p. 15-25, 1999.

LATOUR, B. **Jamais fomos modernos:** ensaio de Antropologia Simétrica. Rio de Janeiro: Editora 34, 1994.

LATOUR, B. **Science in Action.** Cambridge: Havard University Press, 1987.

LATOUR, B.; WOOLGAR, S. **A vida de laboratório:** a produção dos fatos científicos. Tradução Angela Ramalho Vianna. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.

LATOUR, B.; WOOLGAR, S. **Laboratory Life:** The construction of scientific facts. Princeton: Princeton University Press. 1986.

LATOUR, B.; WOOLGAR, S. **Laboratory Life:** the social construction of scientific facts. London: Sage, 1979.

LAW, J. After ANT: complexity, naming and topology. **The sociological review**, [s. l.], v. 47, n. 1 (supl.), p. 1-14, 1999.

LAW, J. Notes on the theory of the actor-network: Ordering strategy, and heterogeneity. **Systems Practice**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 379-393, 1992.

LEMOS, A. Mídia, Tecnologia e Educação: Atores, Redes, Objetos e Espaço. In: LINHARES, Ronaldo; PORTO, Cristiane; FREIRE, Valeria. **Mídia, e educação: espaços e (co)relações de conhecimentos.** Aracaju EdUNINT. 2014.

LEMOS, A. **A comunicação das coisas:** teoria ator-rede e cibercultura. São Paulo: Annablume, 2013.

LEMKE, J. **The secret identity of science education: masculine and politically conservative?** 287–292. 2011. *Notas sobre a Teoria do Ator-Rede: ordenamento, estratégia, e heterogeneidade.* São Paulo, 2007.

LIBÂNEO, J. C. **Didática.** Coleção magistério 2o grau. Série formação do professor. São Paulo: Cortez, 1994.

LIMA, A. A.; NUÑEZ, I. B. **Aprendizagem por modelos:** utilizando modelos e analogias. In: Fundamentos do Ensino-Aprendizagem das Ciências Naturais e da Matemática. Porto Alegre: Sulina. 2004.

LIMA, N.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. Física Quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de Física aprovados no

PNLDEM2015. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física.** v. 34, n. 2, p. 435-459. 2017.

LIMA, N. W.; VAZATA, P. A. V.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H.; GUERRA, A. Educação em Ciências nos tempos de Pós-verdade: reflexões metafísicas a partir dos estudos das Ciências de Bruno Latour. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências.** [s. l.], p. 1947-1951, 2017.

MARQUES, N. L. R.; ORENGO, G. Contribuições das disciplinas experimentais da licenciatura em física para a formação dos saberes docente. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, Passo Fundo, v. 4, n. 1, p. 292-313, 2021.

MARTINS, R. A. **Albert Einstein, um olhar para o microcosmo.** In: Gênios da Ciência. São Paulo: Editora Duetto, p. 24. 2010.

MARTINS, R. A.; MACHADO, S. S. **Erwin Schrödinger:** o escandaloso criador da mecânica ondulatória. In: Scientific American, coleção “Gênios da Ciência”. São Paulo: Ed. Duetto, 2010.

MARTINS, R. A.; ROSA, P. S. **História da teoria quântica:** a dualidade onda-partícula, de Einstein a De Broglie. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

MARTINS, R. A.; ROSA, P. S. **Louis de Broglie:** o físico que combinou ondas e partículas. In: Gênios da Ciência. São Paulo: Editora Duetto, p. 46. 2010.

MASINI, E. F. S.; MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa:** a teoria de aprendizagem de David Ausubel. São Paulo: Centauro Editora. 2a edição, 2006.

MELO, M. F. A. Q. A pipa e os quatro significados da mediação sociotécnica: articulações possíveis entre a Educação e a Psicologia para o estudo de um brinquedo. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S.l.], v. 10, n.2, p.97-115, 2011.

MELLO, L. A. **A Teoria da Transposição Didática de Chevallard, Izquierdo e de Mello (CHIM).** 2019.

MITEW, T. Do objects dream of an internet of things? *Fibreculture Journal*, [s. l.], n. 23, p. 1-25, 2014.

MODY, C. C. M. Scientific Practice and Science Education. **Science Education**, 99(6), 1026–1032. 2015.

MOREIRA, D. I. J. **A aprendizagem cooperativa:** Aplicação ao 8º ano de escolaridade na disciplina de História. Mestrado (Ensino de História e Geografia no 3º ciclo do EB e ES - Relatório Final), Porto, set. 2012.

MORTIMER, E. F. Concepções atomistas dos estudantes. **Química Nova na escola.** Vol. 1, N. 1.1995.

MUNFORD, D.; LIMA, M.E.. Ensinar ciências por investigação: em quê estamos de acordo? **Revista ensaio**. V.9. n.1. 2007.

OKOLI, C. Guia para realizar uma Revisão Sistemática de Literatura. Tradução de David Wesley Amado Duarte; Revisão técnica e introdução de João Mattar. **EAD em Foco**, v. 9, n. 1, 2019.

OKOLI, C. **A Guide to Conducting a Standalone Systematic Literature Review. Communications of the Association for Information Systems**, [s. l.], v. 37, n. 43, p. 879-910, 2015.

OKOLI, C.; SCHABRAM, K. Working Papers on Information Systems. A Guide to Conducting a Systematic Literature Review of Information Systems Research. Sprouts: **Working Papers on Information Systems**, 2010.

OLIVEIRA, S. F.; MELO, N. F. Softwares de simulação no ensino de atomística: Experiências computacionais para evidenciar micromundos. **Química nova na escola**, v. 35, n. 3, p. 147-151, 2013.

PALANDI, J.; FIGUEIREDO, D. B.; DENARIN, J. C.; MAGNANO, P. R. **Física Moderna**. Santa Maria: Editora UFSM, 2010.

PESSOA JR., O. **Fundamentos da Mecânica Quântica**: conceitos, história e filosofia. FFLCH, USP, 2018.

PESSOA JR., O. **Conceitos de Física Quântica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.

PESSOA JR., O. **O início da física quântica e seus caminhos possíveis**. [S. l.: s. n.], 2005.

PIAGET, J. **Biologia e Conhecimento**. 2a Ed. Vozes : Petrópolis, 1996.

PLANCK, M. On the Law of Distribution of Energy in the Normal Spectrum (“Para a teoria da lei de distribuição de energia no espectro normal”). **Annalen der Physik**, [s. l.], v. 4, p. 553, 1901.

POZO, J. I.; GÓMEZ CRESPO, M. A. **Aprender y enseñar ciencias**. Madrid: Morata. 1998.

RAMOS, T. C.; MOZZER, N. B. Análise do uso da analogia com o “Pudim de Passas” guiado pelo TWA no ensino do modelo atômico de Thomson : considerações e recomendações. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 40, n. 2, p. 106-115, maio 2018.

RICHARD, V.; BADER, B. Re-presenting the Social Construction of Science in Light of the Propositions of Bruno Latour: For a Renewal of the School Conception of Science in Secondary Schools. **Science Education**, [s. l.], v.94, p. 743-759, 2010.

ROCHA, W. R. Interações Intermoleculares. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, n. 4, p. 31-36. Maio, 2001.

SANTAELLA, L. A ecologia pluralista das mídias locativas. **Revista Famecos**, nº 37. Porto Alegre. 2008.

SIMONDON, G. **El modo de existência de los objetos tecnicos**. Buenos Aires, Prometeo. 2007.

SOUZA, G. M. B. **Estudo da aprendizagem do conceito de limite fundamentado na Teoria da Aprendizagem Significativa aplicado à licenciatura em Matemática**. 2014. 257 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade Estadual de Roraima, Boa Vista, 2014.

STUDART, N. **Max Planck**: o revolucionário conservador. In: Gênios da Ciência. São Paulo: Editora Duetto, 2010.

TURETA, C.; ALCADIPANI, R. O objeto na análise organizacional : a teoria ator-rede como método de análise da participação dos não humanos no processo organizativo. **Cadernos EBAPE.BR**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 51-70, 2009.

VENTURINI, T.; MUNK, A.; JACOMY, M. Ator-rede versus análise de redes versus redes digitais: falamos das mesmas redes?. **Galáxia**, São Paulo, v.38, n.1, p.5-27, 2018. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/galaxia/article/view/36645>. Acesso em: 07 ago. 2023.

VENTURINI, T.; JACOMY, M.; JENSEN, P. What do we see when we look at networks: Visual network analysis, relational ambiguity, and force-directed layouts. **Big Data & Society**, Londres, v. 8, n.1, p. 1-16, 2021. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/20539517211018488>. Acesso em: 07 ago. 2023.

VIANNA, D. M.; CARVALHO, A. M. P. Bruno Latour e contribuições da antropologia da Ciência: Aspectos para o Ensino de Ciências. **Ciência e Ensino**, 10, 14–19. 2001.

VYGOTSKI, L. S. **Aprendizagem, desenvolvimento e linguagem**. 2. ed. São Paulo: Ícone, 1998.

WEINSTEIN, M. Finding Science in the school body: Reflections on transgressing the boundaries of science education and the social studies of science. **Science Education**, 92(3), 389–403. 2008. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sce.20267>. Acesso em: 10 abr. 2023.