CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

CONTRIBUIÇÕES DA EPISTEMOLOGIA DE BAS C. VAN FRAASSEN AO ENSINO DE CIÊNCIAS

Marcelo Gonzaga Rodrigues

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Sociedade, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título em Mestre em Ciência, Tecnologia e Educação.

Orientador(a): Juliana Machado

Rio de Janeiro
Maio de 2021

CONTRIBUIÇÕES DA EPISTEMOLOGIA DE BAS C. VAN FRAASSEN AO ENSINO DE CIÊNCIAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em maio de 2021, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciência, Tecnologia e Educação.

Marcelo Gonzaga Rodrigues

Banca Examinadora:

_____

Presidente, Professora Dra. Juliana Machado(CEFET/RJ) (orientador)

_____

Professor Dr. Marco Antonio Barbosa Braga (CEFET/RJ)

_____

Professor Dr. Fábio André Sangiogo (UFPEL)

SUPLENTES

_____

Professora Dra. Sheila Cristina Ribeiro Rego (CEFET/RJ)

Rio de Janeiro
Maio de 2021

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

R696 Rodrigues, Marcelo Gonzaga
Contribuições da epistemologia de Bas C. van Fraassen ao ensino de ciências / Marcelo Gonzaga Rodrigues — 2021.
115f. : il. color. , enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2021.
Bibliografia : f. 111-115
Orientadora: Juliana Machado

1. Empirismo. 2. Ciência – Estudo e ensino. 3. Ciência – Filosofia. 4. Van Fraassen, Bas C., 1941- . I. Machado, Juliana (Orient.). II. Título.

CDD 501

Elaborada pela bibliotecária Tania Mello – CRB/7 nº 5507/04

Com amor, dedico à minha família.

AGRADECIMENTOS

O primeiro agradecimento é para Deus e sua capacitação espiritual a realizar uma pesquisa que significou em um processo de crescimento como profissional capaz de produzir uma pesquisa relevante para a comunidade científica. Para quem entrou num programa de mestrado com uma série de dificuldades para executar um trabalho de pesquisa é justo entregar a Deus sua gratidão por capacitar a trabalhar melhor do que o dia anterior. Gratidão a Deus por colocar no meio de irmãos que tanto ajudaram com orações e direções que me deram conforto para continuar a trabalhar com alegria sem murmurações.

O segundo agradecimento é obviamente para Juliana Machado, minha orientadora. Essa pesquisa não teria sido real sem suas contribuições e empenho a me ajudar a desenvolver a pesquisa. Quando vi a apresentação da professora, creio que fui tocado por Deus para humildemente pedir a ela ser minha orientadora. A professora não só aceitou trabalhar comigo como comprou as minhas ideias totalmente pautadas em impulsos respaldados em intenções pessoais do que propriamente um projeto mais racional de pesquisa. Trabalhar com a Juliana foi a direção que eu precisava para aprender a criar mais um projeto do que deixar minhas emoções falarem mais na pesquisa. Agradeço as ponderações que foram essenciais para tornar a pesquisa uma pesquisa científica e não um simples anseio pessoal a ser compartilhado para os outros. Então, não há como dizer que essa pesquisa foi só minha, mas foi dela também. Uma parte da pesquisa foi minha, foi eu quem escrevi, foi eu quem me interessei, foi eu quem li, mas não teria sido uma pesquisa sem o empenho dela em desenvolver para que se tornasse de fato um projeto de pesquisa e discutido. Por isso, é mais do que justo reforçar sua presença no trabalho.

Agradeço em seguida ao programa de mestrado que concedeu a mim uma oportunidade de poder trabalhar em algo que eu gosto de verdade. Algo que pude trabalhar com alegria. Um programa cujo corpo de professores foi motivador para o desenvolvimento da pesquisa. Professores que mostraram ao longo das disciplinas que estão para fomentar o desenvolvimento da ciência e me fizeram sentir não único, mas dentro de um grupo. Antes de entrar no programa estava meio abalado com tantas ideias frágeis sejam senso comum, sejam do próprio meio acadêmico, sendo reproduzidas em

massa como se fossem verdades sobre o mundo. Verdades que não representam o todo da ciência, representam uma percepção existente na ciência, mas que não é única. A prática dos professores mostrou uma ciência de acordo com o que eu vislumbrei em um momento da minha vida. Uma ciência capaz de dar boas respostas, uma que é capaz de ser aplicada e dar resultados satisfatórios, uma ciência que tem seu poder de impactar o sujeito e torná-lo mais maduro. Todavia, a ciência não soluciona definitivamente um problema sobre o mundo. E, não é por não dar uma solução que ela se torna menos relevante ou menos objetiva. Apenas que ela tem seu limite. O programa como um todo mostrou isso para mim. Essa sensação de não se sentir único foi um conforto muito grande para minhas ideias que aparecem na minha cabeça.

Quero deixar também um agradecimento ao meu amigo Miguel Carvalho que tanto contribuiu no entendimento da filosofia. Não teria avançado em pontos tão cruciais na obra do autor sem as boas explicações do meu amigo. Um amigo que me ouviu e se dispôs a ajudar com a intenção genuína em prestar um bom serviço pra que eu pudesse avançar na escrita da dissertação.

Por último agradeço a CAPES que agraciou com uma bolsa de mestrado que me deu oportunidade de investir mais nos meus planos financeiros. E, foi importante para tomar a atitude de me dedicar exclusivamente ao trabalho de pesquisa.

Ora, a fé é a substância das coisas pelas quais esperamos, a evidência das coisas não vistas. Porque por ela os antigos obtiveram bom testemunho. Através da fé entendemos que os mundos foram moldados pela palavra de Deus; de modo que as coisas que são vistas não foram feitas das coisas que aparecem. Pela fé Abel ofereceu a Deus um sacrifício mais excelente do que Caim, pelo qual alcançou testemunho de que ele era justo, testificando Deus sobre os seus dons, e através disso, depois de morto, ainda fala (BÍBLIA, Hebreus, 11, 1- 4).

RESUMO

CONTRIBUIÇÕES DA EPISTEMOLOGIA DE BAS C. VAN FRAASSEN AO ENSINO DE CIÊNCIAS

O trabalho de pesquisa tentou responder ao seguinte problema: quais as contribuições do empirismo construtivo para o ensino de ciências? Na tentativa de responder a essa pergunta, a pesquisa selecionou três categorias de pensamento encontradas na epistemologia produzida por Bas C. van Fraassen: adequação empírica, pragmática da explicação e distorções virtuosas. No decorrer da pesquisa, tentamos refletir os modelos em cima delas com intuito de correlacionar com o ensino de ciências e encontrar potenciais contribuições. O percurso metodológico trilhado por nós foi a revisão de duas obras que consideramos onde estão mais claras as categorias de pensamento selecionadas: *a imagem científica* e *representações científicas: paradoxos de perspectiva*. Após a revisão das duas obras, fizemos a revisão do artigo de Collins (2015) e Gilbert e Treagust (2009) que contribuíram com o desenvolvimento do problema de pesquisa. Da literatura encontrada na pesquisa em ensino de ciências vale enfatizar o trabalho de Greca e Freire Jr. (2011) que ajudaram a pesquisa encontrar uma conclusão mais adequada para defender o potencial do empirismo construtivo ao ensino de ciências. As correlações que tentamos traçar em paralelo às categorias de pensamento utilizadas visaram tratar essencialmente da problemática entre teoria e prática encontrada no ensino de ciências. É notório se deparar com perspectivas ingênuas para explicar a correlação entre a projeção do modelo teórico e o resultado experimental em aulas práticas. Analisar esse problema sob o empirismo construtivo nos permitiu vislumbrar uma outra maneira de olhar para o erro. Conseguir dar uma resposta sob um viés de natureza empirista diferente das tendências no ensino tornou o trabalho interessante a ser realizado ao mesmo tempo que colocou ele um risco de não dar conta do problema. Compreendemos que conseguimos responder o problema quando entendemos a natureza controversa da ciência.

Palavras-chave: modelos, adequação empírica, pragmática da explicação, distorções virtuosas, ensino de ciências

ABSTRACT

BAS C. VAN FRAASSEN'S EPISTEMOLOGY CONTRIBUTIONS TO SCIENCE TEACHING

The research work tried to answer the following problem: what are the contributions of constructive empiricism to science teaching? In an attempt to answer this question, the research selected three categories of thought found in the epistemology produced by Bas C. van Fraassen: empirical adequacy, pragmatic explanation and virtuous distortions. In the course of the research, we tried to reflect the models on top of them in order to correlate with science teaching and find potential contributions. The methodological path followed by us was the revision of two works that we consider where the categories of thought selected are clearer: the scientific image and scientific representations: paradoxes of perspective. After reviewing the two works, we reviewed the article by Collins (2015) and Gilbert and Treagust (2009) who contributed to the development of the research problem. From the literature found in research in science education, it is worth emphasizing the work of Greca and Freire Jr. (2011) who helped the research find a more adequate conclusion to defend the potential of constructive empiricism in science education. The correlations that we tried to draw in parallel with the categories of thought used aimed to deal essentially with the problem between theory and practice found in science education. It is notorious to come across naive perspectives to explain the correlation between the projection of the theoretical model and the experimental result in practical classes. Analyzing this problem under constructive empiricism has allowed us to envision another way of looking at error. Being able to give an answer under an empiricist bias different from the tendencies in teaching made the work interesting to be done at the same time that it put him at risk of not taking care of the problem. We understand that we can answer the problem when we understand the controversial nature of science.

Keywords: models, empirical adequacy, pragmatic explanation, virtuous distortions, science teaching

SUMÁRIO

Introdução		**11**
1	**Modelos no ensino de ciências**	**16**
1.1	Abordagem introdutória sobre modelos no ensino de ciências	18
1.1.1	Os modelos empíricos	21
1.2	O empirismo ingênuo no ensino de ciências	22
1.2.1	Um breve histórico do empirismo no ensino de química	26
1.2.2	O erro no âmbito do ensino de ciências	29
1.3	Nossa síntese das contribuições de Bachelard	34
1.4	Contextualizando o problema	37
2	**A epistemologia de Bas C van Fraassen**	**41**
2.1	Um problema na representação dos modelos para ensinar ciência	46
2.1.1	A controvérsia ao representar o fenômeno	52
2.2	Contribuições de van Fraassen para a representação	56
2.2.1	Pragmática da explicação para construir os modelos	60
2.2.2	A imagem empírica dos fenômenos	66
2.2.3	As distorções são necessárias para comunicar o conhecimento	69
2.3	Síntese do capítulo	73
3	**Modelos empíricos no ensino de ciências**	**76**
3.1	Representações e ensino de ciências: olhando para a química	77
3.2	Analisando um resultado pela epistemologia de van Fraassen	83
3.3	Empirismo construtivo: potenciais implicações para o entendimento do erro no ensino de ciências	87
3.3.1	Pragmática da explicação: preenchendo a teoria de sentido em sala de aula	92
3.3.2	Distorções virtuosas: outra maneira de olhar o erro?	98
3.4	Uma epistemologia de natureza empírica concorrente	102
Considerações Finais		**106**
Referências		**111**

Introdução

Há um segmento de pesquisa dentro do campo de ensino de ciências que enxerga os modelos como mecanismos de fomentar o aprendizado de ciências em sala de aula. Essa pesquisa entende a relevância desses trabalhos no ensino e apropria-se de tais discussões para contribuir com um outro olhar, sendo esse sob a perspectiva empirista construtiva fundamentada na epistemologia de Bas C. van Fraassen. O filósofo holandês já é aposentado pela Universidade de São Francisco, porém segue dando continuidade às suas pesquisas. Ele pesquisa na área de filosofia da ciência, sendo seu foco de trabalho em dois segmentos: lógica e epistemologia. São nesses estudos que o autor observa uma potencial defesa para corrigir ideias equivocadas que ganharam visibilidade no cenário atual. Ideias essas representadas pelo excesso de relativização da ciência, problematizações pautadas excessivamente na experiência subjetiva que levam a círculos viciosos, falta de esclarecimento objetivo das problematizações.

Bas C. Van Fraassen começa suas publicações acadêmicas em 1962, numa década marcada por alguns importantes fatos históricos como o auge da guerra fria, o movimento de contracultura, desenvolvimento das redes de comunicação para fins comerciais e a corrida espacial. A minha impressão a partir da revisão das obras do autor me levam a acreditar que o avanço da ciência e sua capacidade em superar alguns limites incentivaram van Fraassen a investigar o sucesso da ciência. O que torna a ciência bem-sucedida? Ao fazer sua investigação, o autor conclui que o sucesso da ciência está na sua capacidade em criar modelos empiricamente adequados, ou seja, modelos que incorporam os fatos empíricos. Com os modelos, cientistas são capazes de representar o conhecimento científico, e avançar a ciência. Avanço que não é sinônimo de progresso, e sim de respostas mais confiáveis para o problema.

Há diversos trabalhos de natureza teórica presentes no ensino de ciências que refutam as noções do positivismo lógico que são refletidas em sala de aula. A presente pesquisa observou nas categorias de pensamento propostas pelo autor argumentos que contribuem para esse debate. Entendendo que o debate é enriquecido com os diversos

olhares do saber, a pesquisa, portanto, caminha em diálogo com uma proposta empirista construtiva para o engajamento do alunado na atividade científica dentro de sala de aula. Entendemos que há um certo predomínio do pensamento empirista ingênuo que é reproduzido no espaço escolar. Pensamento representado na experimentação autoevidente do conhecimento científico ou na problematização excessiva que promove apenas o problema sem dar muita importância para as respostas. Enxergamos nessa ingenuidades uma corroboração para visões errôneas da ciência. Com esse cenário percebemos que há necessidade de uma proposta de raiz empirista que rejeite visões redutoras do conhecimento científico a mera observação empírica. E, vimos em van Fraassen (2007) esse potencial.

O percurso metodológico que fizemos para pesquisar deu-se pela revisão de duas obras que julgamos mais relevantes para cumprir o propósito contextual da pesquisa: A *imagem científica* e *Representação científica: paradoxos de perspectiva*. Com a revisão das obras pudemos selecionar três categorias de pensamento que julgamos serem essenciais em nosso objetivo: *adequação empírica*, *pragmática da explicação* e *distorções virtuosas*. Tais categorias nos possibilitaram traçar uma reflexão que pudesse responder alguns desafios suscitados no ensino de ciências. Desafios tangentes a ensinar teorias repletas de sentido em sala de aula. Nosso objetivo geral seria apresentar uma proposta de natureza empirista capaz de dar sentido às teorias científicas - especialmente as teorias de natureza química em vista que a área tem uma particularidade. Entendemos que esse objetivo geral de alguma maneira responde aos dois desafios que mais impactaram a articulação da pesquisa: como poderíamos ensinar uma prática científica sem sermos doutrinários? E, como poderíamos ensinar uma teoria repleta de sentido? São indagações gerais que não foram respondidas, mas elas deram uma direção na hora de investigar. Podemos não ter respondido elas, mas elas nos guiaram no processo investigativo.

É importante ressaltar que cumprir tal objetivo dentro de uma pesquisa feita em dois anos foi extremamente difícil. Escrever foi um processo ainda mais delicado em vista que considerei um princípio importante: objetividade. Prezei pela síntese correndo o risco de deixar algumas perguntas em aberto, ou respondidas com menos clareza do que gostaria. Contudo, em minha defesa inicial devo apresentar as dificuldades em traçar algum paralelo entre a tese de van Fraassen (2007) e o ensino de ciências. Há

pouquíssimos trabalhos relacionando a tese do autor a algum problema na área de ensino de ciências. Encontramos sim trabalhos realizados por Knuuttila e Boon (2011) e Gilbert e Justi (2016) apropriando-se das categorias de pensamento defendidas por van Fraassen (2007, 2008a) para correlacionar com modelos. Mas, uma pesquisa correlacionando a tese do autor com um problema geral da área de ensino de ciências não foi encontrado, pelo menos não nos interesses do nosso programa de pesquisa. Dessa maneira, tivemos que primeiramente apresentar a obra do autor no capítulo 2.

Se a intenção era apresentar a proposta do autor como capaz de satisfazer algum problema derivado das minhas duas primeiras indagações, “tomei um banho de água fria” ao perceber o desafio que é responder às perguntas ainda mais em cima de uma epistemologia que sequer foi correlacionada no ensino de ciências. O problema da pesquisa foi, portanto, quais as contribuições do empirismo construtivo com potenciais implicações no ensino de ciências? Implicações cuja essência está nas duas perguntas iniciais. Agora com esse problema encontramos algo mais viável a ser respondido. A minha produção textual tentou trazer o empirismo construtivo como uma crítica ao empirismo ingênuo que reduz o conhecimento científico a mera observação ou credita a ciência como uma entidade cujo objetivo é demonstrar o conhecimento verdadeiro. Com essa crítica dei-me por satisfeito a entender que isso implica em um ensino sob uma diretriz não doutrinária.

Comumente encontramos na literatura a defesa de um conhecimento socialmente construído, essa é preservada na pesquisa, porém abordaremos num potencial problemático que alguns autores como Shapin (2013) e Collins apresentam (2015) que é a ciência como determinante da verdade universal e absoluta. O primeiro anuncia o problema que a ciência vem desencadeando ao longo do tempo, principalmente com a popularização do conhecimento científico, que é tomar o papel da doutrina religiosa. O segundo autor aponta a prática dentro de sala de aula que leva ao senso comum da ciência como uma verdade absoluta e universal sobre o mundo. A epistemologia de van Fraassen (2007, 2008) torna-se relevante justamente pelo seu entendimento que as teorias científicas representam o mundo real e observável, porém não são verdades universais e absolutas sobre o mundo. Esse problema de enxergar a ciência como fundamentadora da verdade como uma doutrina religiosa que não pode ser questionada é atribuída ao programa positivista que almejava na sua essência refutar a metafísica

(GIORDAN, 1999). E van Fraassen (2007, 2008) critica tal programa contudo preserva uma abordagem empirista sobre a construção dos modelos da teoria científica.

A importância de se discutir uma epistemologia que trata da representação sob um viés empirista torna-se mais relevante quando encontramos uma defesa, por Gilbert (2009), dentro do ensino de ciências que a química como ciência é sustentada em três tipos de representações: macroscópica, submicroscópica e simbólica. Para Gilbert (2009), o ensino de química engaja o alunado quando essas três representações são contempladas e correlacionadas no ensino. Entretanto, se autores já apontam que ensinar a atividade científica como uma verdade é construir um problema social. Então, fica uma questão: como ensinaríamos a atividade científica sem determinar que o conhecimento dado pela ciência é uma doutrina universal e absolutamente verdadeira sobre o mundo? Necessitaríamos construir um conhecimento em sala de aula sobre uma realidade observável ao mesmo tempo que apresentamos as limitações do conhecimento científico. Isso parece bastante trivial de ser feito, porém na ciência, especialmente na química, temos uma realidade difícil de ser tratada e desconstruída para indicar as limitações da teoria. Quando falamos da realidade submicroscópica da matéria, tratamos de modelos imaginados como apontam Bucat e Mocerino (2009). As tendências construtivistas, em especial as radicais que reafirmam o empirismo ingênuo, criam modelos sobre o inobservável para fornecer uma experiência para o alunado e assim engajá-lo em uma dinâmica social que estimula o aprendizado. A crítica a ingenuidade do conhecimento autoevidente é dada pelas limitações dos modelos em representarem a realidade em sua totalidade. Quando não problematizamos o modelo e simplesmente o entregamos à experiência subjetiva do alunado é pressupor que o aluno constantemente investigará o conhecimento daquele objeto sobre o mundo ao qual ele se refere. Esse pressuposto não é verdadeiro, e o que temos é a leitura dissertada por Shapin (2013) sobre a ciência na sociedade atual: pessoas que tomam a ciência como uma verdade para justificar o mundo que elas querem acreditar.

Um dos contrassensos encontrados no empirismo que argumenta o conhecimento como totalmente dependente da experiência subjetiva é a negação da capacidade da ciência em dar explicações objetivas para os problemas. Isso é problemático em vista que há trabalhos aceitos pela comunidade científica que não são frutos apenas da experiência sensível. Como poderíamos representar adequadamente o

postulado de Heisenberg, por exemplo, sob uma proposta empírica que atenda a demanda do sujeito pela experiência em sala de aula? Como levaríamos o alunado a experienciar a diferença entre eletronegatividade e afinidade eletrônica dentro das limitações laboratoriais das escolas? Reparemos que há teorias na ciência que são aceitáveis mesmo sem podermos observá-las empiricamente. Com essas questões quero evidenciar que nós professores ensinamos também teorias que não são empiricamente observáveis e nos pautamos na ciência para nos auxiliar no ensino delas. Portanto, a ciência é capaz sim de produzir conhecimento sem depender exclusivamente da realidade empiricamente observável.

Quando o aluno não aceita o modelo como verdadeiro, uma tendência é refutar a objetividade da ciência e encará-la como esoterismo, problema também apontado por Shapin (2013). Uma das máximas dos desafios que a pesquisa almeja contribuir está relacionado com esse debate sobre a construção do conhecimento quando a experiência subjetiva do fenômeno não é possível em sala de aula. Nesse cenário, a epistemologia empirista de van Fraassen (2007, 2008a) torna-se algo que conecta os três pilares representacionais da química sem depender de uma atividade experimental que assegure uma experiência subjetiva que tenha como produto um conhecimento científico. A reflexão de van Fraassen (2008a) sobre a representação científica contempla o desafio proposto por Gilbert e Treagust (2009) em relação ao ensino de química. O desafio dado pelos autores chama os pesquisadores de ensino de ciências para preencher de sentido o tripé representativo no qual a química está inserida.

1- Modelos no ensino de ciências

O início da nossa dissertação se dá pela investigação das pesquisas em ensino de ciências que discutem a epistemologia e sua relevância para o ensino de modelos. Para alcançar o objetivo de localizar nossa dissertação no contexto de pesquisa, achamos relevante introduzir uma síntese sobre modelos no ensino de ciências para que possamos dizer do que ela se trata e onde ela almeja dar alguma contribuição. Posteriormente, fizemos uma defesa do argumento que defende os modelos como objetos empíricos dentro da perspectiva do empirismo construtivo. Apesar de nesse capítulo não estarmos discutindo diretamente a epistemologia de van Fraassen (2007, 2008a), julgamos necessário apresentar pelo menos algum argumento do autor que olha o modelo como algo empírico. Enxergamos essa necessidade em vista que trataremos ao longo da dissertação sobre uma percepção empirista para ensinar os modelos em sala de aula.

Logo na segunda seção, consideramos pertinente apontar algumas das fragilidades causadas pelo positivismo lógico no ensino de ciências que deixou uma marca negativa para o empirismo. Em seguida decidimos apontar historicamente a relevância que o empirismo tem no ensino de química em especial dado que a sua relação com o fato observável teve profunda importância na construção da química como uma ciência. Fizemos uma observação nesse contexto do qual encontramos uma futura correlação com a tese de van Fraassen (2007, 2008a). As contradições entre teoria e prática existentes na experimentação nem sempre, ao nosso juízo, são trabalhados adequadamente em sala de aula. Muitas aulas são apenas demonstrativas que buscam resultados já prontos, e estas têm forte defesa dentro do ensino de ciências por parte dos professores como algo importante para o aprendizado dos alunos. Enxergamos sim a relevância dessas aulas no ensino de ciências, mas enxergamos uma certa ingenuidade nas explicações quando ocorrem os conflitos entre a projeção teórica e o resultado experimental.

Com o interesse na epistemologia e suas implicações no ensino de ciências, pesquisamos alguns fundamentos das contribuições de Bachelard (1996) que trazem uma maneira mais otimista na situação conflitante que tocamos anteriormente. Dada a contribuição, fizemos uma síntese da nossa angústia que motivou a investigação na esperança de encontrar futuramente na tese de van Fraassen (2007, 2008a) uma

potencial solução sob o ponto de vista empirista. Portanto, o primeiro capítulo foi planejado para expor aquilo que nos motivou a presente investigação, trazendo algumas sínteses que consideramos relevantes para a discussão do trabalho. Enxergamos também nas teorias quânticas um lugar onde a tese do nosso autor tem potencial impacto. É no ensino das teorias quânticas que uma abordagem empiricamente adequada se apresenta em potencial relevância em vista que a natureza das explicações delas é complexa e conflita com os desafios dentro do espaço escolar.

O percurso metodológico do capítulo foi a revisão de alguns autores como Knuuttila e Boon (2011), Gilbert e Justi (2016), e Justi (2006) para sintetizarmos uma perspectiva difusa sobre modelos no ensino de ciências. Trouxemos as contribuições de Berland *et al.* (2016) e Duschl (2008) que trazem reflexões importantes para a epistemologia no contexto de ensino de modelos. Aprofundamos com as visões defendidas por Passmore, Gouveia e Giere (2014) e Morgan e Morrison (1999) sobre os modelos como ferramentas capazes de mediar o conhecimento presente na teoria e o sujeito. Para trazer uma crítica ao empirismo ingênuo e levantar uma questão desafiadora no ensino de ciências dialogamos com Braga, Guerra e Reis (2008), Cachapuz *et al.* (2005) e Collins (2015). Para revisar o histórico do empirismo tanto na química quanto no seu ensino fizemos as leituras de Greenberg (2010), Lavoisier (2007), Hale (1926) e Cooper (2018). Complementamos com Hodson (1996b), Gonçalves e Marques (2012), Bodner (1986) e Queiroz e Barbosa-Lima (2007). Fizemos uma reflexão sobre o erro focado nas contradições entre a observação e a teorização da mesma e para isso lemos os trabalhos de Galiazzi e Gonçalves (2004), Lôbo (2012), Giordan (1999), Pietrocola (2002), Hodson (1996a) e Astolfi (1999). Observamos as contribuições de Bachelard (1996) como relevantes para discussão, mesmo que numa perspectiva contrária a van Fraassen (2007, 2008a), uma vez que o autor traz uma maneira de tratar o erro diferenciada e correlacionada no ensino de ciências por Costa (2009) e Astolfi (1999).

As nossas considerações finais visaram sintetizar toda essa leitura para visibilizar um problema no qual consideramos relevante no ensino de ciências e esperamos encontrar na epistemologia de van Fraassen (2007, 2008a) um potencial corroboração.

1.1- Abordagem introdutória sobre modelos no ensino de ciências

Um trabalho de revisão bastante pertinente aos modelos no ensino de ciências é o feito por Gilbert e Justi (2016) e Justi (2006). Os autores trazem as reflexões da filosofia sobre os modelos e aplicam no ensino de ciências. O modelo pode ser visto de diversas maneiras, sendo uma delas contemplar a representação da realidade observável. E, "atualmente o ponto de vista mais amplamente aceito é que um modelo é a representação de uma ideia, objeto, evento, processo ou sistema, criado com um objetivo específico" (JUSTI, 2006, p. 175). Representar algo em um modelo não é somente exibir um aspecto visual, ou promover uma experiência, é também abstrair uma informação e traduzir de outra maneira aquilo que foi representado. Gilbert e Justi (2016) e Justi (2006) apontam, também, uma controvérsia existente no debate sobre modelo, sendo uma posição o modo de enxergá-lo como uma cópia da realidade e a outra maneira como uma criação mental que se assemelha à realidade. O cerne da discussão que o presente capítulo da pesquisa entende como relevante é o objetivo de representar a realidade observável como um modo de explicar o mundo (JUSTI, 2006; GILBERT; JUSTI, 2016; DUSCHL, 2008). Nosso posicionamento dialoga com o entendimento a respeito do conhecimento científico que possibilita uma explicação para a realidade que nos cerca (BERLAND et al. 2016; DUSCHL, 2008). Para decidirmos se o conhecimento sobre essa é válido, avaliamos o mesmo para aplicá-lo em nosso meio social (BERLAND et al. 2016; DUSCHL, 2008).

Uma síntese da discussão sobre modelos fez-se necessário para aprofundarmos a abordagem do mesmo em sala de aula por meio do empirismo construtivo, epistemologia proposta por Bas C. van Fraassen. Dialogando com o parágrafo anterior, de modo geral, os modelos são discutidos como representações (KNUUTTILA; BOON, 2011). Enquanto os modelos científicos são desenhados como artefatos pertencentes a uma classe pública de objetos cuja natureza é científica (KNUUTTILA; BOON, 2011). E, essas tipicamente tratam de um sistema fenomenológico natural ou social, assim como podem representar dados (KNUUTTILA; BOON, 2011). Uma discussão, mais recente, envolve-se em um tema epistemológico que reflete sobre o conhecimento

potencialmente construído através dos modelos e a realidade representada neles (KNUUTTILA; BOON, 2011).

De acordo com Knuuttila e Boon (2011), olhar os modelos como ferramentas epistêmicas é uma forma de analisar o processo de aquisição de conhecimento. Uma vez representados os sistemas fenomenológicos por meio dos modelos, esses possibilitam-nos construir conhecimento sobre o observável e incutir na abordagem novas entidades que satisfazem problemas epistêmicos. Essa capacidade do modelo intermediar o observável representando-o num mecanismo que facilita a compreensão traz para o âmbito pedagógico uma poderosa ferramenta para a construção de sentido. Outro ganho que os modelos trazem para o ensino é a possibilidade de inovação na abordagem conceitual. A essência está na representação do sistema, ou seja, na relação entre o objeto observável e o que ele pode significar. Sendo assim, cria-se uma nova possibilidade de inovar na construção desse significado. As aproximações e conceitualizações tangentes ao ensino deles envolvem um trabalho conceitual que permite o discernimento dos tipos específicos de fenômenos, conceitualizar o observável do inobservável, as propriedades, os processos, princípios teóricos e empíricos.

Podemos nos envolver em um debate sobre o que os modelos são dentro do ensino. Isso sintetiza de certa forma o que nos propomos a discutir: 1) modelos são definidos pelo seu contexto de uso; 2) modelos são partes compiladas do fenômeno; 3) modelos são representações distintas da forma que eles tomam (PASSMORE; GOUVEA; GIERE, 2014). No campo do ensino, a perspectiva defendida por Passmore e Gouveia e Giere (2014) disserta que essas ferramentas representacionais ganham valor de agentes cognitivos, e podemos criar a relação: modelos são usados como agentes cognitivos que atribuem sentido ao fenômeno (PASSMORE; GOUVEA; GIERE, 2014). O empirismo construtivo reivindica o modelo como representação empírica do observável, entendendo que tal é criada para se ajustar ao fenômeno (VAN FRAASSEN, 2008). Em sala de aula, o uso dos modelos nesse propósito permite aos estudantes imitarem parte do trabalho dos cientistas e assim encontrarem múltiplas ideias sobre o fenômeno (PASSMORE; GOUVEA; GIERE, 2014). Um ponto relevante para a imersão do aluno nesse fazer científico é questionar os modelos criados por eles, dado que há um fenômeno representado pela ciência e o modelo

mesmo que não seja uma cópia perfeita do observável deve representá-lo (PASSMORE; GOUVEA; GIERE, 2014).

Discutir modelos como instrumentos que estimulam o aprendizado em sala de aula é relevante sob o seguinte ponto de vista: modelos podem ser considerados agentes cognitivos em virtude que sua função é independente das teorias (MORGAN; MORRISON, 1999; PASSMORE; GOUVEA; GIERE, 2014). Morgan e Morrison (1999) defendem que os modelos possuem funções distintas das teorias, e isso é o que os permite serem utilizados como agentes cognitivos. Como já discutimos, os modelos podem representar muitos elementos presentes nos fenômenos. Contudo ao correlacionarmos o observável através de um modelo, criamos um novo objeto que representa tal observação, e essa pode ser utilizada para um diferente objetivo. Na possibilidade de podermos atribuir uma nova função ao modelo, é onde nasce o seu potencial pedagógico. A função do modelo em parte é independente daquilo que está representado (MORGAN; MORRISON, 1999). A partir dessa reflexão, Passmore, Gouveia e Giere (2014) analisam o modelo como instrumento capaz de ser trabalhado em sala de aula. A química nos ajuda a visualizar essa posição em relação aos modelos.

> Da mesma forma, Ursula Klein nos mostra como as fórmulas químicas foram aplicadas para representar e estruturar experimentos - experimentos que foram paradigmáticos na emergente subdisciplina da química orgânica. Usando as fórmulas, Dumas poderia calcular quanto cloro era necessário para a produção de cloral e quanto ácido clorídrico era produzido simultaneamente. Devido a esses poderes de cálculo, as fórmulas tornaram-se substitutos para a medição concreta de substâncias envolvidas nas transformações químicas. Eles funcionaram como modelos capazes de identificar caminhos de reações em novas situações. Como as fórmulas podiam ligar símbolos com números, era possível equilibrar os ingredientes e produtos de uma transformação química - uma característica crucial de seu papel como instrumentos para experimentos (MORGAN; MORRISON, 1999, p. 21).

Quando usamos a química como exemplo para ilustrar o porquê os modelos podem ser considerados agentes autônomos, e consequentemente como agentes cognitivos no ensino de ciências, encontramos um modo de esclarecer as ideias. As fórmulas que usamos em química e ensinamos em sala de aula para prever o balanceamento das reações liberta da necessidade da constante experimentação e o controle dos resultados. Aqui não estamos defendendo que as práticas experimentais não são relevantes, ou são desnecessárias por causa que a teoria substitui o experimento,

mas queremos defender que as representações teóricas para o balanceamento das reações químicas e o modelo que utilizamos para representar uma reação nos possibilita substituir a observação por um instrumento pragmático em situações que não temos o suporte de um laboratório. Sendo assim, não há necessidade de estarmos sempre realizando um experimento para mostrar que se eu adicionar bicarbonato de sódio em um frasco com vinagre acontecerá uma reação. Ou, se eu adicionar 36,5g de ácido clorídrico em um frasco com 40g de hidróxido de sódio, eu obterei uma reação balanceada. As fórmulas que utilizamos nos permitem atribuí-las uma função representacional, e ela não depende em certos aspectos do fenômeno. Pois, uma vez que entendemos aquilo que elas representam, podemos utilizá-las como um instrumento de natureza epistemológica.

> quando construímos um modelo, criamos uma espécie de estrutura representativa. Mas, quando manipulamos o modelo, ou calculamos coisas dentro do modelo, aprendemos, em primeiro lugar, sobre o mundo do modelo - a situação representada pelo modelo (MORGAN; MORRISON, 1999, p. 33).

1.1.1 - Os modelos empíricos

Após fazermos uma síntese introdutória do que são os modelos e sua utilização no ensino de ciências, achamos válido discuti-los sob uma perspectiva empirista. Para isso podemos nos embasar pela própria dissertação sobre o empirismo feita por van Fraassen (1994b, 2007). Importante delinear o empirismo nessa ideia resumida. Pois, van Fraassen (1994b, 2007) se aproxima do empirismo aristotélico e coloca o sujeito como passivo da realidade observável. Conforme o autor, aquilo que observamos é dependente dos nossos sentidos, sendo um fato o que somos capazes de observar, e toda afirmação que pressupõe algum elemento não-observável deve ser pensada de modo pragmático para responder um problema. Dada a síntese do pensamento empirista de van Fraassen (1994b, 2007), os modelos ganham uma função explicativa para os problemas investigativos. A relevância de trazermos tal apontamento para o início da dissertação se deve a introduzirmos de alguma maneira o empirismo que está sendo tratado. Há uma certa dificuldade em encontrar pesquisas discutindo o

empirismo fora da percepção construtivista em ensino de ciências. Sendo assim fez-se necessário tratar inicialmente sobre qual empirismo estamos trazendo para discutir os modelos e assim construir futuras potenciais contribuições.

A partir daqui podemos discutir os modelos sob uma perspectiva empirista construtiva. Uma reivindicação bastante enfatizada por van Fraassen (2007) e retomada em Muller e van Fraassen (2008) é o empirismo construtivo doutrinado na adequação empírica. Os autores tratam as entidades observáveis e não-observáveis numa leitura de mundo que associa o observável a um fato empírico, e o não-observável a uma virtude pragmática. Aqui é importante contrastar com o positivismo lógico do qual o autor critica diretamente, compreendendo que nenhum conhecimento é puramente empírico. Conforme o autor, as deduções e induções lógicas sobre as observações são verdadeiras somente, e somente se pudermos comprová-las por meio da demonstração empírica, mas – e entramos no ponto onde o autor rejeita o positivismo – na medida em que não somos capazes de fazer uma constatação contundente é aceitável trabalhar com elementos não-observáveis oriundos de explicações lógicas. Tendo em vista que as explicações lógicas dão sentido pragmático ao conhecimento científico (VAN FRAASSEN, 1969, 2007, 2008a, MULLER; VAN FRAASSEN, 2008).

1.2 - O empirismo ingênuo no ensino de ciências

O artigo de Braga, Guerra e Reis (2008) nos alude a uma narrativa histórica que nos situa ao momento em que cientistas influentes rompem com a metafísica, e constroem um programa científico na busca de um empirismo puro. Esse programa é identificado nas enciclopédias francesas do século XVIII produzidas por Diderot e D'Alembert que transcrevem o conhecimento científico sem dar a ele um tratamento metafísico. Nesse cenário científico da sociedade francesa, instaurou-se um projeto educacional de formação que visasse formar futuros engenheiros que fossem capazes de operar como uma máquina as organizações sociais que já se estruturavam para isso. A diretriz desse projeto era construir uma sociedade onde a razão científica fosse o

princípio educativo, e para alcançá-lo, a França viu nascer um projeto educacional que substituiu a Filosofia e sua metafísica para a ciência experimental e sua matemática como base da formação profissional. Esse modelo foi "importado" para o Brasil que tentou organizar sua estrutura científica conforme os moldes científicos franceses. A prática pedagógica passa a ser centrada na demonstração e prática laboratorial para a compreensão do conhecimento científico. Entende-se, portanto, que a educação científica foi sinônimo de uma concepção dogmático-instrumental. Instrumental pelo conhecimento adquirido a partir da prática experimental e demonstrativa, e dogmático por excluir do ensino-aprendizado o processo de produção daquele conhecimento. Na tentativa de neutralizar esse conhecimento da discussão metafísica, excluiu-se portanto as controvérsias existentes na comunidade científica, as concepções de realidade inerentes à construção da teoria, a problemática que levantou a necessidade de produzir aquele conhecimento. Sendo assim, a ciência perde o sentido de empreendimento humano, e é caracterizada como um produto pronto e acabado (BRAGA; GUERRA; REIS, 2008).

Alguns pesquisadores, como Cachapuz e colaboradores (2005), do ensino de ciências descrevem o cenário educacional como emergente a uma renovação da epistemologia para a prática de ensino. Uma das articulações utilizadas para sustentar tal emergência é a respeito da imagem científica no imaginário social que reflete dentro de sala de aula. Com base nas críticas às visões distorcidas relacionadas a ciência, os autores visam em sala de aula construir uma prática pedagógica que suscite uma visão mais aproximada da ciência como ela é. Os autores estão assumindo como imagem distorcida da ciência, a representação de uma que nos levará ao constante progresso, que estará sempre otimizando os empreendimentos humanos a partir das suas teorias produzidas em laboratório entre vários outros aspectos. Os autores nos levam a reflexão desse posicionamento que assume um positivismo em relação a natureza do conhecimento científico e crer que sua teoria descreve uma realidade verdadeira, e podemos, portanto, manejá-la a fim de progredir e corrigir os erros das teorias antecedentes. Contudo, também nos levam a enxergar esse posicionamento como ingênuo na medida que se exclui do objetivo de a ciência construir um conhecimento que satisfaz um contexto fenomenológico específico. Outra prática ingênua apontada é a concepção de uma ciência ateórica e um experimento isento de

concepções *apriori*. O empirismo ingênuo de construir uma teoria científica a partir dos dados empíricos como destituídos de uma interpretação da realidade. A mera indução pelo experimento é partir do pressuposto que as evidências por si são capazes de nos dizer uma verdade sobre o mundo real (CACHAPUZ et al., 2005, p. 42).

Com base nesses posicionamentos, viso nesse capítulo compartilhar das análises feitas pelos autores, mesmo entendendo que são construídas em contextos diferentes com objetivos diferentes. Entretanto, há nelas um discurso em comum que é a imagem ingênua de uma ciência que nos leva a uma verdade absoluta e universal por meio do empirismo, e está presente em sala de aula reproduzida por alunos e professores (CACHAPUZ et al., 2005; BRAGA; GUERRA; REIS, 2008; COLLINS, 2015). Para que possamos construir uma imagem científica mais adequada àquilo que a ciência é, necessitamos de uma epistemologia que nos condiciona a construir uma prática científica em sala de aula coerente com a teoria e do que ela se trata. O empirismo ficou mal visto no ensino de ciências em vista a esse positivismo lógico que entendia a ciência como reveladora da verdade, e a escolha por van Fraassen (2007) é dada por abordar o empirismo sob um viés mais adequado para aquilo que a ciência é como empreendimento humano (COLLINS, 2015; VAN FRAASSEN, 2007).

Um artigo de Collins (2015) faz uma defesa para o ensino de ciências focado em formar o alunado para compreender aquilo que a ciência é. A tese de van Fraassen (2007) discute em torno de um ponto em relação ao que a ciência trata. Aqui estamos pressupondo que a ciência é um empreendimento humano e falível. A reflexão de Collins (2015) sobre a prática científica em sala de aula nos direciona a compreender uma aula que reflita as limitações das teorias científicas e o que ela satisfaz para o meio científico. O olhar suscitado por Collins (2015) coloca um holofote no problema que move a investigação científica e o porquê de executar uma determinada metodologia sob uma percepção de mundo ser utilizada para solucionar aquele problema. Um dos objetivos centrais da ciência é produzir teorias científicas que incorporam a realidade observacional empírica em modelos isomórficos (VAN FRAASSEN, 2007). Com base nos modelos construídos, van Fraassen (1987, 2007) conclui que a ciência fornece explicações para os fenômenos observáveis (VAN FRAASSEN, 1987, 2007). O artigo que mencionei, Collins (2015) provoca os professores de ciências a refletirem numa situação experimental hipotética - porém,

acontece - em que o professor coloca os alunos para registrarem os dados da temperatura medidos quando a água entra no ponto de ebulição. O autor trata a prática científica sob um viés sociológico no qual defende que nessa situação não cabe mais, no momento atual, aos professores de ciências ensinarem os alunos a medirem dados, confirmarem com o material bibliográfico e assim conhecerem a verdade sobre o experimento observado. A prática científica que o ensino de ciências deveria estimular em sala de aula é conhecer o porquê de o método da medição (do sentido: de medir por via de instrumentos) resultar naqueles dados e qual o problema que o motivou a investigar (COLLINS, 2015).

A dissertação entende que o empirismo construtivo, nesse cenário, torna-se uma alternativa epistemológica viável para ensinar teorias sem banalizar a experimentação como uma simples prática que confirma a teoria. Van Fraassen (2007) é um autor que trata a busca pela verdade como algo pertencente ao interior do sujeito, contudo argumenta que prática científica não trata dessa busca individual pela verdade. Para o autor, a ciência trata de uma realidade observável discutida pela comunidade científica que cria modelos para representá-la. Dentro dessa perspectiva há uma defesa importante para o entendimento da ciência como uma atividade passível do erro e em constante atualização por estar sempre incorporando novos fenômenos em seus modelos (VAN FRAASSEN, 1994a, 2007). Desse modo, podemos correlacionar com Cachapuz *et al* (2005) que criticam a experimentação como verificadora de uma realidade verdadeira.

O empirismo em sala de aula, com base na epistemologia de van Fraassen (1994a, 2007), teria por objetivo o estímulo a uma posição filosófica diante da observação empírica. Segundo o autor, o empirismo não é teorizar a experiência, é uma atitude diante da realidade observacional (VAN FRAASSEN, 1994a). Claro que esse não seria o único objetivo do empirismo em sala de aula, tampouco a única contribuição para o ensino de ciências. Uma vez que van Fraassen (1994a) questiona o próprio empirismo positivista como uma prática científica ingênua, ele nos subsidia com uma posição que pode ser dada em sala de aula na elaboração da atividade experimental que é justamente tratar os dados empíricos como subsídios para a construção dos modelos (VAN FRAASSEN, 2008a). Assim como Collins (2015) provoca os professores de ciências a pensarem em uma prática científica em sala de

aula que fale mais sobre o fazer do que o próprio dado, o empirismo construtivo dá suporte epistemológico para construir um conhecimento que transforme o dado em uma estrutura a ser incorporada pela teoria, e não um valor verdadeiro que a confirma (VAN FRAASSEN, 2007; COLLINS, 2015).

Assim como o autor preocupa-se com aquilo que sua tese pode parecer, almejo tratar com clareza meu objetivo de sustentar uma pesquisa delineando sua epistemologia como uma ferramenta útil para ensinar modelos por meio da abordagem empirista construtiva. Aproveitarei as oportunidades para esclarecer que não viso apresentar van Fraassen (2007, 2008a) como o autor mais adequado para guiar todo nosso ensino de modelos, mas que sua epistemologia evidencia um modo de olhar a realidade existente no fenômeno e dar ao mesmo uma explicação pragmática para os elementos não-observáveis que surgem. A tese principal fundamenta-se na adequação empírica que sob o ponto de vista do autor é capaz de tornar os elementos não-observáveis em elementos explicativos dando condições a nossa capacidade epistemológica de abstrair o empírico e desse modo criarmos ferramentas das quais podemos utilizar. Essa base pode ser uma direção para o planejamento de uma aula de ciências que vise provocar um amadurecimento no alunado ao interpretar um fenômeno. Os modelos de uma teoria são os mecanismos que nos possibilitam interpretar o fenômeno através da linguagem (VAN FRAASSEN, 2007).

1.2.1 - Um breve histórico do empirismo no ensino de química

A química como ciência está amarrada historicamente nas práticas experimentais cujos fundamentos foram construídos e desenvolvidos a partir da observação e do registro dos materiais que se transformavam em outros após uma reação química, ou mudavam seu estado fundamental após uma transformação física (GREENBERG, 2010). Desde os tempos da alquimia até os dias atuais, preservou-se o discurso, que foi defendido e divulgado por Lavoisier - um dos ícones da ciência química - como uma

prática experimental (LAVOISIER, 2007; GREENBERG, 2010). Lavoisier (2007), em seu livro, revela seu entusiasmo com o empirismo, em especial as práticas que levavam às transformações dos compostos e às medições cuidadosas. Talvez, o objetivo de Lavoisier (2007) não fosse esse, mas certamente a prática de medir cuidadosamente cada material e registrar os dados obtidos tornou-se um fundamento que sustentou e sustenta até os dias atuais toda uma ciência (LAVOISIER, 2007; GREENBERG, 2010).

No ensino de química é bastante relevante os trabalhos que discutem a prática laboratorial ou a experimentação em sala de aula. Um trabalho de relevância histórica é o do professor Hale (1926) que traz para o ensino de ciências o relato da implementação da química como ciência no contexto escolar. A química no século XVIII estava consolidando-se, e foi no século XIX, em meados de 1870, que ela começou sua implementação no âmbito educacional. Essa implementação deu-se por uma necessidade industrial. A química desenvolveu e expandiu as atividades industriais ligadas ao setor agrícola, houve outras contribuições, mas esse setor foi o que mais impactou na entrada da química no campo escolar. Contudo, apenas no início do século XX que ela ganhou espaço relevante, até então poucas escolas ofereciam atividades experimentais que estivessem ligadas ao eixo do conhecimento químico. Apesar de estar consolidada como ciência, a participação no currículo escolar só ganhou espaço visível e relevante após a primeira guerra mundial (HALE, 1926). Hale (1926) nos relata sobre a forma como o conteúdo escolar de química era dado em sala de aula. O conteúdo era dado como atividades experimentais e as teorias sob uma perspectiva utilitarista, ou seja, o aluno conhece o objeto do saber ao conhecer sua utilidade. E, após aproximadamente 13,7% dos concluintes do doutorado serem químicos em 1914, a química estava ganhando relevância (HALE, 1926).

O ponto importante que desejo ressaltar nesse contexto histórico é a relevância histórica do conhecimento químico construído sob uma perspectiva empirista. Dentro do ensino há trabalhos que fazem essa discussão do empirismo em sala de aula para a construção do conhecimento químico. O trabalho de Cooper (2018) faz uma revisão histórica sucinta do empirismo no ensino de química desde 1880 a 1964, e aponta que o mesmo incorporou uma visão positivista em relação ao desenvolvimento do conhecimento. As práticas educacionais de natureza química promoviam a experimentação sob uma ótica de conhecimento auto-evidente, ou seja, feito o

experimento, o conhecimento é evidenciado pela prática. Essa razão tem uma fundamentação em vista que se entendia a química como uma ciência descritiva sobre a natureza da matéria, portanto focada nos processos e na sua aplicação industrial e agrícola (COOPER, 2018). Essa perspectiva histórica está alicerçada na implementação da química no ensino de ciências nos Estados Unidos da América e da Inglaterra, contudo uma pesquisa brasileira aponta que no Brasil, pelo menos no âmbito da formação dos professores, foi bastante influenciado pelas teorias empiristas-indutivistas utilizada no ensino de ciências oriundas da Inglaterra (GONÇALVES; MARQUES, 2012).

De 1964 a 2000, as ideias construtivistas, sócio-construtivistas, e a aprendizagem significativa foram incorporadas e prevaleceram nas pesquisas do ensino (COOPER, 2018). O construtivismo foi uma ferramenta utilizada pelo empirismo, baseando-se em uma das suas defesas pelo conhecimento que emerge da experiência individual que todos carregam em sua consciência (COOPER, 2018). O conhecimento sob uma perspectiva cognitivista, portanto, é construído na mente do sujeito e não é uma cópia de uma representação externa à realidade empírica (COOPER, 2018). Uma ponderação de Hodson (1996b) a respeito do construtivismo nas atividades laboratoriais nos informa que o mesmo direcionou a um entendimento que a instrução experimental precede o conhecimento em sala de aula. A síntese construtivista nos diz que o conhecimento é uma construção na mente do educando, essa ocorre em virtude que o indivíduo constrói o sentido, e não apenas reflete um conhecimento como se ele fosse uma folha de papel em branco (BODNER, 1986). O construtivismo rompe com a visão tradicional de um conhecimento que é perfeitamente correlacionável com a realidade, e com a compreensão do conhecimento ser verdadeiro quando o mesmo corresponder à realidade observável (BODNER, 1996). O desenvolvimento da epistemologia construtivista desdobrou-se em várias vertentes, e uma delas é uma visão radical que defende o conhecimento plenamente construído pelo sujeito (QUEIROZ; BARBOSA-LIMA, 2007; BODNER, 1986). Nesse entendimento, o professor deveria apenas construir conhecimento a partir da experiência do aluno, afinal o mesmo só pode existir a partir do momento que se constrói sentido em uma questão inerente à realidade subjetiva do aluno (BODNER, 1986). Um dos pontos que van Fraassen (2007) contribui para essa discussão é justamente na negação de um conhecimento plenamente subjetivo,

para o autor, a subjetividade está relacionada com os interesses pessoais e as questões que nascem desse interesse. Contudo, o objetivo da ciência não é tratar de uma realidade subjetiva, os estudos científicos tratam de uma realidade objetiva (que fala dos fatos em si e atribui uma explicação lógica a eles) e construída em modelos isomórficos a partir do observável, ou seja, modelos que incorporam os fenômenos (VAN FRAASSEN, 2007).

1.2.2 - O erro no âmbito do ensino de ciências

Após fazermos alguns apontamentos a respeito dos modelos teóricos e algumas reflexões para o ensino de ciências, vamos refletir sobre o erro. Um desafio encontrado na pesquisa sobre os laboratórios ou sobre as atividades experimentais relacionados com a aprendizagem é a falta de material de pesquisa (GONÇALVES; MARQUES, 2012). Apesar do tema ser debatido no meio acadêmico-científico, ainda há uma ausência de pesquisas em relação a outros temas de ensino de ciências que tratem do aprendizado dos alunos com as atividades experimentais (GONÇALVES; MARQUES, 2012). Um possível impacto é a falta de dados úteis para mensurar e discutir o quanto uma determinada epistemologia afeta a dinâmica escolar e o aprendizado dos alunos. Bodner (1986) já apontou o nascimento de uma perspectiva construtivista radical no ensino de ciências que foi incorporada no laboratório como uma atividade de realização do experimento feito em grupos. Uma possível consequência de uma visão radical foi a estruturação do planejamento pedagógico do tipo: primeiro instrui-se os alunos a realizarem o experimento, porque o conhecimento escolar é posteriori (BODNER, 1986). A experiência nos evidencia que o engajamento do alunado nas atividades experimentais é relativo a diversos fatores, e preencher a atividade experimental com significado é tratar adequadamente da observação e do modelo que a representa (WHITE, 1996).

O contexto escolar encara muitos desafios para implementar uma prática experimental adequada para satisfazer à realidade científica, um deles que foi apontado como um dos principais é a falta de preparo material (equipamentos, espaços

laboratoriais, EPIs, reagentes, vidrarias, etc...) e a falta de formação docente para o devido planejamento pedagógico (PENA; RIBEIRO FILHO, 2009). Como vimos as tendências no ensino nos direcionam a abordar o conhecimento sob uma correlação entre a teoria e a observação, contextualizando o problema para possibilitar a construção do sentido; e tal correlação não é auto-evidente, necessita de um confrontamento com o senso intuitivo dos alunos na hora de darem uma explicação para a observação (AUSUBEL, 1977; COOPER, 2018; DE MELLO ARRUDA; VILLANI, 1994).

Alguns trabalhos no ensino de química apontam a necessidade de uma experimentação em sala de aula condizente com a prática científica (GIORDAN, 1999; GALIAZZI; GONÇALVES, 2004; LÔBO, 2012). Sabemos que o positivismo lógico teve forte influência na Filosofia da Ciência, e vimos que alguns autores apontam a necessidade de uma renovação nas práticas científicas em sala de aula (CACHAPUZ et al., 2005; BRAGA; GUERRA; REIS, 2008; COLLINS, 2015). Um artigo que segue a mesma linhagem de pensamento, e bastante difundido nos cursos de licenciatura em química é o artigo de Giordan (1999) que aborda a experimentação no ensino de ciências. O autor disserta que a visão positivista deixou para o ensino de ciências a ideia de uma ciência confirmada pela demonstração empirista como se o conhecimento fosse auto-evidente. A problemática dessa ideia, segundo o autor, é a imagem construída de uma prática em sala de aula que confirmará a teoria estudada e isenta de erro. Essa visão assume a positividade de uma ciência que não se relaciona com o erro, e torna o experimento legitimador de um conhecimento como verdadeiro (GIORDAN, 1999; ASTOLFI, 1999).

Os autores Galiazzi e Gonçalves (2004) produziram uma pesquisa com um resultado bastante pertinente ao objetivo dessa dissertação. Os autores dissertam sobre um entendimento relevante na aprendizagem das aulas experimentais, e esse é o erro: "é interessante perceber que o entrevistado aponta para o erro, destacando as lacunas no próprio conhecimento de quem realiza o experimento" (GALIAZZI; GONÇALVES, 2004, p. 327). O interessante no resultado discutido pelas autoras é a reflexão do erro que acontece na prática experimental, em especial nos laboratórios de química. As atividades experimentais, especialmente em Química, nem sempre tem o resultado fiel à teoria. A crítica relevante desses autores é o potencial de aprendizado que perdemos quando não tratamos do erro na atividade experimental. Tradicionalmente preferimos

em sala de aula apresentar a teoria e promover uma atividade que chame a atenção do aluno (GALIAZZI; GONÇALVES, 2004). Em aulas da Educação Básica é raro encontrar uma escola com laboratório que permita um experimento ser rigorosamente controlado. Portanto, o que mais encontramos são atividades focadas no estímulo aos sentidos do alunado. Entretanto, a pesquisa de Galiazzi e Gonçalves (2004) foi feita nas licenciaturas em Química. Há um diferencial substancial, nessas duas realidades de ensino, dado pelo fato de os cursos de licenciatura darem acesso ao laboratório onde existe a possibilidade de maior rigor no controle experimental. O controle mais rigoroso pressupõe, segundo as ideias positivistas, que a teoria seria, então, confirmada na atividade empírica. Contudo, o mesmo não ocorre. Aquilo que ocorre na prática é bem diferente da teoria.

> Não é novidade afirmar que, em geral, professores e alunos de cursos de Química têm uma visão simplista sobre a experimentação. Muitas dessas visões pessoais estão cunhadas pelo empirismo do observar para teorizar e por isso não causou surpresa que muitos dos relatos de aulas com atividades experimentais estivessem alicerçados sobre essas compreensões (GALIAZZI; GONÇALVES, 2004, p. 327).

Aqui os autores fazem uma afirmação, que a dissertação compartilha, e sustentam a tese que no ensino de química há uma problemática cujo fato gerador é a necessidade de uma correlação mais adequada entre a teoria e a prática. A conclusão da pesquisa dos autores, sobre a experimentação como um estímulo à aprendizagem da teoria, foi que as atividades experimentais necessitam do aprofundamento de como se constrói essa relação entre teoria e prática (GALIAZZI; GONÇALVES, 2004). Os autores confrontam o senso de que a experimentação em sala de aula se limita a simples demonstração. O discurso que está dentro do corpo docente de química é um experimento que estimula o aluno e por si é suficiente para promover o conhecimento teórico (GALIAZZI; GONÇALVES, 2004). O ponto ao qual quero refletir nessa seção está ancorado numa experimentação sob uma perspectiva empirista mais adequada para o cenário atual.

Traçando uma paralela sintética entre os trabalhos de Galiazzi e Gonçalves (2004), Lôbo (2012) e Giordan (1999), chegamos a uma conclusão que precisa ser discutida. Esses trabalhos defendem fortemente a necessidade dos professores de ciências, em especial os de química, atuarem em sala de aula promovendo uma ciência experimental adequada para a formação do aluno como um indivíduo capaz de

compreender a prática científica.

Essa pesquisa visa direcionar-se à epistemologia como uma base para preencher de sentido o conhecimento científico em sala de aula (BERLAND *et al.*, 2016). Pois, correlacionar uma teoria ao empírico é necessário compreender tanto o que é o empírico e o que é a teoria (PIETROCOLA, 2002). Uma pontuação dada por Hodson (1996b) que explicita minhas indagações sobre a prática científica em sala de aula, afirma que descobrir um conhecimento em sala de aula só é possível se o aluno estiver conceitualmente preparado para isso. O aluno só observará que um determinado fenômeno ocorre se ele compreender que aquilo é uma observação e passível de descrição teórica. O autor, inclusive, responsabiliza a ingenuidade da prática docente ao acreditar que a demonstração experimental é suficiente para construir o conhecimento. Para ele, isso resulta numa prática falha, com resultados frágeis (HODSON, 1996b, p 118). Essa dissertação, como trata de uma perspectiva empirista, assume a leitura que uma observação sobre o fenômeno é algo empírico, ou seja, o observável ocorre através dos sentidos humanos naturais (VAN FRAASSEN, 2007).

Hodson (1996a) postula algumas afirmações sobre as observações no âmbito do ensino de ciências, e tais são pressupostos do meu posicionamento no objetivo dessa pesquisa. Quando digo pressuposto significa que ao produzir essa pesquisa, a mesma é influenciada por essa direção no modo de pensar a atividade experimental em sala de aula.

> (1) Reconhecimento de que a observação na ciência não é confiável e seguro. (2) Compreensão de que as técnicas de observação científica devem ser aprendidas. (3) Aceitação da estrutura conceitual existente das crianças como ponto de partida para o ensino de ciências. (4) Reconsideração de uma abordagem de descoberta à luz da relação dinâmica entre observação e teoria. (5) Rejeição da imagem objetiva e isenta da tradição científica projetada pelo currículo (HODSON, 1996a, p. 42).

A defesa de Hodson (1996a) em (1) centra na posição que para um indivíduo observar é necessário ele compreender que aquilo é uma observação. A relação entre teoria e observação é defendida, pelo autor, como simbiôntica. Portanto, há necessidade de uma direção teórica para a atividade experimental. Segundo o autor, a atividade experimental que não se constrói com os conceitos teóricos tende a colocar o aluno numa posição passiva de expectador. Uma consequência disso é espetacularização da atividade experimental, ou seja, a demonstração empírica serve como um

entretenimento para o aluno (GALIAZZI, 2004; HODSON, 1996a). Para Hodson (1996a) essa consequência resulta na perda potencial do refinamento teórico. Uma analogia pertinente que o autor utiliza para sua defesa é a teoria como um mapa. Os conceitos descritos pela teoria guiam a observação do fenômeno real. A observação depende de uma estrutura conceitual para que possamos selecionar aquilo que desejamos analisar. Sem a estrutura conceitual, o fenômeno passa despercebido, tampouco poderia ser trabalhado pelo professor. A relação de dependência entre a observação e a teoria dá-se pelos nossos conhecimentos e nossas expectativas em relação ao que desejamos observar (HODSON, 1996a). Com base no que já discutimos, o refinamento teórico pode ser dado pela problematização das contradições entre os dados empíricos e os postulados teóricos (GIORDAN, 1999; GALIAZZI, 2004; LÔBO, 2012).

Apesar de Hodson (1996a) tratar do ensino de ciências para as crianças, os trabalhos de Galiazzi (2004) e Lôbo (2012) apontam um fenômeno similar nos cursos de graduação em Química. A similaridade entre a necessidade de um embasamento teórico adequado para realizar a atividade experimental. Tais autores convergem na leitura da prática experimental em sala de aula como carente de uma fundamentação adequada, isso em outras palavras significa dizer que a teoria não é correlacionada adequadamente com a observação. Se o fenômeno ocorre sem o devido preparo do alunado, não há possibilidade de confrontar, criticar, confirmar nenhuma teoria aprendida (HODSON, 1996a). O autor endossa uma defesa contundente para uma aprendizagem antecedente à observação, e resume seu posicionamento em uma transcrição que atribui a Pasteur: "no âmbito da observação, apenas as mentes preparadas são favorecidas pelas oportunidades". Hodson (1996a) confronta a tese de uma descoberta pelo acaso na ciência para o entendimento que a observação de um fenômeno ocorre pelo preparo conceitual, ou seja, a capacidade adquirida para interpretar que aquilo que ocorre é um fato observável passível de teorização. Portanto, temos em (2) a necessidade de ensinar ao alunado as técnicas de observação e o que esperamos observar com elas. É o conhecimento daquilo que se espera observar e o porquê espera-se daquela observação que possibilita o confrontamento da realidade empírica com a descrição teórica, possibilitando o refinamento da teoria (HODSON, 1996a).

Com a afirmação (3), Hodson (1996a) defende que o ensino deve contemplar o conhecimento prévio do alunado. O alunado tem sua leitura intuitiva sobre o que observa. Essa intuição, argumenta o autor, frequentemente conflita com a visão científica oficial. Cabe ao professor lidar com esse desafio, em vista que o senso comum disputa com a teoria científica. A prática experimental que não dá um tratamento adequado sobre esse conflito potencialmente não cumprirá com seu objetivo, em vista que o senso comum resistirá à abstração da teoria científica (HODSON, 1996a). Um apontamento dado pelo autor para estimular a conexão entre a observação e a teoria científica: "portanto, pode ser sensato incentivar as crianças a explorarem suas crenças existentes, a fim de testarem sua adequação na explicação dos fenômenos antes de introduzir uma nova maneira de encarar os fenômenos como um meio de precipitar uma revolução conceitual (HODSON, 1996a, p. 48)".

Em (4), Hodson (1996a) dá um apontamento que nos aproxima do empirismo construtivo como potencial abordagem para um ensino adequado de teoria científica correlacionada com a observação. Nessa afirmação, o autor reforça sua rejeição a uma postura de descoberta aleatória na prática científica e defende a existência de um contexto de criação e um contexto de justificação. Isso é bastante pertinente, em vista que há uma utilidade para nossa correlação no futuro com a tese de van Fraassen (2007) que olha o modelo sob uma função explicativa. Segundo Hodson (1996a) a descoberta no aprendizado é um teste de hipóteses.

1.3 - Nossa síntese das contribuições de Bachelard

Dado esse contexto de discussão queremos elucidar o status do erro para podermos vislumbrar potenciais contribuições da perspectiva empirista construtiva. Como vimos, a prática experimental em sala de aula enfrenta os diversos desafios do cotidiano escolar. Segundo Astolfi (1999) a tendência que ganha a ciência refletindo no ensino de ciências é o engajamento do erro como parte do processo da prática científica. Cada vez mais busca-se compreender os modelos que tratam sobre um

determinado conhecimento científico, enfatizando cada vez mais a observação e as explicações do que um conhecimento verdadeiro e universal. (ASTOLFI, 1999).

Astolfi (1999) faz uma revisão pertinente sobre o erro em sala de aula. O primeiro apontamento, que o autor disserta, analisa o erro como uma “falta” no processo de aprendizagem. O erro como uma falta, segundo o autor, lê o momento contraditório entre o conhecimento corretamente interpretado e o equívoco que o sujeito comete ao aprender como algo ruim. Enxergar o erro com tom negativo pressupõe que o mesmo não deveria existir em sala de aula e impulsiona um comportamento escolar para a erradicação do erro em sala de aula. Outra reflexão feita pelo autor localiza a origem do erro no aluno. Olhar o erro como algo a ser prevenido em sala de aula submete o aluno como inteiramente responsável do processo e espera que o mesmo seja capaz de prevenir o erro. Com base nessa análise, o autor tece críticas pertinentes, sendo uma delas bastante relevante para a dissertação. A análise que consideramos mais interessante, e nos permite vislumbrar a relevância que a epistemologia empirista construtiva pode trazer futuramente para o ensino de ciências, é feita, pelo autor, sobre o erro em uma perspectiva ingênua que exclui o potencial pedagógico do próprio para alcançar a resposta certa. O autor nos leva a refletir sobre as respostas erradas dadas pelos alunos, e tomando essa reflexão como um incômodo, ele nos leva a um ponto de certa forma convergente com o pragmatismo defendido por van Fraassen (2007): “toda resposta, por mais estranha que pareça, é uma tentativa de dar sentido a um problema” (ASTOLFI, 1999, p. 16).

Para endossar as reflexões sobre o erro através do racionalismo sob a luz de Bachelard (1996). A primeira relação entre o erro e os obstáculos epistemológicos é refletida, por Astolfi (1999), em 6 aspectos: 1) a interioridade do obstáculo, as palavras que constroem o significado, formulando conceitos, por si já constituem um obstáculo em vista que as contradições das experiências pessoais são capazes de dar sentidos diferentes às palavras; 2) a facilidade do obstáculo, atribuir metáforas e analogias são jogos que a mente faz com os conceitos científicos de tal maneira que os torne mais fáceis; 3) a positividade do obstáculo, o excesso de conhecimentos ao ser ampliado e aplicado em generalizações criam uma indisposição a pensar na particularidade de uma situação para produzir novos conhecimentos; 4) a ambiguidade do obstáculo, da mesma maneira que um obstáculo como as analogias e as metáforas podem ser úteis na

compreensão de um conceito difícil, elas podem ser perigosas na medida que os estudantes as aplicam de modo generalizado a todas as situações, resultando numa aplicação descontrolada; 5) o polimorfismo do obstáculo, abarcando a natureza do simbolismo presente nas representações; 6) a recorrência do obstáculo, podemos observar os erros somente depois que eles acontecem, portanto faz-se necessário analisar o fim para compreender o começo. Esses aspectos são considerados errôneos em relação ao conhecimento verdadeiro (ASTOLFI, 1999).

O erro sob a perspectiva bachelardiana é uma ingenuidade em relação ao conhecimento científico (COSTA, 2009). Os obstáculos epistemológicos são refletidos com um tom otimista, olhando para eles não como algo que atrapalha o conhecimento científico, todavia como algo que compreendido pelo cientista permite-o a alcançar o conhecimento científico (ASTOLFI, 1999; COSTA, 2009). As implicações pedagógicas discutidas por Costa (2009) e Astolfi (1999) trazem para o ensino de ciências uma perspectiva diferenciada em relação ao erro. Sendo o erro, um fenômeno a ser trabalhado em sala de aula para levar o alunado a uma compreensão mais profunda da observação racionalizada em teoria. Os professores atentos aos obstáculos epistemológicos que ocorrem no processo de compreensão da teoria estariam mais capacitados a estimular o espírito científico no alunado na medida que os distanciam das concepções ingênuas. Para que isso ocorra, então é necessário trabalhar com o erro dentro de sala de aula, e não simplesmente desejar erradicá-lo. O erro sob as reflexões de Bachelard (1996) torna-se algo natural na prática científica, portanto poder-se-ia refletir também no ensino de ciências (ASTOLFI, 1999; COSTA, 2009).

> Em resumo, no ensino elementar, as experiências muito marcantes, cheias de imagens, são falsos centros de interesse. É indispensável que o professor passe continuamente da mesa de experiências para a lousa, a fim de extrair o mais depressa possível o abstrato do concreto. Quando voltar à experiência, estará mais preparado para distinguir os aspectos orgânicos do fenômeno. A experiência é feita para ilustrar um teorema (BACHELARD, 1996, p. 50).

Aqui encontramos um ponto defendido por Bachelard (1996) com algumas ideias divergentes de van Fraassen (2007, 2008a) que entenderemos melhor quando apresentarmos a epistemologia empirista construtiva no capítulo 2. Bachelard (1996), sob minha análise sustentada em diálogo com Astolfi (1999) e Costa (2009), faz uma crítica ao empirismo ingênuo e rejeita as noções primeiras que fazemos ao observar o fenômeno como um conhecimento científico. Essas noções nos fornecem uma imagem

a respeito do observável que se não trabalharmos cientificamente nos leva a conceitos errôneos e ilusórios. Quando assumimos elas como verdadeiras representações do conhecimento negamos o aprofundamento da observação tão importante para a ciência (ASTOLFI, 1999; BACHELARD, 1996; COSTA, 2009).

1.4 - Contextualizando o problema

O presente capítulo trouxe para discussão alguns temas de pesquisa: modelos, modelos empíricos, empirismo ingênuo, erro, obstáculos epistemológicos. Agora faz-se necessário criar uma síntese das visões que nos imergimos para realizar a nossa dissertação. Para isso precisamos demarcar com mais clareza o que é o erro que vislumbramos uma contribuição em potencial de van Fraassen (2007, 2008a) no decorrer da pesquisa. Estamos interessados em tratar dos erros ocasionados quando olhamos para uma teoria e criamos uma projeção empírica diferente daquilo que de fato observamos. As teorias quânticas em especial sofrem com o nosso olhar viciado no mundo macroscópico. Como vimos em Galiazzi e Gonçalves (2004), as práticas nos laboratórios muitas vezes resultam em erros que podemos entendê-los não como ruins, mas como oportunidades de aprofundamento teórico. Quando resolvemos trazer as teorias quânticas para o laboratório com as diversas limitações que enfrentamos, aquilo que experienciamos são diversas práticas “falhas”. Nessa dissertação enxergamos que essas “falhas” podem ser mais proveitosas no ensino de ciências do que apenas sairmos pela tangente com explicações batidas como: “os reagentes estão contaminados”, “os instrumentos não são precisos”, “houve erro na execução”.

As teorias quânticas tratam de realidades submicroscópicas e universos repletos de elementos inobserváveis que muitas vezes não são compreendidas por estarmos apegados com o nosso olhar empírico (GRECA; FREIRE JR., 2011). Portanto, o que vemos não é o erro em si, mas uma contradição entre nossas capacidades empíricas e a nossa capacidade em abstrair. De acordo com Feynman (1964, p. 1):

> Como o comportamento atômico é tão diferente da experiência ordinária, é muito difícil adquirir familiaridade com o mesmo, ele parece peculiar e misterioso para todos – tanto para o novato quanto para o físico experiente.

> Mesmo os especialistas não a entendem do modo como gostariam de entendê-la, e é perfeitamente razoável que isso aconteça porque toda experiência, ou a intuição, humana direta se aplica a objetos em grande escala (*apud* GRECA; FREIRE JR., 2011, p. 359).

Como sintetizamos na seção anterior a tese de Bachelard (1996), o autor enxerga no erro a oportunidade de alcançar o conhecimento científico. Vimos que o mesmo propõe um percurso metodológico crítico para desviar-se da ingenuidade empírica. O observável deve ser esquematizado e problematizado para que possamos encontrar uma explicação lógica de natureza científica. Os obstáculos epistemológicos são uma tese que visibiliza o erro como parte da prática científica e essa é a que torna diferente do puro esoterismo (BACHELARD, 1996). Com base no percurso de Bachelard (1996), podemos racionalizar a prática experimental seja no laboratório, seja em sala de aula de tal maneira que podemos tornar o experimento não apenas um espetáculo, mas uma prática que engloba discussões de natureza epistemológica. O ponto importante é que os modelos nesse contexto podem ser discutidos não mais numa direção para demonstrar o conhecimento verdadeiro e sim trabalhados em outros caminhos:

> O empirismo se opõe, por último, a ideia de construção de modelos para poder pensar, modelos dos quais hoje sabemos que o que importa não é saber se são certos, e sim se são heurísticos; modelos dos quais nos servimos e depois abandonamos; ferramentas que fazem surgir novas realidades diante de nossa vista (ASTOLFI, 1999, p. 28).

O trabalho de Greca e Freire Jr. (2011) e o trabalho de Silva e Roque (2011)[1] fazem uma abordagem histórica que toma como base uma contraposição das maneiras de interpretar os fenômenos submicroscópicos, e concluem que compreender a realidade desse universo submicroscópico é mais complexa do que aparenta ser. O desenvolvimento das teorias quânticas e suas interpretações estão longes de serem homogêneas na ciência, e cada vertente epistemológica embebedada de filosofia da ciência apresenta modos coerentes de analisarem e compreenderem tais teorias. A conclusão de Greca e Freire Jr. (2011, p. 369) para ensinar, então, as teorias quânticas em sala de aula é:

> Neste trabalho, buscamos argumentar no sentido de que seja qual for a estratégia didática que se pretenda desenvolver para aprimorar a

1 Cf. FREIRE JR, Olival; PESSOA JR, Osvaldo; BROMBERG, Joan Lisa. **Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais**. Eduepb, 2011.

> compreensão dos estudantes de mecânica Quântica, ela deve partir de uma explicitação clara sobre a forma em que os pesquisadores entendem o mundo microscópico descrito por ela (GRECA; FREIRE JR., 2011, p. 369).

Com essa afirmação refletida na complexidade inerente das teorias quânticas para explicarem o observável, então poderíamos pensar numa abordagem de natureza empírica capaz de analisar os fenômenos que estão além da nossa capacidade empírica. Surge uma questão: poderíamos analisar uma realidade inobservável pelos nossos sentidos por meio de uma abordagem empírica? Essa pergunta foi norteadora para a motivação da presente pesquisa, e considero importante a tentativa de esclarecê-la cada vez mais. Os fenômenos quânticos discutidos pela ciência do século XXI estão cada vez mais presentes em mídias sejam os artigos na internet, sejam em vídeos em plataformas de *streamming*, sejam os filmes e séries, sejam os animes, sejam as histórias e quadrinhos, tudo isso aparece para os indivíduos que levam para o contexto escolar. Todavia, voltamos ao desafio do nosso contexto escolar não estar devidamente preparado para realizar muitos dos experimentos importantes que fornecem observações das quais desdobraram-se em teorias científicas. Essas teorias foram e são retratadas em ficções e ganham relevância nas discussões sociais quando os sujeitos consideram importante expô-las nas interações sociais (perguntar ao professor, conversar com amigos, postar nas redes sociais, criarem os fã clubes, entre outras). Em meio a esse cenário, o ensino de ciências deveria ter seu compromisso em esclarecer o que é científico e o que não é científico. Pois, ao não esclarecermos o que não é científico, abrimos a porta para as chamadas pós-verdades que levam ao descrédito da ciência como importante meio de transformação social.

De um lado necessitamos trazer observações que deem uma experiência discutível para o contexto escolar, de outro encontramos os desafios de trazer essas dentro de um cenário educacional que sofre com a falta de investimento. Dessa forma como poderíamos tratar empiricamente essas teorias? O que trago é uma angústia pessoal que me tomou por um tempo até encontrar potenciais respostas na epistemologia proposta por van Fraassen (2007, 2008a). No próximo capítulo viso esclarecer como o autor solucionou minha angústia pessoal e apresentar potenciais categorias de pensamento capazes de serem relevantes para discussões já existentes no ensino de ciências. Trouxemos reflexões sobre a tese de Bachelard (1996) mais difusa no ensino de ciências com intuito de tornarmos van Fraassen (2007, 2008a) mais

palpável ao confrontar as perspectivas. Voltando a Bachelard (1996) que enxerga no erro da imagem empírica a potencial produção do conhecimento científico, todavia o autor rejeita essa imagem como o conhecimento confiável da ciência. Já van Fraassen (2007, 2008a) enxerga na imagem empírica o conhecimento confiável, entretanto não há nela um erro, o que acontece é uma distorção necessária para cumprir um propósito. E, é no cumprimento desse que a ciência se faz relevante e digna de crédito.

2– A epistemologia de Bas C van Fraassen

Encontramos um problema pesquisado por Bucat e Mocerino (2009) que consideramos relevante para introduzirmos a importância das discussões sobre representações no ensino de ciências. Os autores levantam uma problemática bastante comum no ensino de ciências no qual a química é bastante afetada. O problema dado pelos autores questiona o conflito criado em sala de aula quando as ideias ingênuas dos sujeitos se entrelaçam com as teorias controversas da ciência. O produto desse cruzamento nada científico são obstáculos no aprendizado das teorias. Trabalhamos com a epistemologia no ensino de ciências (YANG; TSAI, 2012; KELLY; MCDONALD; WICKMAN, 2012; DUSCHL, 2008) para aprofundar mais sobre os obstáculos criados nesse conflito. Discutimos, então, a ressonância explicada pela Teoria da Ligação de Valência e pela Teoria do Orbital Molecular e as representações da molécula de benzeno que são estudadas por Bucat e Mocerino (2009). Tentamos no fim retomar aos problemas iniciais que levantamos no capítulo 1.

Trouxemos para a discussão uma síntese de como interpretar os modelos científicos feita por Giere (2004, 2009) e confrontamos com o entendimento de van Fraassen (2008a). Mais uma vez fizemos um confrontamento de ideias entre o empirismo e o racionalismo para que pudéssemos destacar as diferenças das ideias de van Fraassen (2007, 2008a) em sua epistemologia e como ele aborda os modelos. Achamos esse confrontamento interessante para distinguir na controvérsia o que torna a epistemologia do filósofo holandês uma perspectiva em potencial.

Na seção 2, trouxemos para a dissertação as categorias de pensamento dissertadas por van Fraassen (2007, 2008a). Destacamos o que o autor compreende como empirismo e suas implicações na produção do conhecimento científico. Tratamos do objetivo da ciência dado que na epistemologia do autor é relevante. Estabelecemos a distinção entre produzir conhecimento confiável e conhecimento verdadeiro dentro do fazer científico em vista que van Fraassen (2007) rejeita como objetivo da ciência a produção da verdade. No empirismo construtivo o que a ciência produz é conhecimento

digno de crédito, e seus modelos são um instrumento mais amplo que a observação em si para explicar problemas. Com essa defesa retomamos aquilo que Collins (2015) e Shapin (2013) criticam na ciência que tenta substituir o papel da religião. Toda essa discussão tem um propósito em nos aproximar da *adequação empírica*: uma categoria de pensamento defendida por van Fraassen (2007) que postula o conhecimento científico como empiricamente adequado. E, na seção 2 tentamos esclarecer essa categoria de pensamento.

A segunda categoria de pensamento defendida por van Fraassen (2007) é a pragmática da explicação. Ela é fundamental para entendermos a capacidade do empirismo construtivo em ampliar a observação em si para a construção de um modelo mais amplo que nosso empirismo. Por meio da *pragmática da explicação* que van Fraassen (2007) consegue refutar o positivismo lógico e retomar o empirismo de volta para o debate controverso na ciência. Portanto, tentamos tornar a segunda categoria de pensamento clara o suficiente para posteriormente analisarmos quais implicações dela são possíveis para o ensino de ciências. A terceira categoria de pensamento é a *distorção virtuosa* que compreendemos ser bastante relevante em nossa observação em relação a tese do autor. Essa última é uma percepção bem divergente da qual discutimos em Bachelard (1996) e vimos nela o produto potencial que nos deu esperança para desenvolver uma correlação dentro do âmbito educacional. Quando o autor observa na distorção virtuosa um modo de olhar que não estabelece uma contradição entre a teoria e a prática, possibilitou-nos a enxergar uma potencial inserção de sua epistemologia no ensino de ciências.

No decorrer do desenvolvimento do presente capítulo fizemos uma recapitulação da literatura acadêmica (BUCAT; MOCERINO, 2009; ISQUIERDO-AYMERICH, 2013; PASSMORE; GOUVEA; GIERE, 2014; GILBERT; TREAGUST, 2009; ADURÍZ-BRAVO, 2013) no ensino de ciências sobre os modelos e suas aplicações em sala de aula. A escrita desse capítulo basicamente deu-se por essa revisão tanto do autor quanto do ensino de ciências para que pudéssemos discutir a percepção do mesmo dentro do contexto de ensino de ciências.

Fizemos uma tabela com nossa revisão de alguns trabalhos selecionados de Bas C. Van Fraassen. Nossa tabela é uma síntese do que compreendemos e consideramos relevante para nossa pesquisa. As duas obras que tomamos como base para a pesquisa

não entram na tabela em vista que elas são mais completas e defendem as categorias de pensamento do autor. Vimos mais sentido em sintetizar as ideias defendidas pelo autor em seus artigos que complementam as obras dele.

Quadro 1: Síntese das principais ideias

Artigo	Ano	Principais Ideias
Fatos e implicações tautológicas	1969	• Os fatos são o conteúdo de uma sentença; • Discute os fatos a partir do que eles representam; • Os fatos que tornam uma sentença verdadeira podem ser usados para tornar verdadeira uma representação.
A abordagem semântica para teorias científicas	1987	• Uma teoria é acreditada ou desacreditada; • A intensidade do desejo humano pelo conhecimento é equivalente à intensidade do desejo humano pela verdade; • Aceitar uma teoria é uma proposta mais adequada para a prática científica do que a busca pela verdade universal e absoluta; • Aceitar uma teoria como verdadeira é dependente de motivos interiores; • Aceitar uma teoria é sinônimo de dar crédito a ela para explicar um fenômeno; • Uma parte do modelo corresponde à observação.
Contra o empiricismo transcendental	1994	• O empirismo é uma postura filosófica; • Essa postura filosófica se fundamenta na experiência; • Há uma distinção entre a experiência como fonte do conhecimento e a experiência como conhecimento bem-sucedido.
O mundo do empiricismo	1994	• Reflete o debate entre o realismo metafísico e o empirismo em torno da aceitação dos entes não empíricos que “estão por trás” da teoria como observáveis ou não. Nesse debate, o realismo metafísico assume os entes não empíricos como observáveis mesmo que não possamos senti-los com

		nossos sentidos. Já o empirismo considera tais entes como inobserváveis empiricamente; • Há uma assimetria na explicação. Podemos explicar o fenômeno A usando uma afirmação B, mas não faz sentido dizer que o fenômeno A explica a afirmação B.
A falsa esperança da epistemologia tradicional	2000	• Aponta falhas do pensamento empirista no desenvolvimento da história nos séculos XVII e XVIII.
Aparência vs. Realidade como um problema científico	2005	• Uma teoria busca retratar como as coisas são; • "Aparência" e "realidade", dentro de uma teoria científica, tem conceitos diferentes; • Um objeto real não é a coisa em si, mas um postulado teórico. Por exemplo, os modelos atômicos são postulados que preveem a existência dos átomos; • As aparências são os dados empíricos extraídos a partir da observação; • É possível postular os objetos reais por meio das aparências observáveis.
O que é o empiricismo e o que poderia ser?	2008	• Disserta o empirismo como uma tradição filosófica.
Reflexões sobre um clássico no realismo científico, 20 anos depois	2019	• Reflete sobre "correções" feitas por Psillos ao pensamento realista; • Demonstra concordância com o entendimento que as teorias científicas são um retrato aproximado do mundo como ele é empiricamente; • Defende que o cientista é movido pela satisfação em responder um problema; • Problematiza a racionalização do observável em sistematizações capazes de postular um objeto empírico. Com isso o autor quer defender a incapacidade de uma teoria postular objetos empíricos.

Fonte: autoria própria

Um fato é sinônimo de fenômeno na tese de van Fraassen (1969, 2007), pois aquilo o que eu observo é digno de confiança. Na tese do autor, o que eu posso observar empiricamente é confiável. Eu tenho boas razões para acreditar no que eu observo.

Contudo, observar um fenômeno pode levar a questões que não somos capazes de responder em cima dos fatos. Como por exemplo o juízo estético de algo. Quando observamos dois quadros e consideramos um mais bonito que o outro, incutimos neles um juízo de valor estético. Determinamos que um quadro é mais bonito que o outro com base naquilo que acreditamos ser mais valioso para nós. Essa situação evidencia um juízo de valor que não é algo empírico, é algo que está dentro da nossa razão.

Podemos dividir o fenômeno em dois aspectos distintos: observável e inobservável. O primeiro diz respeito àquilo que eu sou capaz de observar com meus sentidos e não necessariamente dependente da visão. Já o segundo é um aspecto oriundo daquilo que não é demonstrável empiricamente como um juízo de valor estético, por exemplo. O não-demonstrável empiricamente engloba uma variedade de elementos, mas o que torna eles não-demonstráveis é o fato de não serem empiricamente observáveis. O aspecto inobservável surge para dar sentido a algumas questões relacionadas ao observável.

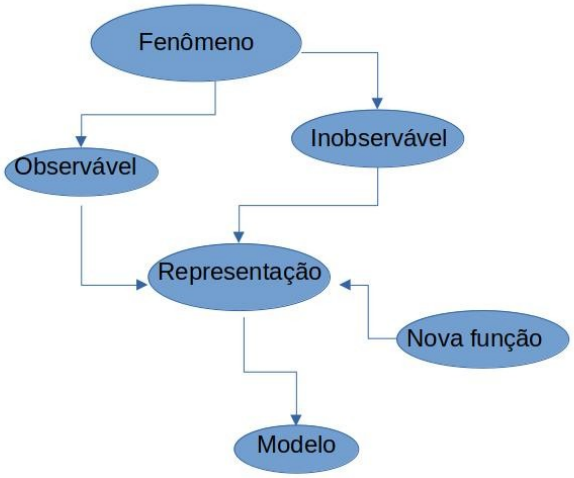
Uma representação incorpora os dois aspectos do fenômeno. Sendo o inobservável o responsável pela distorção da representação. Quando representamos um fato, desejamos que o observador seja capaz de reconhecer o que está sendo representado. Portanto, uma representação incorpora o aspecto observável para que possamos identificar o fenômeno. Já os elementos não observáveis que não podem ser representados causam distorções na representação. Por não sermos capazes de observar a totalidade do fenômeno (os dois aspectos), não somos capazes de construir uma representação completa. Então as representações tornam-se distorcidas em relação ao que eu observo.

Uma representação não é uma ação com um fim em si mesma, é uma criação com um propósito. Propósito que torna as distorções uma necessidade representacional, ou seja, é necessário distorcer a representação para que ela possa cumprir uma finalidade comunicativa. Não há representação sem uma finalidade. As distorções causadas naturalmente oriunda das nossas limitações empíricas nos permitem criar uma representação que evidencia o inobservável. Podemos alcançar o entendimento do inobservável por meio dessas distorções. E, ao incutirmos um novo propósito na representação, criamos um modelo sobre o fenômeno.

Pudemos sintetizar, em uma representação, as ideias de Bas C. Van Fraassen da

seguinte maneira:

Figura 5: Representação sobre as ideias de Bas C. van Fraassen



Fonte: figura produzida pelo autor

2.1 - Um problema na representação dos modelos para ensinar ciência

Um desafio apontado por Bucat e Mocerino (2009) no ensino de química está relacionado com os fenômenos submicroscópicos. Os autores entendem que ensinar química é trabalhar com modelos representativos de fenômenos submicroscópicos descritos para uma realidade macroscópica. Na representação desses modelos, surgem diversas entidades inobserváveis, ou podemos dizer aquelas que não podemos as sentir empiricamente, para dar uma explicação a esse fenômeno. O acesso para o universo dessas entidades se dá pela nossa imaginação. Portanto, falamos de um universo submicroscópico construído por aquilo que imaginamos. E, a chave no ensino de química para o acesso a esse universo é dado pela conscientização do alunado a visualizar os modelos representativos dessas entidades. Com essa posição, há uma tensão que gira em torno da observação representada no modelo que é aceito sob uma pragmática de que ele é verdadeiro. Em torno dessa tensão, há um conflito entre o desenvolvimento do modelo do estudante e o modelo do químico. Indo mais a fundo, no

centro dela há dilemas que os professores de química enfrentam, tais ocorrem quando a realidade das entidades inobserváveis que foram aceitas pragmaticamente não converge com outros conceitos presentes nos fenômenos na esfera química (BUCAT; MOCERINO, 2009).

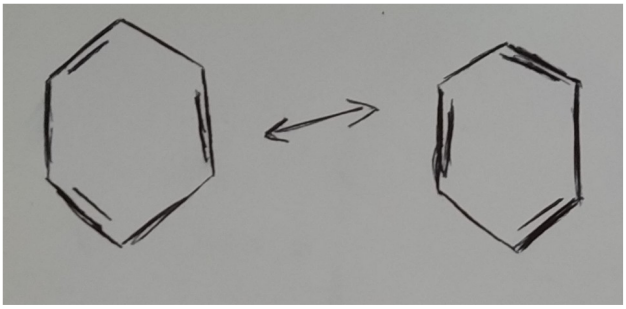
A importância da epistemologia na construção dos modelos representativos dos fenômenos ganha relevância quando entendemos o que foi apontado. Modelos construídos embasados na nossa imaginação de um universo ao qual não temos acesso empírico necessitam de uma abordagem que dê sentido a esses. Entendemos que dar uma dimensão de imaginação para a construção do modelo tem que ser feito com o cuidado científico adequado. Como foi colocado, o desafio em sala de aula é construir os modelos científicos do campo da química confrontando com os modelos propostos pelos do alunado. Essa tarefa não é trivialmente solucionada. Tratar de modelos imaginados envolve algo relacionado com a crença a respeito do conhecimento sobre a realidade observável. Um trabalho relevante que demonstra a posição que a epistemologia contribui para a construção de crenças adequadas para o engajamento do aluno à atividade científica é o trabalho de Yang e Tsai (2012). Tais autores levantam artigos que tratam das crenças em sala de aula. E, com base nessa revisão apontam que a epistemologia trabalhada de modo que discuta as diversas crenças tem potencial impacto na construção de ambientes educacionais que estimulam a produção do conhecimento científico (YANG; TSAI, 2012). Em diálogo com a perspectiva da epistemologia como um suporte para o aprendizado é o trabalho de Kelly, Mcdonald e Wickman (2012) que correlaciona a epistemologia a uma prática social. Um ponto interessante sobre tal trabalho é entender o uso do conhecimento como uma forma de interagir socialmente e a utilização do mesmo tem um viés subjetivo que corresponde a demanda do indivíduo por um conhecimento que responda uma necessidade pessoal sobre entender a realidade empírica. A epistemologia em ensino de ciências entra em cena quando se pensa num ambiente pedagógico que estimule o aprendizado para que o aluno incorpore o conhecimento para compreender suas questões subjetivas sobre o mundo que o cerca e aplicá-lo para a dinâmica social (KELLY; MCDONALD; WICKMAN, 2012).

Uma perspectiva que auxilia o embasamento da presente pesquisa é a dissertada por Duschl (2008). O autor faz uma revisão histórica das tendências no ensino de

ciências e naquilo que é incorporado no mesmo. No decorrer da história com as novas tecnologias e a ampliação da capacidade de observação dos fenômenos repercutiu no ensino de ciências a criação de uma nova necessidade de formação para a ciência. Aqui, estamos falando de capacitar o alunado para ler e interpretar os fenômenos e seus modelos representativos. Engajar o alunado à atividade científica significa, portanto, motivar os alunos a investigar os fatos reais, aqueles que são observáveis, e construir modelos capazes de explicá-los. Pois um dos interesses pedagógicos da ciência enquanto comunidade acadêmico-científica demanda a compreensão dos modelos, sendo assim o cientista deve ser hábil em produzir conhecimento a partir desses. O compromisso do ensino de ciências é possibilitar uma formação para que o aluno não apenas memorize ou aplique de modo prático o conhecimento, mas também compreenda o que aquela informação dada significa. As novas ferramentas, teorias e tecnologias impulsionaram essa mudança para o âmbito pedagógico, e o novo ensino de ciências que tem interesse na formação científica entende a importância da construção de um ambiente escolar cujo propósito é a leitura dos modelos que representam o conhecimento científico (DUSCHL, 2008).

Um dos dilemas pertinentes que os autores apontam está relacionado com a explicação da estrutura da molécula de benzeno, e é bastante útil para ilustrar o que motiva o desenvolvimento da pesquisa. Um modelo que representa a estrutura de ressonância da molécula é dado por:

Figura 1: Representação da estrutura de ressonância da molécula de benzeno

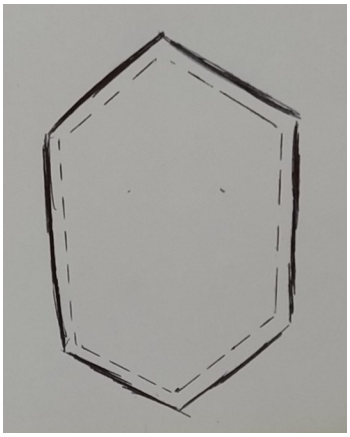


Fonte: figura produzida pelo autor

Segundo Bucat e Mocerino (2009), essa representação provoca diversos conceitos em sala de aula que não são os representados pela teoria. Conceitos como os alunos acharem que as duas representações são diferentes pelas ligações duplas estarem em posições diferentes (BUCAT; MOCERINO, 2009). O cerne da problemática entre a

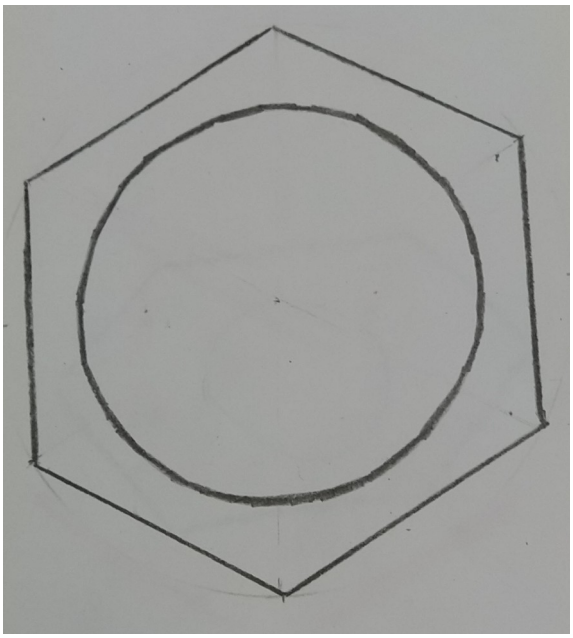
explicação dada para o modelo pela ciência e a dificuldade pelo aluno em enxergá-la não está na representação, mas na crença que ele assume ao visualizar o modelo e construir a partir do seu entendimento de realidade. A presente dissertação almeja dar no decorrer da pesquisa subsídio epistemológico sob um viés empirista construtiva para os professores lidarem com essas contradições em sala de aula. O dilema que foi apresentado é apenas a “ponta do iceberg”, os autores dão continuidade e apontam que esse problema da estrutura da molécula de benzeno fica mais complexo quando tratado por outros dois modelos:

Figura 2: Representação da molécula de benzeno



Fonte: figura produzida pelo autor

Figura 3: Híbrido de ressonância da molécula de benzeno



Fonte: figura produzida pelo autor

A figura 2, segundo Bucat; Mocerino (2009), é mais delicada, porque a teoria muitas vezes é mal compreendida pelos próprios professores. Alunos tendem a enxergar o modelo e imaginarem uma ligação e meia dos elétrons, uma vez que avistam a ligação simples e a tracejada intuitivamente deduzem que seria uma espécie de ligação do tipo 1,5. E, professores tendem a imaginar algo similar, porém mais sofisticado – porque dão uma explicação menos ingênua que a do aluno. A figura 3 foi explicada pelos alunos, na investigação dos autores, como se os elétrons estivessem girando circularmente entre os átomos de carbono (BUCAT; MOCERINO,2009). Os autores citados mencionam esses conceitos errôneos que são presentes no contexto do ensino de química como concepções alternativas que conflitam com aquilo que a teoria propõe. Entendo que essas concepções são construídas pelas crenças. A teoria propõe um modelo, e tendemos a imaginá-lo a partir daquilo que nós experienciamos. Para explicitar mais a minha defesa, a figura 3 é intuitiva a acreditar que os elétrons estariam circulando, devido a representação. Os alunos aprendem que os átomos de carbono estão ligados, e veem um círculo no meio da molécula, e a conclusão que consideram lógica é que os elétrons estariam dando voltas pelos átomos de carbono. Nesse contexto, os professores quando não compartilham da mesma visão encontram uma barreira para ensinar que o modelo clássico da física não é aplicável para os modelos atômicos.

Claro que professores mais engajados nas teorias químicas poderiam refutar o

problema da pesquisa como relevante, e alegar que tal problema é facilmente solucionado ao ensinar a TLV (Teoria de Ligação de Valência) e os diagramas dos orbitais p_x, p_y, p_z para construir o modelo da ligação π (ATKINS, 2012). Reparemos que recorremos ao aprofundamento conceitual da teoria de ligação que normalmente ensinamos em sala de aula – pelo menos pensando na realidade do Ensino Médio. Contudo, o aprofundamento cria um outro problema que é para o entendimento da figura 2. Uma vez que entendemos a TLV, a figura 2 dá a entender uma espécie de ligação com meia ligação, afinal está tracejada, e tal conclusão tem um certo sentido quando observamos três elétrons em 6 átomos de carbono. Aqui, criamos um novo problema conceitual que é mais complexo, porque a figura 2 representa a Teoria do Orbital Molecular (TOM) que é concorrente à TLV na comunidade dos químicos. A TOM não lê os orbitais como prevê a TLV. Os orbitais moleculares são distribuições espaciais compartilhadas pelos átomos componentes da molécula, onde há máxima probabilidade de se encontrar o elétron. O átomo não estaria mais localizado em uma ligação híbrida nos átomos de carbono, e sim numa ligação compartilhada entre todos os átomos de carbono (ATKINS, 2012).

Essa pesquisa entende que tal maneira de solucionar um problema conceitual não é simples para todos os ambientes escolares. Reparemos que tentamos solucionar os dilemas apontados por Bucat e Mocerino (2009) ao analisar a teoria de ligação proposta pela química. O cerne do problema que essa pesquisa tenta levantar junto com uma crítica que ela faz a recorrermos sempre ao aprofundamento teórico como solução para um problema epistemológico é: nem todo espaço de ensino permite o aprofundamento teórico. O desenvolvimento da pesquisa nos levou a ampliar o problema para nos questionarmos se o aprofundamento teórico em espaços onde seríamos capazes de fazê-lo nos livraria dos mesmos problemas. Poderíamos distinguir a TLV e a TOM com diversas representações, modelos, experimentos para aperfeiçoar o entendimento do alunado. Contudo, em espaços onde falta recursos? Em espaços que lidam com um público não privilegiado com acesso à informação? Como aprofundaríamos tais teorias com a qualidade científica adequada e ao mesmo tempo dar conta do currículo? Como exploraríamos as diversas metodologias e dar conta do conteúdo previsto pela teoria?

Essas perguntas são provocativas e não visamos respondê-la nessa pesquisa, e as usamos para ponderar que nem todo espaço educacional abre a possibilidade para um

aprofundamento mais específico das teorias. O aprofundamento delas exigiria um espaço adequado que permita a construção de um modelo científico para o observável. Um dos compromissos da pesquisa é apresentar uma abordagem pragmática dentro do eixo empirista construtivo para o ensino de modelos no espaço escolar. Uma proposta epistemológica que tire o peso das costas dos professores em trazer para sala de aula as atualizações dos conhecimentos específicos, entendendo que nem toda realidade escolar permite que o professor faça isso. Com isso quero dizer que a proposta almejada é pragmática, ou seja, tem o compromisso em dar um sentido lógico capaz de explicar um problema relacionado ao fenômeno. Entendendo a pragmática, também, como uma forma de focar na construção do sentido e não na perfeição do modelo.

2.1.1 - A controvérsia ao representar o fenômeno

Uma das discussões da dissertação é a utilização de modelos científicos para serem abordados em sala de aula. Sendo assim torna-se pertinente utilizar a representação que está dentro do modelo, em vista que dá uma direção para discutir a abordagem deles em âmbito pedagógico. Com base em Giere (2004), a ferramenta da qual estamos falando está contextualizada numa relação entre o mundo e suas entidades linguísticas. O propósito da atividade científica nesse contexto é a comunicação do conhecimento por meio de modelos. Tais podem ser vistos como representações daquilo que se almeja comunicar. Por estar ancorado numa função comunicativa, podemos trabalhá-la conforme os fundamentos da linguagem (GIERE, 2004). Portanto, temos em Giere (2004, p. 743):

S utiliza X para representar W para o propósito P

Sendo *S* um modo de representar o cientista individualmente, um grupo de cientistas, ou até mesmo a comunidade científica. *W* representa o mundo observável. O propósito *P* pode ser subjetivo. Por fim *X* é o modelo utilizado para representar *W*. Podemos sintetizar com base no trabalho do autor: um cientista utiliza um modelo (*X)* para representar um fenômeno observável *(W)* para um propósito subjetivo (GIERE, 2004). O ponto em questão ao qual discutiremos: qual o valor representacional de *X*?

Entendemos que o valor dele carrega um conhecimento científico a ser explicado em sala de aula (ADURÍZ-BRAVO, 2013). Como tratamos de conhecimento científico, podemos dizer que *X* é um modelo cujo compromisso é representar o observável. E, seu valor é o conteúdo empírico da observação (VAN FRAASSEN, 2007).

Segundo Giere (2009), os modelos são ficções, também entendidas como abstrações mentais, que representam partes do mundo. A função dos modelos é comunicar uma informação sobre o fenômeno por meio de um objeto construído por uma comunidade que podemos dar crédito de nossa confiança a sua produção. A reflexão do autor é interessante pela sua análise do modelo como um objeto capaz de comunicar algo, sendo os aspectos não empíricos aqueles que incorporaram as entidades não observáveis. O modelo não representa na íntegra o mundo real, pois nele contém, também, diversos aspectos que não são empíricos (entidades inobserváveis, demonstrações matemáticas, distribuições estatísticas, entre outras). Olhar o modelo como um objeto puramente abstrato é apontada pelo autor como perigosa, pois sustenta uma ideia de ciência que cria qualquer coisa, basta ter uma imaginação criativa e dar uma explicação para um problema, e pronto “você fez ciência” (GIERE, 2009).

Com base nesse alerta, pretendo trazer a epistemologia de van Fraassen (2007, 2008a) para o debate com intuito de aprofundar a abordagem empírica dos modelos científicos. Como defendeu Giere (2009), os modelos representam aspectos do mundo real, sendo um deles o aspecto empiricamente observável. Visamos nesse capítulo fundamentar os modelos como objetos empíricos capazes de incorporar o observável e representá-los em sala de aula. A abordagem empírica do modelo demanda uma epistemologia adequada para trabalhá-la em sala de aula, justamente para evitar a redução do modelo a um objeto criado por pura imaginação individual.

A discussão fomentada na presente dissertação tem uma relevância em vista que há ponderações no ensino de ciências que dissertam a química como uma ciência distinta por tratar dos materiais e suas respectivas mudanças (IZQUIERDO-AYMERICH, 2013; BUCAT; MOCERINO, 2009). A química incorpora em seu currículo disciplinar modelos científicos que tratam de átomos, moléculas, cargas, núcleos, orbitais, entre outras entidades não observáveis pelos nossos sentidos, representadas em modelos (IZQUIERDO-AYMERICH, 2013; BUCAT; MOCERINO, 2009; GILBERT; TREAGUST, 2009). Como apontam autores (IZQUIERDO-

AYMERICH, 2013; BUCAT; MOCERINO, 2009; GILBERT; TREAGUST, 2009) um desafio dentro do ensino de ciências, em particular o de química, é a aprendizagem dos modelos químicos. Tais representam os fenômenos da transformação da matéria e incorporam entidades inobserváveis empiricamente em estruturas simbólicas que devem ser comunicadas em sala de aula (IZQUIERDO-AYMERICH, 2013; BUCAT; MOCERINO, 2009; GILBERT; TREAGUST, 2009). Essa posição remete novamente ao valor de *X* que nos leva a tratar do conteúdo representado pelo modelo. O conteúdo de um modelo tradicionalmente é tratado como abstrato pela literatura do ensino de ciências (GIERE, 2009; ADURÍZ-BRAVO, 2013). Uma afirmação de van Dick (2007) que concordamos: podemos olhar de modo controverso para os modelos, e pensar que para cada modelo realista há um modelo empírico concorrente.

Van Fraassen (2007) disserta que olhar o modelo como uma cópia do observável numa perspectiva realista ingênua tem suas vantagens para tratar da semelhança entre o fenômeno e o modelo que o representa. Se pegarmos uma folha de papel, uma régua, um lápis e traçarmos uma reta, podemos dizer claramente que isso aconteceu quando vermos a reta desenhada. E, podemos dizer que a reta representa um fenômeno: traçar a menor distância entre dois pontos numa folha de papel. Podemos desenhar mais duas retas de modo a intersectá-las e formar um triângulo. Criamos um modelo para representar a intersecção entre 3 retas. Quando o modelo consegue incorporar um fenômeno observável pelos nossos sentidos é intuitivo considerar que o mesmo é uma cópia exata daquilo que eu observo. Mas, o autor nos leva a pensar que aplicar a ideia de um modelo representar perfeitamente o observável é ingênuo quando analisamos o universo inobservável pelos nossos sentidos. Se ao invés de representar um triângulo, desejássemos localizar a posição exata do elétron em um orbital p na quarta camada em um átomo de urânio, conseguiríamos fazer uma representação exata através de um modelo? O empirismo construtivo proposto pelo autor entende que representar um universo inobservável através de um modelo é partir de dados que evidenciam um objeto real. Com os dados em mãos, os cientistas constroem um modelo empírico que não são cópias desse universo inobservável.

Van Fraassen (2007, 2008a) argumenta que a nossa incapacidade de observar com nossos sentidos o universo inobservável (átomos, moléculas, galáxias, etc) nos limita a construirmos um modelo capaz de incorporar todos os aspectos que se deseja

comunicar. Dado nossa limitação, aquilo que conseguimos comunicar é um propósito adequadamente satisfeito pelo modelo. Portanto, os modelos que representam os fenômenos são imagens necessariamente distorcidas cujo objetivo é dar uma explicação pragmática aos fatos empíricos (VAN FRAASSEN, 2007, 2008a, 2019).

Van Fraassen (2008a) reformula a sentença inicial para:

X representa W como F

Essa formulação de van Fraassen (2008a) é divergente da que discutimos inicialmente, pois na primeira formulação há uma relação entre X cujo valor empírico representa o observável, ou seja, falar de X é igual a falar de W. E, na formulação de van Fraassen (2008a) a intencionalidade do propósito é incorporada no modelo de um modo que o distorce, sendo assim X não representa exatamente o fenômeno em W. Portanto, a perspectiva empírica que van Fraassen (2008a) propõe é diferente em vista que o observável ao ser representado sofre uma distorção em sua representação para incorporar uma nova intencionalidade. Com intuito de facilitar nossa compreensão, podemos reescrever: o modelo representa o fenômeno como uma imagem. “Não há representação exceto no senso que algo é usado, feito, ou tomado, para representar alguma coisa como assim ou assim” (VAN FRAASSEN, 2008a, p. 23, tradução minha). No pensamento de van Fraassen (2008a) a representação não é uma cópia fidedigna do observável, é um objeto empírico com uma função interpretativa. Em sua analogia com a tragédia grega: a representação é algo empírico como uma cena elaborada para cumprir um propósito, e aquilo que almejamos conhecer está na interpretação da cena. Compreendemos o propósito ao observar a cena em ação (VAN FRAASSEN, 2008a).

Van Fraassen (2019) aponta que as distinções entre a abordagem empirista para os modelos e a abordagem realista ficam mais claras quando tratamos das teorias quânticas, em vista que essas utilizam de aparências do observável. O limite da tensão entre ambas está localizado no modo de construir o modelo quando esse representa o observável. Para o realista ingênuo, as teorias são capazes de postular objetos empíricos (capazes de serem observados). Para o empirista construtivo, as teorias são incapazes de postular objetos empíricos. E, o empirismo construtivo aceita que os objetos postulados pelas teorias são reais (cuja existência é possível, porém são inobserváveis pelos nossos sentidos) (VAN FRAASSEN, 2019). Para distinguir a posição empirista, van Fraassen (2008a) disserta sobre as distorções da representação. A representação analogamente

como uma tragédia grega é distinta em dois aspectos: a cena representada e a função da representação. O observável é um fato empírico que é representado no modelo da teoria. E, para o autor um modelo capaz de representar o observável está apenas cumprindo sua função. O empreendimento científico ao representar o observável não é a construção de um modelo como uma cópia do fenômeno[2], o sucesso da ciência na representação é construir uma imagem capaz de incorporar os diversos aspectos de um sistema, ou seja, os objetos empíricos e as entidades não observáveis. Então, os modelos teóricos são representações que almejam cumprir a função de comunicar o conteúdo que se propõe a representar. E, servem de objetos empíricos para construir a teoria científica (VAN FRAASSEN, 2008a).

Haveria, para van Fraassen (2008a), uma assimetria na representação dos modelos. Para sustentar e ilustrar sua dissertação sobre a representação, o autor usa de algumas referências e analogias:

> Primeiro de tudo, tendemos a usar termos como ‘‘assemelhar’’ e ‘‘parece’’ como sinônimos em certos contextos, porque o assunto de uma declaração tende a selecionar o foco ou o contraste. Sobre o bebê de Rosemary, eles disseram ‘‘Ele tem os olhos do pai’’. É difícil pensar em que eles disseram para o pai ‘‘Ele tem os olhos do bebê’’. A réplica pode ser que, literalmente, a semelhança observada vai para os dois lados; mas ‘‘literalmente’’ pode aqui significar apenas ‘‘se você ignorar o contexto’’. Provavelmente podemos encontrar um contexto no qual alguém pode, sem estranheza, não afirmar que uma dada imagem é uma semelhança exata de mim, mas que eu sou sua semelhança exata, ou algo nesse sentido. Mas isso não mostraria que a semelhança é simétrica em geral, muito menos em todos os contextos em que entra (VAN FRAASSEN, 2008a, p. 18, tradução minha).

Van Fraassen (2008a) utiliza de um conceito matemático para justificar sua afirmação. Vejamos que a frase dita possui uma relação de semelhança quando se ignora o contexto, afinal se os olhos do bebê de Rosemary são os do pai, seria intuitivo dizer que os olhos do pai são os do bebê. Assim teríamos uma relação homomórfica entre as frases, ou seja, dizer uma equivale a dizer a outra. Porém, o contexto semântico estabelece uma diferença, afinal não faz sentido dizer que o pai tem os olhos do bebê. Sendo assim, a relação não é homomórfica e sim isomórfica, ou seja, a imagem gerada em B está em função de A. E, para o autor os modelos são isomórficos aos fenômenos. O ponto relevante é a distinção entre semelhança e representação. Dado que a

2 Fenômeno e observável para o autor são sinônimos, particularmente escolhi seguir a mesma posição.

representação é distinta de uma cópia, pois ela está numa relação isomórfica com o objeto representado (VAN FRAASSEN, 2008a).

2.2 - Contribuições de van Fraassen para a representação

Um ponto de partida que podemos trabalhar a respeito da epistemologia defendida por van Fraassen (2007) está relacionado com seu trabalho *A falsa esperança da epistemologia tradicional* no qual investiga o desastre do empirismo clássico. O interesse do empirismo clássico era demonstrar verdadeiramente como o mundo é. A pergunta "como é possível conhecer?" foi substituída pela "como é possível ter certeza que o conhecimento empírico é verdadeiro?" (VAN FRAASSEN, 2000). A resposta dada por van Fraassen (2000) para essa pergunta afirma que ela somente poderia pressupor que a ciência deve nos dar princípios verdadeiros *a priori*. A máxima do objetivo da ciência, no pensamento do autor, é produzir conhecimento confiável. Conhecimento que dê boas explicações para os fenômenos. A narrativa histórica da ciência é um processo de correção das visões equivocadas. A ciência é uma atitude crítica em relação à realidade observável, portanto não produz um conhecimento verdadeiro. E, sim uma crítica confiável através de um modelo para explicar aquilo que nos desperta curiosidade e necessidade de conhecer (VAN FRAASSEN, 2000). A ciência, segundo van Fraassen (2000), cria instrumentos úteis para construirmos conhecimento confiável. A reflexão relevante é a fundamentação da ciência como uma atividade que produz conhecimento e articula-se para ser confiável. Embora van Fraassen (2000) faça uma crítica ao objetivo de a ciência construir um conhecimento verdadeiro, o autor não nega que o conhecimento produzido pela ciência é confiável e pode ser aceito como uma boa explicação para o fenômeno.

Van Fraassen (1994a, 2008b) afirma que ser empirista é assumir um certo tipo de posicionamento filosófico e afirma o princípio zero da filosofia: "para cada posição filosófica X, há uma declaração X+ de tal modo que: ter (ou tomar) a posição X é acreditar (ou decidir acreditar) em X+" (VAN FRAASSEN, 1994a, p. 310, tradução minha). Van Fraassen (1994a, 2008b) levanta o empirismo como uma posição crítica

que utiliza da experiência para desenvolver o raciocínio teórico, e isso não é o mesmo que teorizar sobre a experiência. Portanto, para um empirista aceitar a crença em uma declaração X+, essa deve satisfazer uma condição: fornecer uma base crítica que não assuma entidades inobserváveis como fatos. O princípio zero da filosofia no empirismo que classificou como ingênuo é justamente crer que para toda afirmação X+, o empirista necessita acreditar que X+ é verdadeiro. E, para o empirista sofisticado, o princípio zero da filosofia é uma postura que aceita uma abordagem, um compromisso, uma atitude. Portanto, um empirista menos ingênuo entende que sua filosofia é um modo de raciocinar o mundo, e seu compromisso é produzir o conhecimento científico através de uma teoria que represente a realidade empírica. O empirismo não é teorizar a experiência do cientista, é uma postura cética em relação aos modelos científicos como cópias fiéis da realidade empírica (VAN FRAASSEN, 1994a, 2008b).

A síntese que fizemos em relação ao posicionamento de van Fraassen (2000) a respeito do empirismo tem a ver com a representação da seguinte maneira: os modelos são criações (artefatos) que representam o observável, mas não são capazes de substituir a observação. O empirismo de van Fraassen (2000) é cético em relação a ciência enquanto criadora de objetos teóricos que podem ser tratados como imagens verdadeiras dos fenômenos. A representação que a ciência faz do observável é uma construção que se assemelha em certos aspectos ao que experienciamos no mundo. Contudo, em outros aspectos a representação se distingue por justamente não ser o fenômeno. A posição empirista reivindicada pelo autor é tratar a teoria científica como um conjunto de modelos capazes de incorporar as evidências empíricas de tal modo que seja confiável assumir a teoria como uma explicação que dê sentido ao problema investigado em cima do fenômeno (VAN FRAASSEN, 2000, 2008a).

A epistemologia de van Fraassen (2007) define a prática científica como um empreendimento humano que possibilita as diversas interpretações construídas sob o olhar do cientista, e tais sendo relacionadas com a percepção do mesmo. Exclui-se, então, a interpretação do cientista como uma construção verdadeira em relação ao objeto ou evento estudado. Com esse olhar, a epistemologia do empirismo que van Fraassen (2007) aceita é um modelo interpretativo do fenômeno que traz a luz o contexto de sua produção, ou seja, a percepção da ciência sobre o mundo e sua observação. A filosofia da ciência tenta responder a uma questão: qual o objetivo da

ciência? Segundo o autor, a tradição da filosofia da ciência focou na teoria científica e na atividade científica. Sendo o objetivo da ciência: a construção, o teste, e o refinamento da teoria científica. Quando tal teoria é aceita pela comunidade científica, essa é entregue ao público (VAN FRAASSEN, 2007, 1987).

> A ciência visa dar-nos teorias que sejam empiricamente adequadas; e a aceitação da teoria envolve, como crença, apenas aquela de que ela é empiricamente adequada... Um pouco mais precisamente: tal teoria possui pelo menos um modelo tal que todos os fenômenos se ajustam. Devo enfatizar que isso se refere a *todos* os fenômenos; e que eles não são esgotados por aqueles realmente observados, e nem mesmo por aqueles observados em um certo tempo, seja passado, presente ou futuro (VAN FRAASSEN, 2007, p. 34-35, grifo do autor).

Uma das defesas de van Fraassen (1987) a respeito do objetivo da ciência se ancora no fundamento de que essa visa nos dar teorias aceitáveis. O autor constrói seu pensamento sobre a atividade da ciência através de um contraste inerente ao contexto de produção da teoria científica: acreditar *versus* desacreditar, e aceitar *versus* rejeitar. Com base nisso, ele contribui com uma bússola para entendermos o objetivo da ciência. A direção de van fraassen (2007) aponta para o sucesso da ciência como resultado de uma teoria aceitável. O autor faz uma distinção entre *aceitar* e *crer*. Ele toma como pressuposição que o desejo humano pela informação é tanto quanto o desejo pela verdade (VAN FRAASSEN, 1987). Compreender essa distinção é primordial no trabalho de van Fraassen (1987), em vista que nós temos boas razões para aceitar uma teoria. A teoria ao conceder uma explicação para o fenômeno observacional pode nos convencer que ela é verdadeira. Contudo, essa relação entre verdade e explicação não é simbiôntica. Pois, assumir uma verdade significa crer que ela é real enquanto aceitar uma teoria significa dizer que aquela teoria possui uma razão lógica e nos dá uma informação a respeito de um problema. Certamente, podemos assumir que a informação concedida pela teoria é verdadeira, mas isso está no âmbito da crença que é mais subjetiva. Como fundamento da sua epistemologia, o autor postula que a única crença da *adequação empírica* é que o único compromisso da teoria científica é com a crença que ela é empiricamente adequada. Para van Fraassen (1987), os cientistas estão mais preocupados em construir teorias capazes de explicar um fenômeno observável de modo satisfatório do que encontrar a verdade sobre ele. Portanto, o sucesso da atividade científica não seria revelar ou construir uma verdade a respeito das nossas observações empíricas. Todavia, o sucesso da ciência está em estruturar modelos que satisfazem uma

representação adequada para o fenômeno observável (VAN FRAASSEN, 1987).

O cientista não está isento de crença, não está isento de assumir um valor de verdade para si, mas a defesa de van Fraassen (2007) é: o sucesso da ciência não é a produção de teorias que descrevem uma realidade externa verdadeira ao mundo sensível e confirmada pela observação. O sucesso da ciência é produzir teorias que representem uma realidade empírica e os seus termos satisfazem problemas relacionados à observação. A posição empirista ingênua, fruto da visão do empirismo lógico, nos determinava uma teoria científica produzida a partir da demonstração e da experimentação. Exclui-se na visão positivista, portanto, as discussões metafísicas presentes na atividade experimental da ciência, e constrói-se uma teoria pura de metafísica - pelo menos essa era a expectativa dos filósofos positivistas. Tanto a teoria quanto o experimento, segundo van Fraassen (2007) e Perschard e van Fraassen (2014), visam a adequação empírica. O cientista ao planejar seu modelo experimental, também, busca a adequação empírica para o fenômeno. Sendo assim, o experimento não comprova a teoria, mas a subsidia com conteúdo empiricamente observável. A outra função da experimentação é contrastar com os termos teóricos ajustando os modelos teóricos para alcançar o isomorfismo estrutural, e assim construir uma teoria capaz de representar o observado. Em contrapartida, a teoria provoca a formulação de um problema a ser explicado e demanda uma explicação que seja sistemática e concisa. A relação entre a teoria e a experimentação não são hierárquicas, são relações simbiônticas, onde uma depende e influencia a outra (PESCHARD; VAN FRAASSEN, 2014; VAN FRAASSEN, 2007).

2.2.1 - Pragmática da explicação para construir os modelos

Há uma regra que foi explicada empenhosamente por Harman (1965) relevante para essa seção da qual foi postulada como a *inferência para uma melhor explicação*, e essa van Fraassen (2007) utiliza para fazer uma crítica ao realismo científico ingênuo. Ela nos leva a reflexão sobre como inferimos o conhecimento científico, e nosso autor a utiliza para sustentar que as entidades inobserváveis presentes nas teorias, de modo

geral, são defendidas através dessa regra, contudo essa não tem base empírica para uma conclusão científica que demanda mais do que a regra pode conceber (VAN FRAASSEN, 2007). Podemos sintetizar da seguinte maneira:

> Suponhamos que tenhamos a evidência E, que estamos considerando diversas hipóteses, digamos H e H'. A regra diz então que devemos inferir H em vez de H' exatamente se H é uma melhor explicação de E que H' (VAN FRAASSEN, 2007, p. 46).

Analisemos a situação usada por van Fraassen (2007): você ouve uns ruídos nas paredes, um sapateado de pequenos pés à meia-noite, e o queijo desapareceu. Dado a situação você infere que havia um camundongo em sua casa. Essa inferência é uma hipótese dada aos fenômenos observados. Entretanto, poderíamos concluir que de fato havia um camundongo sem observá-lo empiricamente? van Fraassen (2007) nos leva a refletir que tal hipótese explica que as evidências observáveis indicam a existência de um camundongo na casa, e não se há um camundongo na casa. É uma situação analógica a sua adequação empírica. O camundongo surge para dar uma explicação aceitável ao fenômeno no qual há um comportamento de algo não observado. Porém, a hipótese não responde sobre a existência do mesmo no fenômeno. Há muitas maneiras possíveis de explicar as evidências empíricas, dado isso escolhemos aquilo que julgamos responder melhor o observável. Com base nas informações dadas, a conclusão sobre a existência de um camundongo causando o fenômeno parece dar algum sentido aquilo que observamos, mas para termos a certeza de que ele causou o fenômeno seria necessário vê-lo, ou encontrar mais evidências até afunilar as possibilidades de tal maneira que a única conclusão possível seja a sua existência (VAN FRAASSEN, 2007).

A concepção empirista, segundo van Fraassen (2007) defende que os fenômenos observáveis exibem regularidades concordantes com a teoria, em vista que esses fenômenos estão ajustados para uma explicação mais adequada ao fato. Sendo o fenômeno independente da existência de uma entidade que está para além do empírico. O uso das entidades inobserváveis para explicar o observável é uma tentativa de dar sentido para o fato. Quando a teoria e o observável estão de acordo, ainda é insuficiente para construir uma convicção da existência de seus termos inobserváveis, pois para dar uma melhor explicação basta satisfazer um contexto problemático (VAN FRAASSEN, 2007). A posição de van Fraassen (2007) para os experimentos realizados em laboratório que evidenciam os fenômenos é que tais são arquitetados para dialogarem

com a teoria já pré-concebida. Antes da elaboração do experimento e da confirmação da teoria e da existência dos seus termos inobserváveis há um contexto de pergunta que demanda uma explicação. Antes de pensar se o camundongo existe ou não, e testar hipóteses até descobrir a resposta definitiva sobre o fenômeno, há um contexto de interesse: por que eu desejaria saber se existe um camundongo na minha residência? o que me leva a buscar essa informação? Com base nisso, o autor defende que a explicação científica responderá e satisfará esse contexto em que surge o interesse por uma resposta científica. A explicação nada contribui para o alcance da verdade na teoria, a explicação é uma aplicação pragmática da ciência (VAN FRAASSEN, 2007).

O surgimento de entidades que dão suporte a explicação do fenômeno, segundo van Fraassen (2008a), causam distorções na imagem representacional do modelo. Como já discutimos, os modelos são construídos a partir de uma estrutura que incorpora o observável. Contudo, esse modelo não é restrito a incorporar aquilo que experienciamos, nele aparecem aspectos que não são empíricos. O modelo é uma construção a partir do observável. Aquilo que experienciamos dá condições de construir uma imagem para representar parcialmente a observação. Essa imagem é construída de um modo que dê uma boa explicação para os problemas que surgem na observação. Para dar uma boa explicação, surge entidades que não são observáveis, mas são capazes de atribuir um sentido na representação. A existência desses aspectos destoa a imagem representacional do objeto empírico representado. O modelo é desenhado para incorporar o observável e adiciona-se nele esses aspectos com intuito de ajustar a representação para construir sentido. Como consequência temos uma representação inexata do fenômeno, mas capaz de dar uma boa explicação para o problema. A ciência, portanto, está em constante construção e reconstrução dos modelos para cada vez dar uma melhor explicação ao fenômeno. Quanto mais sentido o modelo é capaz de dar, mais confiável ele se torna e consequentemente mais relevante ele é para a comunidade científica (VAN FRAASSEN, 2007, 2008a).

Bas C. van Fraassen (2007) pontua que um dos anseios da ciência é a busca por uma explicação sistemática e controlável por evidência factual. O poder explicativo de uma teoria é uma virtude pragmática, ou seja, dá uma resposta satisfatória a um problema de um fenômeno empírico nada postulando sobre a real existência de suas entidades externas ao observável. A resposta dada pela teoria é uma adequação empírica

imersa em um contexto semântico (VAN FRAASSEN, 2007). Em outras palavras é dizer que o sucesso da ciência não é uma revelação a respeito do observável, pois está em um direcionamento linguístico do qual tem dois princípios: "1) a avaliação das teorias, e, especificamente o termo 'explica' é radicalmente dependente de contextos; 2) a linguagem de utilização de teorias para explicar fenômenos é radicalmente dependente de contextos" (VAN FRAASSEN, 2007, p. 165). Tentarei esmiuçar melhor esse parágrafo da seguinte forma: as entidades teóricas estão dentro do domínio do discurso, denotam fatos e proposições, constituem relações de acessibilidade a uma percepção de mundo e imersas em um contexto de produção. Para van Fraassen (2007) o compromisso empírico da entidade teórica consiste em satisfazer um contexto de pergunta e dar a ele uma explicação aceitável.

Apresentamos algumas ideias iniciais, agora citemos a essência daquilo que van Fraassen (2007) pensa como explicação:

> Uma explicação não é o mesmo que uma proposição, ou um argumento, ou uma lista de proposições; ela é uma *resposta*. (De maneira análoga, um filho não é o mesmo que um homem, mesmo sendo todos os filhos homens, e sendo cada homem um filho). Uma explicação é uma resposta para uma questão-por-quê (VAN FRAASSEN, 2007, p. 237).

Devemos nos atentar que para van Fraassen (2007) uma explicação é uma resposta satisfatória a uma pergunta sobre o fenômeno, e não é equivalente a uma proposição a respeito daquele fenômeno. Diferentemente da lógica elementar na qual cada sentença corresponde a uma proposição, e o valor de verdade daquela sentença está na sua correlação com o mundo real, a explicação é um instrumento que satisfaz às questões-por-quê. A sentença pertencente a linguagem natural é dependente de contexto. Sendo assim, a proposição contida nela varia conforme o contexto na ocasião do uso (VAN FRAASSEN, 2007). E, o autor sintetiza: 'estou feliz agora' é verdadeiro no contexto *x* exatamente se o falante estiver feliz no momento do contexto *x* (VAN FRAASSEN, 2007). O contexto de uso é uma ocasião real que aconteceu em um lugar e momento definidos com falantes definidos (VAN FRAASSEN, 2007). Assim cada sentença é proferida em uma concepção de mundo com um conjunto de contextos, portanto o contexto especifica algo de uma sentença (VAN FRAASSEN, 2007).

Devemos notar que há uma mudança em relação a posição tradicionalmente utilizada na teoria da explicação. Van Fraassen (2007) propõe a teoria da explicação

como uma virtude pragmática que é diferente da virtude epistêmica. A diferença é que uma virtude epistêmica levaria a conclusão que uma boa explicação seria uma evidência favorável para determinar se a teoria é verdadeira ou não, com o exemplo do camundongo podemos perceber que o mesmo fornece uma boa explicação para o fenômeno observado, porém há limitações empíricas na observação para dizer se a hipótese é verdadeira ou não. Contudo, independente da limitação, a explicação da existência de um camundongo rondando a casa que provoca os ruídos a noite nos parece bastante satisfatório. Isso se deve ao fato de que tal explicação satisfaz um problema: o que provoca o ruído a noite em minha casa? e o autor aborda essa satisfação como uma virtude pragmática, ela não evidencia um valor a respeito da existência do camundongo e consequentemente prova que ele é verdadeiro na hipótese, ela apenas satisfaz o contexto (VAN FRAASSEN, 2007).

Van Frassen (2007) correlaciona a teoria da explicação a uma teoria das questões-por-quê. Isso se deve ao fato que para o autor uma sentença explicativa não é uma conclusão lógica verdadeira. Um dos seus trabalhos interessantes é sobre sua análise a uma questão-por-quê. Ele trata a questão-por-quê como uma sentença que necessita de uma explicação, como vimos anteriormente o autor atribui a necessidade humana por uma resposta explicativa em um mesmo nível de igualdade a necessidade de uma verdade a respeito do observável (VAN FRAASSEN, 2007). O olhar de van Fraassen (2007) torna-se interessante pelo embasamento teórico que ele dá a análise da questão como algo que pode ser respondida de qualquer maneira, contudo apenas uma resposta satisfaz o contexto da pergunta. Sendo assim, conclui que toda questão demanda uma resposta, e escolhemos a melhor resposta. O diferencial do trabalho dele é que muitos autores defenderam tal resposta como uma verdade sobre o problema, e argumenta que satisfazer uma questão-por-quê não é dar a ela uma resposta verdadeira (VAN FRAASSEN, 2007).

> Uma teoria das questões deve estar fundamentada em uma teoria das proposições, que vou supor dada. Uma *questão* é uma entidade abstrata; ela é expressa por uma *interrogação* (uma peça de linguagem) no mesmo sentido que uma proposição é expressa por uma sentença declarativa. Quase tudo pode ser uma resposta apropriada para uma questão, em uma situação ou outra... A primeira tarefa de uma teoria das questões é oferecer alguma tipologia das respostas (VAN FRAASSEN, 2007, p. 243 – 244).

Com essa afirmação van Fraassen (2007) está propondo que uma questão-por-

quê direciona a construção da explicação. Ao declararmos uma sentença interrogativa pressupomos uma resposta para ela. E, ocorre então uma seleção para o universo de possíveis respostas. “Por que o átomo de hidrogênio emite fótons nas frequências da série geral de Balmer? A pergunta pressupõe que o átomo de hidrogênio emite fótons nessas frequências” (VAN FRAASSEN, 2007, p. 266). O que van Fraassen (2007) tenta discutir é: ao criarmos um problema, incutimos nele um olhar que parte de premissas. E, essas premissas pressupõem uma resposta. A melhor resposta é aquela que satisfaz mais adequadamente a premissa. O empirismo que o autor está discutindo é olhar para o fenômeno aceitando que as premissas como empiricamente adequadas, ou seja, quando tento responder a causa do átomo de hidrogênio emitir especificamente as frequências da série de Balmer, eu admiti que os experimentos realizados com o átomo de hidrogênio são confiáveis. Logo, posso responder uma nova pergunta sobre o observável em virtude que o contexto de produção do fenômeno eu aceitei como quase verdadeiro. Isso quer dizer que eu não necessariamente tenho o compromisso em crer que o átomo de hidrogênio emite fótons em uma determinada frequência. Eu apenas preciso compreender o contexto de produção e o assumir como um ponto de partida aceitando empiricamente que os elementos previstos na teoria estão corretos (VAN FRAASSEN, 2007).

Embora a abordagem discutida em torno da pragmática da explicação tenha focado em questões filosóficas, também, controversas, há uma relevância para a representação que será incorporada no modelo. Com as posições explicitadas por van Fraassen (2008a, 2005, 2007), criamos uma justificativa para o surgimento de elementos não empíricos na representação científica. O fundamento da existência de entidades não-observáveis é criar uma explicação capaz de satisfazer o sentido lógico de uma resposta ao problema levantado. E, é muito relevante que a representação está sendo construída como uma das imagens que serão incorporadas pelo modelo. Os modelos científicos são criações humanas cujo conteúdo representado são imagens do observável, e esta incorpora os aspectos empíricos e não empíricos. Contudo, o ponto chave é compreender que tais imagens constroem uma estrutura ampla que podemos assim dizer por conter os elementos que não são observáveis. Outro atributo que dá condições de podermos dizer que essa estrutura é mais ampla do que nossos sentidos são capazes de fornecer conhecimento é o fato da imagem construída estimular a

construção de sentido lógico às respostas justamente por incorporar os elementos não observáveis que tornam as explicações pragmáticas. Só é possível questionar a causa de o átomo de hidrogênio emitir fótons em certas frequências quando se entende - ou aceita, para ser mais fiel às ideias de van Fraassen - a teoria que leva o cientista a questionar o fenômeno. E, por que essa estrutura ampla é relevante? Com ela somos capazes de construir os modelos científicos preenchidos de sentido e confiáveis, mesmo que sejam controversos a respeito da existência dos seus elementos (VAN FRAASSEN, 2005, 2007, 2008a). Uma conclusão feita pelo autor e pertinente:

> Tradicionalmente, diz-se que as teorias mantêm dois tipos de relação com os fenômenos observáveis: *descrição e explicação*. A descrição pode ser mais ou menos exata, mais ou menos informativa; no mínimo os fatos devem "ser admitidos pela" teoria (se ajustar a alguns de seus modelos), no máximo, a teoria realmente implica os fatos em questão. Mas além de uma descrição (mais ou menos informativa), a teoria pode fornecer uma explicação. Isso é algo "acima e além" da descrição; por exemplo, a lei de Boyle descreve a relação entre a pressão, a temperatura e o volume de um gás envasado, mas não explica tal relação - a teoria cinética a explica. Penso que se tirou corretamente a conclusão de que mesmo que duas teorias sejam empiricamente equivalentes de forma estrita, elas podem diferir de forma que uma possa ser utilizada para responder a dada solicitação de explicação, enquanto a outra não (VAN FRAASSEN, 2007, p. 270).

2.2.2 - A imagem empírica dos fenômenos

Segundo van Fraassen (2005), há uma contraposição entre aparência e realidade. Como aponta o próprio autor, ele não utiliza da tradição kantiana para definir a realidade como as coisas são em si mesmas. A realidade dissertada pelo filósofo holandês compreende que o mundo observável não está limitado ao nosso empirismo, portanto ela engloba resumidamente dois aspectos principais: o empírico e o não-empírico. O autor compreende a teoria científica como uma imagem de como as coisas são empiricamente. A aparência, por outro lado, não significa as impressões empíricas, mas os resultados e processos mensuráveis. A teoria científica representa as aparências do mundo sensível em uma imagem pertencente ao plano do raciocínio teórico. Nessa imagem estão presentes tanto as aparências quanto os elementos teóricos (observáveis, ou não). Haveria, portanto, uma imagem representada na teoria científica, e a

epistemologia do autor reivindica que o compromisso do empirista é construir a teoria de tal modo que incorpore em sua representação as aparências do mundo observável (VAN FRAASSEN, 1987, 2005).

O sucesso da ciência, segundo van Fraassen (2007) é produzir teorias empiricamente adequadas, ou seja, a ciência está compromissada em construir teorias que sejam uma imagem do mundo observável. Os elementos existentes na teoria não necessitam existir empiricamente no mundo sensível. Eles, quando não cumprem rigorosamente com a aparência do observável, bastam dar uma explicação satisfatória a um problema empírico (VAN FRAASSEN, 2007). Conforme van Fraassen (2005) construímos relações isomórficas entre a realidade empírica e a realidade teórica através da linguagem. Nesse âmbito, a distinção não é trivial, o conceito como força, por exemplo, não há como saber se o conceito surgiu na língua e foi incorporado na teoria, ou se a teoria produziu o conceito de força e esse foi incorporado na língua. Retomando a discussão, e essa o autor distingue claramente, o mundo sensível é uma realidade empiricamente observável, e o compromisso do modelo da teoria é retratar uma imagem dessa observação. Sendo assim, o sucesso do empreendimento científico é construir teorias cujos modelos representem o observável e expliquem a aparência do fenômeno (VAN FRAASSEN, 2005).

Peschard e van Fraassen (2014) esclarecem com mais cuidado essa transposição empirista sobre a representação nos modelos. O modelo científico é um objeto empírico criado para representar o observável. E, sua construção é realizada por um processo de transformação do observável e do inobservável para um artefato empírico (modelo). Discutimos ao longo da seção que o empirismo construtivo rejeita o modelo como um objeto capaz de representar uma perfeita correlação entre o observável e o fenômeno. Entretanto, não rejeita a existência do inobservável na representação científica. As aparências dos fenômenos podem ser transpostas, de acordo com os autores, em valores que se tornam traços empíricos que compõe a representação (PERSCHARD; VAN FRAASSEN, 2014). Como podemos transpor o empírico para uma representação, criamos uma imagem distorcida do fenômeno original. Segundo van Fraassen (2008a), a representação é uma imagem assimétrica da realidade. A assimetria é diferente de ser uma cópia, em virtude que se assemelhar ao objeto, nesse contexto, significa estabelecer uma relação de proximidade com o observável:

> A semelhança pode consistir em ter propriedades em comum ou, em vez disso, em propriedades que têm propriedades em comum com propriedades relevantes naquilo que é representado. Ou seja, o representador pode ter propriedades que formam uma estrutura semelhante a uma estrutura formada pelas propriedades do representado e assim por diante na hierarquia de tipos (VAN FRAASSEN, 2008a, p.34).

Aqui o autor está dissertando o que já discutimos anteriormente quando falamos dos modelos representarem os aspectos do observável. A representação que está inserida no modelo tem o compromisso em estabelecer uma relação de assimetria com o objeto, respeitando as propriedades em comum. Quando pensamos no modelo de um átomo de hidrogênio, este não precisa ser uma cópia do objeto em si, ele precisa incorporar aspectos da teoria atômica (VAN FRAASSEN, 2008a).

Van Fraassen (1969, 2008a) reivindica a objetividade da ciência. Compreende a objetividade como os fatos em si, e a ciência os investiga. É relevante esclarecer que o autor está dentro de uma parcela de cientistas que reivindicam a ciência como produtora de conhecimento em cima do objetivo. O cientista consegue produzir modelos que distorcem o fato em si, incutindo nele outros propósitos comunicativos que modificam a representação do fato. Porém, a distorção não descredibiliza, nem relativiza o modelo como algo puramente subjetivo. Afinal, uma parte do modelo é o fato em si. “Se, por exemplo, eu desenhar um gráfico e apresentá-lo como representando a taxa de crescimento bacteriano sob certas condições, então, em virtude desse próprio ato, o que o gráfico representa é a taxa de crescimento bacteriano nessas condições” (VAN FRAASSEN, 2008a, p.27).

A subjetividade que van Fraassen (2007, 2008a) deixa claro no processo de construção do conhecimento científico é a seletividade na criação do problema para o fenômeno. Quando olhamos um pássaro voando, e questionamos o porquê ele voa? Estamos colocando um olhar subjetivo, dentre todo o cenário o que nos levaria a questionarmos especificamente sobre aquele pássaro? Poderíamos questionar a respeito de outras coisas, ou até mesmo simplesmente não questionarmos nada. Ao nos interessarmos por algo e nos motivarmos a responder o problema que nos despertou, estamos tratando de algo subjetivo. Ou seja, a razão pela qual nos move para o ato da investigação não é de natureza objetiva, mas sim influenciada por experiências individuais com o mundo que culminam em um interesse pessoal e não universal. O

segundo ponto de natureza subjetiva defendido por van Fraassen (1987, 2007) é com relação a assumir os valores das entidades não observáveis como verdadeiros. Crer na existência do átomo tem um viés subjetivo, pois tem caráter que envolve a crença nos modelos propostos pela teoria atômica.

Há uma relevância da pragmática e da adequação empírica na construção da representação. A abordagem de van Fraassen (2007, 2008a) não limita a uma discussão estritamente objetiva dos fatos, nem a uma relativização dos mesmos na representação. O autor constrói uma maneira empirista de olhar a representação de tal modo que contempla os aspectos objetivos (os fatos), e dá uma direção objetiva para os aspectos subjetivos. Os aspectos subjetivos se tornam mais claros quando entendemos a pragmática como uma direção na seletividade do que será representado. Como selecionar o que deve ser representado e o que não deve dentro de uma imagem? A pragmática da explicação entra em cena na tese de van Fraassen (1977, 2007), para cumprir o propósito da representação, aquilo que melhor responder ao problema criado será selecionado para dar sentido a representação. A adequação empírica é outro ponto relevante para o entendimento do propósito da representação, tendo em vista que ela deve ser empiricamente adequada, ou seja, construir uma relação com o objeto empírico.

> Na verdade, dizer que algo é a pintura de um piquenique não implica em absoluto que haja um verdadeiro piquenique representado por essa pintura. ‘‘A Mona Lisa é um retrato de Maria Madalena’’: esta afirmação pretende mencionar duas coisas reais e uma relação entre elas. Talvez faça. Mas o importante é que a forma por si só não pode revelar isso. Pois a afirmação ainda pode ser verdadeira se descobrir que Maria Madalena não foi uma personagem histórica real (VAN FRASSEEN, 2008a, p. 26, tradução minha).

2.2.3 - As distorções são necessárias para comunicar o conhecimento

Poderíamos responsabilizar a representação pela dificuldade em ensinar os modelos em sala de aula. Uma vez que o modelo não é capaz de representar perfeitamente o observável, então poderíamos alegar que a dificuldade em construir o conhecimento está na representação. Porém, van Fraassen (2008a) refuta essa possível

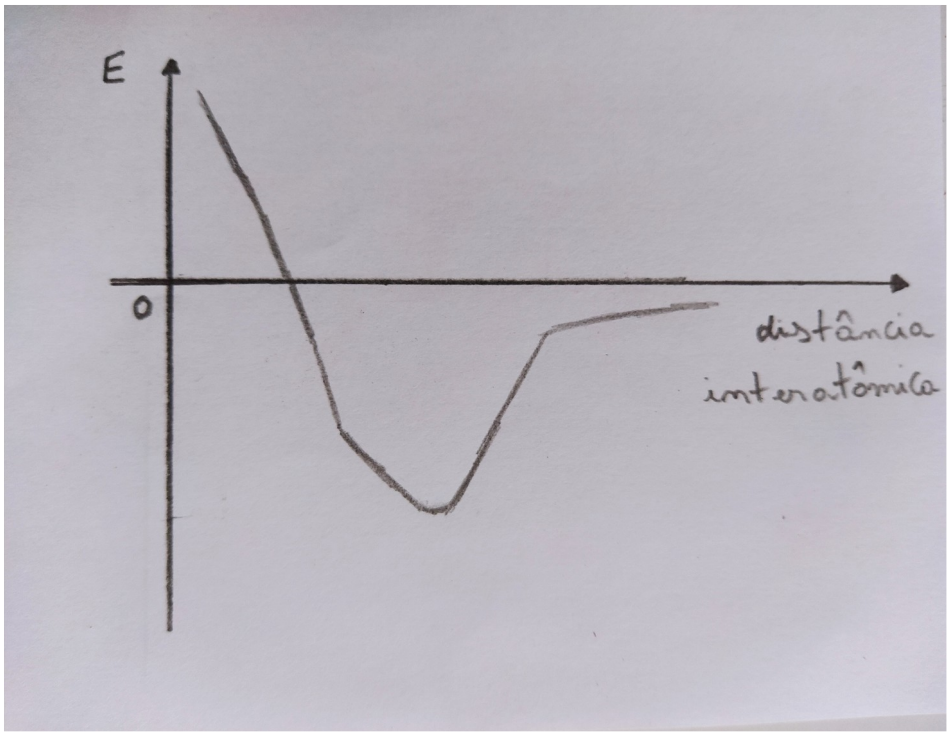
visão. As distorções da imagem transpostas nos modelos são necessárias para construir a representação e gerar o conhecimento. Os modelos se ajustam e são aprimorados para incorporar os fenômenos. Se olharmos para a figura 2 (pág. 48), esta é uma maneira de representar a molécula de benzeno, de acordo com a TOM, mais atual do que a figura 3 (pág. 48). Interessante que a investigação de Bucat e Mocerino (2009) encontrou problemas no ensino-aprendizagem tanto no modelo projetado pela TLV quanto no modelo projetado pela TOM. As distorções, conforme a epistemologia empirista defendida por van Fraassen (2008a), não são vistas como um empecilho para representar o conhecimento científico. Na verdade, é o contrário, as distorções contribuem para o entendimento da teoria.

Conforme van Fraassen (2008a) disserta seu argumento da distorção, somos provocados a compreender determinados modelos da seguinte forma: os modelos são propositalmente distorcidos a fim de permitir a transposição do abstrato para o concreto. Não temos noção da dimensão microscópica a nível atômico, tampouco da dimensão do universo, e muito menos quantos átomos existem num copo d'água. Porém, somos capazes de construir modelos que permitem compreender os fenômenos presentes no nosso cotidiano. Quando construímos um gráfico com base numa escala logarítmica, por exemplo, estamos o distorcendo para sermos capazes de analisar os dados representados nele. Se construíssemos um gráfico respeitando a escala dos nossos sentidos perderíamos a possibilidade de mensurar com um modelo empírico a magnitude do crescimento ou decrescimento dos dados que não somos capazes de observar pelos nossos próprios sentidos. Portanto, o autor nos leva a um olhar otimista para a distorção na representação (VAN FRAASSEN, 2008a).

Van Fraassen (2008a) apresenta o argumento da *distorção* como algo relevante para compreender a imagem incorporada no modelo. O autor disserta que compreender a imagem como uma representação simplesmente porque ela se assemelha ao objeto é um erro fatal. Em vista que a imagem ao representar o objeto incorpora não somente algumas das propriedades pertencentes a ele, mas também pode inserir outras propriedades que não pertencem ao mesmo. Segundo o autor, para representar uma semelhança é necessário distorcer a representação (VAN FRAASSEN, 2008a). Por meio dessa lógica somos capazes de vislumbrar o potencial da epistemologia para desconstruir uma ideia de realismo ingênuo.

Um bom exemplo disso é a reta do gráfico de uma função logarítmica que é distorcida para incorporar um fenômeno (BELLOS, 2011). Quando observamos o espaço no horizonte do nosso olhar, temos a sensação de que quanto mais longe o objeto está de nós, mais próximo ele está dos objetos que estão ao seu redor. Se eu tivesse duas caixas, distantes 2 metros entre si, a 1 metro de distância de mim, elas pareceriam mais distantes do que outras duas caixas, distantes 8 metros entre si, a 70 metros de mim – os dados são fictícios e servem apenas para ilustrar o raciocínio. As razões por esse fenômeno ocorrer ainda são controversas no meio acadêmico, e o estudo de Booth e Siegler (2004) nos ajuda para a dissertação. De acordo com esses autores, nossa percepção numérica é mais estimativa quanto mais distanciamos a escala, ou seja, temos menos precisão conforme os números aumentam sua escala. Conseguimos fazer uma operação do tipo 2x3 com certa facilidade e precisão em virtude que estamos trabalhando com números de ordem unitárias, mas se aumentarmos a escala unitária para as dezenas como: 15x27, já perdermos nossa rapidez na operação. Portanto, experienciamos o espaço sem darmos conta da proporção que está se modificando à medida que estamos mudando a escala da nossa observação. Desse modo nossa percepção da realidade numérica é distorcida naturalmente pela nossa cognição (BOOTH; SIEGLER, 2004; BELLOS, 2011). E, uma função logarítmica, na sua representação, distorce a reta para ajustar e incorporar as mudanças ocorridas nos pontos infinitesimais. E, assim constrói-se um gráfico mais intuitivo que facilita a comunicação da informação.

Figura 4: Gráfico da energia potencial



Fonte: figura produzida pelo autor

A figura 4 representa um gráfico de energia de ligação, e podemos analisar a partir do referencial dado por van Fraassen (2008a). Quando temos uma ligação entre dois átomos, a sua energia potencial é muito alta na medida que os núcleos atômicos dos elementos estão muito próximos. O fenômeno ocorre por causa das cargas positivas dos prótons estarem muito próximas umas das outras como prevê a teoria atômica. Conforme afastamos do núcleo, ocorre a diminuição da energia potencial, pois a resultante das forças atrativas de Coulomb equilibra as cargas dos átomos em uma distância que chamamos de comprimento de ligação. Quando afastamos demais os núcleos, a energia toma uma nova direção de crescimento em virtude que a distância ao tender para o infinito leva a energia de ligação tender a zero, conforme prevê a teoria. Isso faz sentido, pois se os átomos estão tão distantes entre si, a energia de ligação é tão infinitesimalmente pequena que podemos afirmar que tais átomos não estão ligados. O relevante dessa breve explicação para a figura 4 e onde van Fraassen (2008a) corrobora na leitura sobre sua representação está relacionado com as informações sobre um universo não empírico - aqui relembrando que para o autor os nossos sentidos são o parâmetro daquilo que é observável. A representação nos traz um modo de mensurar e analisar a energia potencial da ligação entre dois átomos quaisquer e a distância da ligação. Percebamos que não estamos trabalhando com objetos visíveis a olho nu, e a

dimensão é submicroscópica. O entendimento que o autor nos dá para esse tipo de representação é que ela nos auxilia a explicar os resultados experimentais. O universo submicroscópico pode ser muito diferente daquilo que estamos representando, mas de alguma maneira a representação nos possibilita explicar um resultado experimental (VAN FRAASSEN, 2008a).

> Uma imagem pode deturpar seu tema, atribuindo a ela propriedades que ela não possui, seja por acidente ou propositalmente. Toda representação é seletiva e a seletividade é crucial para o que é retratado, mas para imagens, a seleção está sujeita a restrições muito específicas. A seleção não é uma escolha simplesmente para renderizar alguns aspectos e não se comprometer com outros. Esse tipo de escolha também é feito quando descrevemos algo em palavras (VAN FRAASSEN, 2008a, p.31, tradução minha).

Com isso, van Fraassen (2008a) tece a sua defesa para que as representações sejam artefatos criados com uma intenção. As distorções causadas na imagem representacional do modelo são virtuosas, pois

> Todas as criaturas com coração são criaturas com rins - mas representar algo como tendo um coração não é o mesmo que representá-lo como tendo rins. E assim por diante. Esta "opacidade", a resistência à possibilidade de ser substituído da identidade, é uma marca não só da intencionalidade do pensamento, mas da intencionalidade do discurso (VAN FRAASSEN, 2008a, p. 27).

Atribuir uma função para o objeto representacional é dar a ele uma nova função, segundo van Fraassen (2008a), que o torna diferente do fenômeno. Portanto, temos dois objetos distintos: o fenômeno e a representação. Um dos pontos chaves é a intencionalidade que é relativa à função da representação. A intenção leva a selecionar o que será representado, então entramos novamente numa discussão cíclica que volta a pragmática e a adequação empírica. Escolhemos o que será representado pragmaticamente, e a representação é ajustada para adequar o modelo ao observável (VAN FRAASSEN, 2007, 2008a).

2.3 - Síntese do capítulo

Compreender a adequação empírica e a pragmática da explicação nos leva a retomar o que discutimos com base em Morgan e Morrison (1999) que defenderam o

modelo como independente da teoria. Em vista que van Fraassen (2007, 2008a) disserta uma defesa para o modelo como algo que possui uma função inerente que não está perfeitamente correlacionada com a teoria, podemos então enxergá-lo como algo diferente da teoria em si. Na minha percepção, esse pensamento tem um impacto relevante na medida que nos permite focar em outros aspectos que se tornam invisíveis quando damos ênfase na teoria em sala de aula. É comum darmos um grande foco no esclarecimento da teoria, ou apresentar o máximo de conteúdo a respeito da mesma, e o pensamento dos autores traz um olhar sobre o modelo que foca na função dele para a comunicação. Os modelos são separados da teoria em virtude que possuem objetivos diferentes e para van Fraassen (2007) as teorias são um conjunto de modelos capazes de construir uma percepção sobre o fenômeno. Ao compreendermos a função do modelo para comunicar o conhecimento retomamos à conclusão de Greca e Freire Jr. (2011) que observaram no caso das teorias quânticas no ensino de ciências uma maior relevância em falar sobre a percepção em relação aos fenômenos quânticos e o que essa comunica ao cientista do que demonstrações lógicas interessadas em formar "tecnicistas". Os modelos, sob a perspectiva de van Fraassen (2007, 2008a) e Morgan e Morrison (1999), por terem funções diferentes da teoria abrem o caminho para tratar em sala de aula sobre essa outra função.

Conforme van Fraassen (2007), os modelos são uma estrutura mais ampla que o observável (ou o fato em si). Vimos com Bachelard (1996) que faz uma crítica ao empirismo ingênuo de acreditar que o conhecimento científico verdadeiro é o fato em si. Encontramos uma crítica também pela tese de Van Fraassen (2007, 2008a) a esse empirismo ingênuo. Todavia, na tese do filósofo holandês a ingenuidade do empirismo acontece quando se rejeita os aspectos não-empíricos como construtores dos modelos. Van Fraassen (2007, 2008a) defende veemente os modelos como objetos empíricos dado que a essência do seu conteúdo é observável. O autor refuta o racionalismo ingênuo na medida que compreende a essência da construção de um modelo por meio das nossas capacidades empíricas. Diferentemente do positivismo lógico radical que desejava erradicar a metafísica da ciência, van Fraassen (2007) reconhece as virtudes da metafísica como pragmáticas para explicar o fenômeno. Van Fraassen (2007) disserta que a observação é empírica e o conhecimento científico é construído em cima dela, portanto também é empírico. Todavia, todos os elementos não empíricos que surgem na

construção de um modelo para o fenômeno tornam aquele modelo um objeto mais amplo que o fato em si desdobrando-se em uma explicação lógica para os problemas. Essa característica da metafísica (tratar dos elementos não observáveis) em dar sentido lógico a uma explicação para o problema tornam os modelos aceitáveis na ciência e quanto mais explicativo ser o modelo mais ele se torna aceitável pela comunidade científica.

A pragmática da explicação contempla os aspectos não-empíricos existentes nos modelos da ciência como necessários para comunicar o conhecimento científico. Ao contemplar esses aspectos, os modelos são construídos em representações distorcidas que são virtuosas para cumprir um propósito. Van Fraassen (2007, 2008a) enxerga na imagem empírica a essência do modelo. Os modelos científicos são produtos da articulação dessa imagem com os aspectos não-observáveis. Encontramos na tese de van Fraassen (2007, 2008a) um outro modo de olhar as contradições entre teoria e prática que nos permitem pensar no erro de maneira diferente. Ao nos depararmos com o conflito entre a projeção teórica e a observação empírica em sala de aula, a tese de van Fraassen (2007, 2008a) nos dá subsídio para não enxergar um erro em si, mas uma divergência de propósito. A observação empírica é o fato em si, no seu estado bruto, que pode nos motivar a um problema. Já as teorias são um conjunto de modelos capazes de dar uma leitura para essa observação. Então, não ocorre um erro entre teoria e prática, ocorre uma diferença de finalidades.

Quando van Fraassen (2007, 2008a) disserta uma epistemologia que não olha para o conflito teoria e prática como algo em que há uma disputa do certo e do errado nos traz uma maneira de pensar diferente na própria abordagem experimental. Apesar da epistemologia ser controversa, há uma contribuição no âmbito da correção do empirismo ingênuo. O positivismo lógico reduziu o conhecimento científico aos fatos demonstráveis rejeitando assim as potenciais contribuições metafísicas. Já o nosso autor contempla as contribuições metafísicas e para sustentar que o conhecimento é empírico, ele rompe com a ideia de que haveria um erro entre a observação e a teoria. Portanto, o autor coloca um holofote nas diferenças de finalidade entre ambas para reviver o empirismo como uma percepção capaz de concorrer com o realismo.

3– Modelos empíricos no ensino de ciências

O capítulo 3 foi construído com a intenção de correlacionar o empirismo construtivo e potenciais implicações no ensino de ciências. Trouxemos algumas reflexões sobre representações no ensino de ciências com um olhar mais focado na química. Retomamos a finalidade comunicativa de representar o conhecimento. Olhamos para a química em especial nesse contexto em vista que há o entendimento dela como uma ciência cuja particularidade é justamente sua comunicação bastante rica em modelos. Cada representação existente está correlacionada a um conhecimento específico da área que é comunicado por um modelo. Essencialmente a química transpõe o universo microscópico para um modelo macroscópico e esta ação requer compreender as representações e o que elas nos dizem sobre algo. Iniciamos a discussão tentando mostrar a relevância do seu entendimento que reverbera em sala de aula.

Para cumprir com o nosso objetivo, revisamos o artigo de Stull *et al.* (2012). Analisamos os resultados encontrados pelos autores sob a perspectiva do empirismo construtivo. Acreditamos que o resultado da nossa análise tem potencial argumentativo para refletir a necessidade de uma ponderação para doutrinas empiristas radicais que defendem no âmbito do ensino uma aprendizagem totalmente dependente da manipulação empírica. A tese de van Fraassen (2007, 2008a) estabelece limites para o conhecimento empírico e tais são relevantes para dissertarmos a necessidade de evidenciar uma epistemologia que rejeita visões empíricas radicais. Consideramos o resultado que discutimos no capítulo como necessário para o ensino de ciências em vista que almejamos trazer para a comunidade científica contribuições para não cairmos em armadilhas de visões radicais. Entendendo que visões radicais reduzem o debate dialógico com as diversas perspectivas encontradas na ciência e erodem a prática científica.

Outra potencial contribuição de van Fraassen (2007, 2008a) para o ensino de ciências que encontramos foi com relação a categoria de pensamento: *adequação empírica*. Correlacionamos ela com as reflexões que fizemos em cima do artigo de Collins (2015). Acreditamos que a adequação empírica tem potencial resposta para o desafio dado pelo autor que trouxemos inicialmente em nossa pesquisa. Discutimos em

paralelo com a epistemologia de Bachelard (1996). Em seguida refletimos a *pragmática da explicação* como potencial direção ao entendimento que a explicação em sala de aula deve enfatizar o sentido ao invés de uma demonstração verdadeira sobre o mundo.

A penúltima correlação que fizemos foi sobre as *distorções virtuosas* e o erro. Consideramos tal categoria de pensamento interessante para um novo olhar sobre as contradições que explicitamos no capítulo 1. O produto da correlação nos dá esperança em corrigir dificuldades encontrados no ensino de teorias. A contradição entre teoria e prática é recorrente em aulas que exploram as atividades empíricas. As distorções virtuosas dão um entendimento para nós professores para lidarmos com elas de outra maneira. Essa outra maneira que nos permite vislumbrar a aplicação da epistemologia de van Fraassen (2007, 2008a) em sala de aula. Por fim concluímos com uma última defesa do empirismo construtivo no ensino de ciências, entendendo que o mesmo contribui com uma perspectiva controversa em sala de aula.

Nosso percurso metodológico do capítulo desenvolveu-se com a revisão daquilo que pontuamos no início da pesquisa, só que agora explorando as contribuições de van Frassen (2007, 2008a) que pontuamos no capítulo 2. O capítulo 3 foi desenvolvido para construir o diálogo entre nosso problema inicial e as virtudes do pensamento empirista construtivo para respondê-lo.

3.1 - Representações e ensino de ciências: olhando para a química

A investigação buscou palavras-chave relacionadas ao nosso tema como: representações e ensino de ciências. A ciência usa as representações como um recurso comunicativo que reverbera em sala de aula quando professores as utilizam para ensinar o conhecimento científico (GREENO; HALL, 1997; KOZMA *et al.*, 2000). O ponto interessante é o entendimento da representação como um instrumento associado a uma função. A chave do entendimento na abordagem em sala de aula é construir essa representação em paralelo ao seu objetivo na ciência, e elas tem um princípio explicativo para o fenômeno representado (GREENO; HALL, 1997). Apesar de Bas C. van Fraassen não ser um autor de ensino de ciências, o ponto de vista colocado por

Greeno e Hall (1997) e Kozma *et al.* (2000) possui uma certa semelhança em aspecto epistemológico àquilo que o autor defende. As representações têm um papel importante no ensino de ciências, e podemos dizer que em química elas ganham uma ênfase (KOZMA *et al.*, 2000).

De acordo com a pesquisa de Kozma *et al.* (2000), e a dissertação a respeito das representações químicas feita por Hoffman e Laszlo (1991), a química é uma ciência intimamente ligada a representação. Aqui não estamos falando que as outras ciências não utilizem, ou façam pouco uso de representações, mas enxergando a química como uma ciência que não se comunica sem representações. As ciências colecionam diversos modelos, mas a química é a que carrega mais representações de entidades não observáveis empiricamente (HOFFMAN; LASZLO, 1991). Para cumprir com seus objetivos investigativos, a química "usa e abusa" de representações de substâncias, átomos, moléculas, diagramas, gráficos, estruturas (Lewis, Newman, Fischer), entre outras, e todas intermediadas em uma linguagem simbólica. Essa linguagem simbólica é representacional com base em modelos. Os químicos não se comunicam sem uma representação, até quando tratam dos fenômenos macroscópicos da matéria, recorrem a modelos de objetos não observacionais. Quando a química investiga a temperatura de ebulição das substâncias, por exemplo, a parte macroscópica das medições são acompanhadas de uma explicação por meio de modelos do universo submicroscópico da matéria. Sendo assim, a química não consegue se dissociar da simbologia representacional, tampouco representar o conhecimento distanciado do universo submicroscópico (HOFFMAN; LASZLO, 1991; KOZMA *et al.*, 2000).

Hoffman e Laszlo (1991) defendem que nem todos os cientistas se comunicam por meio de modelos para representar a informação, mas os químicos são incomuns e quase todos de alguma maneira se apropriam das representações para se comunicarem. Isso, para os autores, deve-se ao fato que tais mecanismos facilitam o sistema comunicativo da ciência, em especial a química, por remover as ambiguidades. As representações sob os modelos têm uma função que permite identificar especificamente a informação desejada. Por exemplo, as nomenclaturas e a isomeria são dois modelos que removem a ambiguidade de uma substância ocasionar dois fenômenos distintos ou duas ou mais substâncias terem o mesmo nome (HOFFMAN;

LASZLO, 1991). “Uma fórmula química é como uma palavra. Pretende identificar, para destacar as espécies químicas que representa” (HOFFMAN; LASZLO, 1991, p. 8). Uma ilustração, utilizada por Hoffman e Laszlo (1991) para esclarecer a química como uma ciência que tem seu passado histórico imbuído de representações, é a palavra “cão” que nos remete a imagem de um animal quadrúpede, peludo e/ou com os dentes expostos. E, na química o mesmo processo acontece quando falamos os nomes dos produtos que remetem a algum conhecimento sobre o mesmo. A química se torna especial nessa discussão, porque para cada composto e fórmula há uma representação correspondente que remove a ambiguidade e a pluralidade de sentido que uma frase pode ter (HOFFMAN; LASZLO, 1991). Portanto, para uma comunicação entre professores de química e alunos faz-se necessário o domínio do entendimento da linguagem e de suas representações.

Para Hoffman e Laszlo (1991), a química já é uma ciência madura que abandonou a prática primordial de descrições fenomenológicas das propriedades da matéria. Atualmente a química é capaz de explicações a partir da escala submicroscópica ao observável de tal maneira que consegue traçar um paralelo entre o modelo atômico com seus elétrons distribuídos de uma molécula de tinta até sua cor. Essa ciência explica o macroscópico com base em modelos de um universo submicroscópico, e não simplesmente registra as observações empíricas da matéria. O universo submicroscópico se tornou tão aceito e difundido dentro da química que os cientistas o tratam como se fossem objetos observáveis similares as nossas experiências cotidianas. Tratar os modelos submicroscópicos como se representassem objetos observáveis pelos nossos sentidos tem como consequência um modo ingênuo de olhar os modelos químicos e não é muito diferente de acreditar em anjos (HOFFMAN; LASZLO, 1991).

> Nossa disciplina é uma curiosa mistura de observação empírica e raciocínio abstrato. Isso não é diferente da música - mas separa a química do rigor da matemática pura. Os alunos educados em lógica dedutiva têm dificuldade em lidar com a química! (HOFFMAN; LASZLO, 1991, p. 9).

A química enquanto ciência traça um paralelo entre dois universos distintos: submicroscópico e macroscópico. Ambos são intermediados por uma linguagem simbólica embebedada de representações. Aqui conseguimos dialogar com van Fraassen (2008a) quando Hoffman e Laszlo (1991) tocam nas fórmulas que

representam os fenômenos químicos, e a química não é uma atividade puramente lógico-matemática. Utilizamos da matemática porque ela oferece recursos que dão uma melhor precisão à representação do observável (VAN FRAASSEN, 2008a). O tom jocoso que Hoffman e Laszlo (1991) dão aos alunos que são treinados com a lógica dedutiva encontrarem dificuldade em lidar com a química ganha sentido quando os autores explicitam as fórmulas químicas como pertencentes a linguagem. Apesar das fórmulas possuírem uma função comunicativa própria da linguagem - e por isso são como as palavras que almejam representar algo -, diferentemente das palavras, elas combinam o simbolismo representacional com valores observáveis.

> A natureza simbólica da fórmula química, o fato de os químicos saberem que um hexágono representa um anel de átomos de carbono que por sua vez é muito, muito menor, o conhecimento implícito de que esse hexágono não é uma fotografia ampliada do anel, todo esse distanciamento simbólico, é claro, aumenta a natureza metafórica do discurso químico. As estruturas não são o que representam... (HOFFMAN; LASZLO, 1991, p.12).

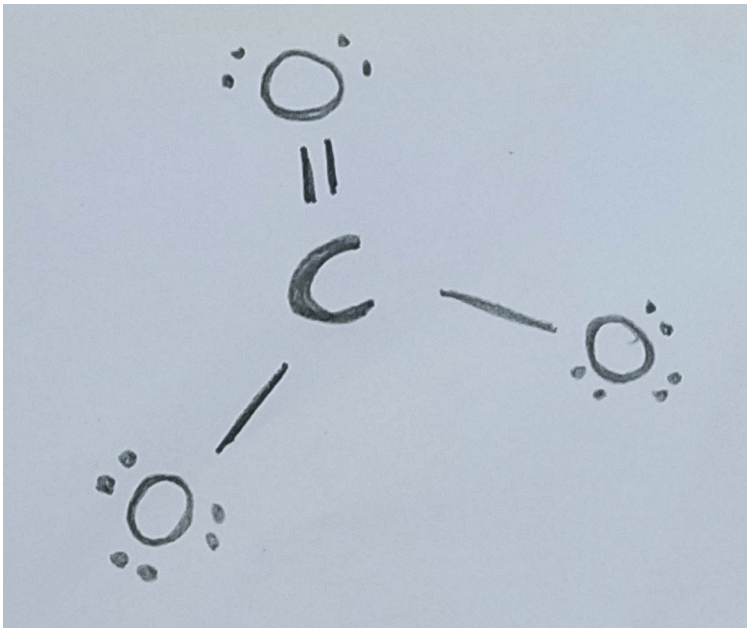
É nesse ponto que os alunos apegados as formulações puramente dedutivas se perdem no entendimento da química, pois a fórmula não é um conjunto de elementos simbólicos que funcionam igualmente como as formulações matemáticas. Os químicos utilizam da matemática para traçar um parâmetro objetivo que permite criar novos conhecimentos e auxiliar na construção das teorias. Contudo, os valores empíricos não seguem o rigor matemático como previsto na fórmula. Com base em van Fraassen (2008a) que entendemos com maior clareza essa função matemática nas formulações químicas quando o autor exemplifica com a construção de uma cópia nossa usando uma escultura em gesso e se pudéssemos criar um gráfico tridimensional e preencher com pontos uma forma que fosse similar a nossa. O modelo gráfico - matemático - teria maior precisão do que a escultura de gesso.

> A arte tribal, seja ela de aborígenes australianos ou um clã esquimó, muitas vezes nos parece esquemática, deficiente em perspectiva. Esse é o nosso problema, pois para o grupo nativo que compartilha a cultura que informa essa arte, a representação pode ser altamente precisa e perceptiva. O mesmo ocorre com os desenhos químicos - sua perspectiva pode ser inadequada, sua representação artisticamente pouco sofisticada. Mas eles contam uma história concisa para o leitor de química. Como imagens ou esculturas primitivas, desenhos químicos geralmente distorcem uma visão se a capacidade dos visualizadores de classificar claramente um objeto for aumentada por essa distorção. Portanto, se for importante mostrar que alguém possui seis ovelhas, as ovelhas serão colocadas de forma que sejam distintas e

> claramente vistas como ovelhas. Uma divindade será representada por seus atributos simbólicos de forma que não podemos confundi-la com qualquer outra (HOFFMAN; LASZLO, 1991, p. 12, tradução minha).

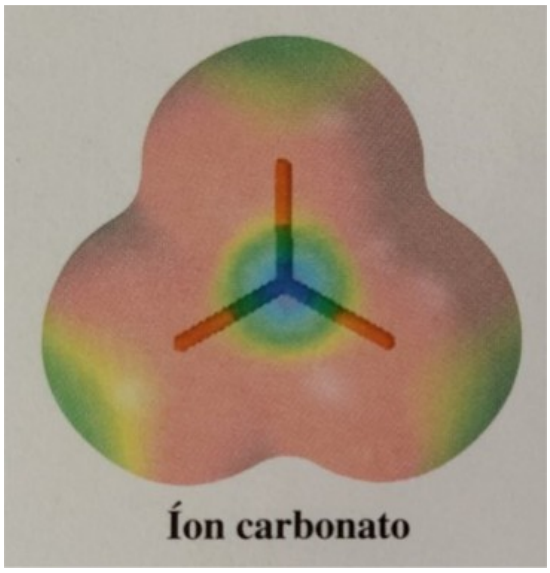
Hoffman e Laszlo (1991) discutem as distorções nas representações químicas de um modo similar às distorções que discutimos com base em van Fraassen (2008a). Os autores trazem um outro exemplo do impacto que a distorção provoca na comunicação do conhecimento químico. Fizemos uma pequena adaptação utilizando outra moléculas e suas respectivas representações, mas o intuito é preservar a essência da discussão.

Figura 6: Íon carbonato



Fonte: o autor

Figura 7: Íon carbonato



Fonte: VOLLHARDT, Peter; SCHORE, Neil E. Química Orgânica-: Estrutura e Função. Bookman Editora, 2013, p. 46.

A figura 6 é a representação mais distorcida do íon carbonato, porém é a mais intuitiva para associar ao objeto representado. A figura 7 quase não é possível identificar sem especificar o nome do objeto que está representado. É com esse sentido que Hoffman e Laszlo (1991) tratam as virtudes da distorção. Na química, o mais importante não é representar com perfeição o objeto, mas comunicar sua referência na representação de tal maneira que seja clara. Um ponto relevante dado pelo autor está na aplicação da representação dentro da comunidade científica. Enquanto a figura 7 é a mais próxima do objeto ao mesmo tempo que é a mais complexa para uma associação rápida ao objeto representado. Já a figura 6 desfigura totalmente o objeto, porém comunica com maior clareza sua referência. Portanto, é necessário distorcer o representado para comunicar aquilo que desejamos.

Agora pensando em: por que os químicos possuem tantas formas de representar o mesmo objeto? Porque cada representação possui uma função específica para comunicar o conhecimento. Enquanto a figura 6 traz uma pragmática na representação escrita, tornando muito mais fácil a comunicação do objeto sem recorrer a imagens computacionais, ou desenhos que se aproximem da molécula, ela não comunica, por exemplo, a distribuição das cargas na molécula. Para isso a figura 7 é muito mais efetiva, pois podemos enxergar a partir dela os pontos onde há maior concentração da carga negativa (em vermelho), e maior concentração da carga positiva (em verde e azul) localizadas nas extremidades dos átomos de oxigênio e no núcleo da molécula

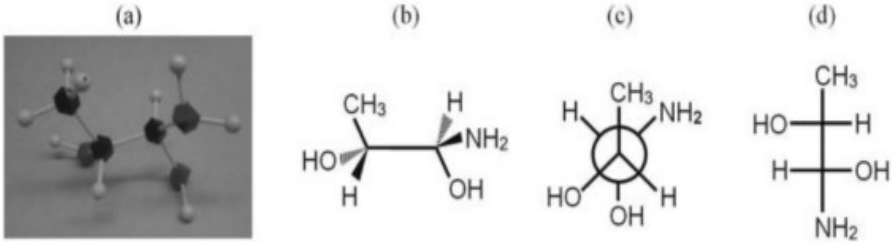
(representado pelo carbono que fica positivo ao doar os elétrons para os átomos de oxigênio).

Com os exemplos dados pudemos elucidar que as representações podem sofrer distorções capazes de torná-las mais adequadas para comunicar o conhecimento. Van Fraassen (2008) compreende que uma distorção tem caráter virtuoso na medida que ela é capaz de comunicar um conhecimento, cumprindo assim seu propósito intrínseco.

3.2 - Analisando um resultado pela epistemologia de van Fraassen

A presente investigação encontrou na revisão da literatura em ensino de ciências uma contribuição potencial da epistemologia de Bas C. van Fraassen para os resultados obtidos por Stull *et al.* (2012). O trabalho dos autores pesquisou a correlação entre as habilidades dos estudantes em traduzir o conhecimento implícito no modelo com as competências necessárias para compreender as representações no ensino de química orgânica. Para isso os autores utilizaram quatro maneiras de representar uma molécula orgânica, e analisaram o processo de tradução dos alunos a partir de um modelo empírico para três diagramas (Fischer, Newman, Traço-Cunha). Os autores declararam três razões para sua pesquisa: 1) testar o grau de compreensão dos alunos a respeito das representações; 2) capacidade dos estudantes em traduzir os modelos convertendo-os alternativamente, ou seja, transformar um diagrama num modelo empírico, e um modelo empírico em um diagrama; 3) diferentes representações são usadas para diferentes propósitos em química, alternar as representações é relevante na área em vista que os especialistas frequentemente alternam entre elas (STULL *et al*., 2012).

Figura 8: (a) Um modelo empírico (bola e palito), (b) Diagrama Traço-Cunha, (c) Diagrama de Newman e (d) Diagrama de Fischer.



Fonte: STULL, Andrew T. et al. Representational translation with concrete models in organic chemistry. Cognition and Instruction, p. 406, 2012.

A pesquisa de Stull *et al*. (2012) fez três dinâmicas para investigação com 153 alunos oriundos da graduação que cursaram a disciplina de química orgânica. A raiz do procedimento experimental consistia em dar aos alunos um modelo empírico de uma molécula orgânica previamente montado, esse é representado na figura 8a. Com o modelo em mãos, a atividade proposta para os alunos direcionava para eles converterem o modelo concreto nos digramas representados em 8b, 8c, 8d. O que é relevante da prática proposta para a presente pesquisa é visualizar que os alunos deveriam manusear o modelo e os diagramas de tal maneira que as representações fossem da mesma substância numa determinada conformação. As três dinâmicas foram semelhantes com a diferença entre elas em relação ao grupo de controle e a orientação. Na primeira, os alunos foram orientados com a explicação sobre cada forma representativa e seu respectivo modelo e receberam os modelos. Já na segunda, havia um grupo que não recebeu os modelos e deveriam solucionar os problemas sem o uso deles. E, na terceira, os alunos ficaram livres para resolver o problema proposto sem uma orientação procedimental, apenas com suporte motivacional e pedagógico quando os alunos não sabiam o que fazer. As observações que eles estavam interessados era coletar dados para correlacionar o uso dos modelos empíricos com o desenvolvimento de habilidades espaciais que promoveriam o aprendizado (STULL *et al*., 2012).

Para nortear a coleta de dados, Stull *et al*. (2012) problematizou alguns interesses investigativos. Um deles que tem uma relevância para a pesquisa e potencial contribuição por Bas C. van Fraassen é: por que os estudantes não usam modelos? A pesquisa dos autores observou que muitos estudantes não manuseavam os modelos empíricos. O resultado que os autores obtiveram corresponde a uma média de 62,2% dos estudantes não terem feito o uso do modelo empírico como esperado. As

entrevistas com eles revelaram que usaram argumentos como não sentirem a necessidade de tais modelos, ou estavam tentando praticar para os exames futuros e nesses não os usariam. Mas, o que chama atenção dos resultados que os autores obtiveram foi uma boa parcela dos estudantes alcançarem um nível satisfatório de tradução do modelo para o diagrama e do diagrama para o modelo. A pergunta em relação a não usarem o modelo refere-se aos alunos não terem feito o uso esperado, ou seja, não manipularam o modelo com intuito de explorar a informação a partir do mesmo (STULL *et al*., 2012).

Stull *et al*. (2012) distinguiram as habilidades em níveis, sendo o mais ingênuo aquele em que o estudante não conseguiu manusear o modelo e produziu um resultado diferente da proposta, ou seja, o modelo e o diagrama não correspondiam entre si. O menos ingênuo em que os alunos conseguiam converter o diagrama e o modelo, mas cometiam erros na construção da molécula tridimensional. O nível mais sofisticado em que os estudantes conseguiam alcançar o resultado esperado, porém cometeram algumas imprecisões na construção do modelo empírico. O nível máximo em que os alunos conseguiam fazer a perfeita conversão entre o modelo e o diagrama sem imprecisões na construção. O resultado dominante foi de os alunos alcançarem um nível mais sofisticado com algumas imprecisões na construção do modelo (STULL *et al*., 2012).

Isso chama atenção, pois van Fraassen (2008a) dá uma resposta em potencial para o resultado. O que concluímos a partir da pesquisa foi que os modelos empíricos desenvolveram habilidades espaciais nos estudantes, conforme os próprios autores relatam que esses alunos que usaram os modelos junto com os digramas obtiveram resultados posteriores melhores nos exames. O resultado dos autores choca com o otimismo de que os modelos empíricos são essenciais para o ensino de ciências, em especial no ensino de química. Se o uso dos modelos empíricos promovesse o melhor resultado, seria justo esperar que os estudantes que fizeram uso do modelo obtivessem o nível mais sofisticado, enquanto os que não recorreram ao modelo empírico obtivesse o nível mais ingênuo. Em contrapartida a essa expectativa, os autores só conseguiram enxergar o impacto dos modelos empíricos no futuro (após a investigação) e mesmo assim não houve uma coleta objetiva capaz de afirmar que o impacto foi em virtude ao uso do modelo empírico. Isso dialoga com van Fraassen

(2008a) no sentido que rejeita o otimismo empirista. O autor ao considerar que os modelos empíricos são instrumentos capazes de promover o conhecimento, mas não representam uma verdade absoluta e universal sobre o mesmo, ele está colocando o positivismo em “xeque”. Pois, segundo o autor, a representação que está presente no modelo incorpora diversos aspectos observáveis e não-observáveis. A representação, para van Fraassen (2008a), é mais relevante na medida que ela é capaz de ser instrumentalizada para explicar o fenômeno por meio de um modelo.

Observamos no resultado de Stull *et al.* (2012) a existência de um possível acontecimento: acreditamos que a parcela significativa dos estudantes que conseguiram alcançar os resultados sem manipularem os modelos, apenas obtiveram seu sucesso por meio da compreensão da representação que estava incutida no modelo. Nem todos utilizam de uma percepção empirista para compreender os fenômenos. Van Fraassen (2007) critica justamente a ingenuidade em acreditar que todo conhecimento só pode ser construído mediante a demonstração empírica. Para o autor, o empirismo é uma posição filosófica concorrente com a posição realista ao analisar uma observação. Isso implica que o empirismo construtivo se articula essencialmente na manipulação do modelo para aprender, e essa articulação é uma posição alternativa às percepções realistas. Consideramos relevante o artigo dos autores, porque eles coletaram dados de uma observação conflitante com correntes empiristas radicais que postulam ideias de um conhecimento puramente construído pelo sujeito e possível apenas pela manipulação. A epistemologia de van Fraassen (2007, 2008a) nos permite compreender que nós não somos inteiramente dependentes da demonstração empírica, nós somos capazes de abstrair o conhecimento de muitas maneiras. A reivindicação do conhecimento científico como algo empírico por van Frassen (2007, 2008a) dá-se pelo fato de que dependemos sim de uma observação que é empírica para construir modelos.

Os resultados de Stull *et al*. (2012) são interessantes para essa pesquisa em vista que nem todos os alunos necessitaram de um intermediário para conseguirem extrair o conhecimento necessário para a realização da atividade. Dentro da nossa perspectiva, isso está diretamente relacionado com o entendimento da representação. Ao olhar para um diagrama traço-cunha é possível enxergar a posição dos átomos numa imagem mental. Se eu precisar mudar a posição dos átomos, eu só preciso

ajustar a posição da sua representação dentro do diagrama e assim eu consigo criar uma nova configuração sem recorrer a um modelo tridimensional. Isso acontece em virtude da compreensão do mecanismo representacional. Uma vez que compreendemos a estrutura que transpõe a informação abstrata (conformação da molécula) em uma representação concreta, somos capazes de configurar a representação sem a necessidade do objeto tridimensional. A epistemologia de van Fraassen (2007, 2008a) defende que somos pragmáticos em relação a isso, em outras palavras significa dizer que ao sermos capazes de observar o fenômeno e explicá-lo por meio do mecanismo, já nos damos por satisfeitos. Os alunos que conseguiram correlacionar o fenômeno conformacional ao diagrama, possivelmente fizeram uso das suas habilidades imaginativas sem dependerem do modelo tridimensional. Talvez eles não tenham formalizado todo esse processo epistemológico no momento da execução, mas de alguma maneira intuitiva eles fizeram essa correlação entre os modelos que estavam em mãos e à conformação da molécula.

Entendemos que van Fraassen (2007, 2008a) coloca um freio em ideias empiristas radicais, e o artigo de Stull *et al.* (2012) corrobora com nossa defesa. O ponto-chave que julgamos ser relevante para o que visamos discutir em seguida é justamente a capacidade de podermos alcançar objetivos por diversos caminhos. Um deles é o empirismo construtivo que não reivindica o absolutismo da experiência para construir o conhecimento, mas que reivindica um modo de se relacionar com o observável sem ignorar as contribuições da metafísica. A crítica que van Fraassen (2007, 2008a) traz ao empirismo ingênuo é interessante, pois nos evidencia um limite na experiência e nos coloca numa posição mais cética a ideia que apenas a manipulação do objeto é capaz de produzir aprendizado.

3.3 - Empirismo construtivo: potenciais implicações para o entendimento do erro no ensino de ciências

Como vimos no capítulo 1, trabalhamos com um movimento pedagógico dentro do ensino de ciências que almeja dar mais ênfase no potencial do erro para o aprendizado em sala de aula. Encontramos na epistemologia de van Fraassen (2007,

2008a) um olhar diferente que tem seu potencial impacto para discutir o erro em sala de aula. Retomemos o contexto de motivação da presente pesquisa: o presente pesquisador ao longo da graduação se incomodou diversas vezes com as contradições entre as práticas experimentais e as projeções teóricas. Havia um aparente conflito que parecia não haver solução, pelo menos para mim. A epistemologia de Bachelard (1996) por um tempo deu respostas interessantes às minhas indagações pessoais. Entretanto, a minha observação é que a epistemologia do autor parece uma metodologia pertinente para questionar o fazer científico dentro de sala de aula tão reivindicado por Collins (2015). Até esse ponto, estou bastante alinhado a enxergar as problematizações da produção científica como um percurso metodológico para incutir outros aspectos não-objetivos da ciência para desconstruir a ideia de uma teoria científica verdadeira sobre o mundo que pode ser universalizada a todos (sem restrições) e absoluta.

Quando estudamos Bachelard (1996), somos capazes de observar que o autor produz uma maneira de problematizar a ciência para incluir os aspectos que não podemos simplesmente verificar no laboratório para demonstrar que a ciência não é tão objetiva quanto acreditava-se que ela era. Achamos essa percepção relevante dado que ao inserirmos os outros aspectos da ciência somos capazes de aprofundar o conhecimento científico. Vimos com brilho nos olhos o trabalho de Bachelard (1996) para tornar visível a complexidade da produção científica como necessária para nos distanciarmos daquilo que não é científico. Algo tão necessário para os momentos atuais. Ao trazermos os aspectos sociais, epistemológicos, ontológicos, históricos, culturais, entre outros por meio dos obstáculos epistemológicos somos capazes de mostrar o que torna a ciência diferente de uma religião. O distanciamento do conhecimento científico para o conhecimento esotérico reivindicado por Shapin (2013) e pelo próprio Bachelard (1996) é importante para distinguirmos os próprios limites do saber científico. Uma vez que compreendemos o que torna o conhecimento científico conseguimos aplicá-lo em nossas interações sociais de maneira mais adequada. Com os obstáculos epistemológicos, Bachelard (1996) rompe com as falsas crenças que fazemos pelo nosso empirismo ingênuo.

A abordagem que Bachelard (1996) propõe para alcançarmos o conhecimento científico tem tanta relevância dentro da comunidade científica quanto dentro da

sociedade. Consideramos que o entendimento que o autor dá para o erro é importante para justamente não cairmos em armadilhas empíricas ingênuas. A complexidade que o autor revela para a construção do conhecimento científico nos tira de uma zona de conforto para que entremos numa lógica problematizadora da observação e imediatamente em seguida façamos uma confrontação com uma projeção teórica. Quando ocorrem os conflitos entre a experiência e a teoria, o autor enxerga nesses uma oportunidade para aprofundarmos o conhecimento a fim de imergimos naquilo que a ciência de fato produz: um conhecimento racional diferente do esoterismo. As colaborações que a epistemologia do autor traz para ciência também são correlacionadas dentro do ensino de ciências que incorpora suas reflexões contextualizando-as dentro da sala de aula.

As implicações pedagógicas trazidas para o ensino de ciências por Astolfi (1999) e Costa (2009) enxergam a epistemologia de Bachelard (1996) como uma abordagem que desconstrói a visão negativa do erro. A correlação dos obstáculos epistemológicos com o ensino de ciências traz uma importante reflexão ao olhar para os erros como um momento oportuno para ensinar o conhecimento científico. A projeção teórica confrontada com o erro em sala de aula torna-se um importante momento para enfrentar as concepções empíricas ingênuas do alunado. Os obstáculos epistemológicos, além de possibilitarem os professores a aproveitarem melhor o erro dentro de sala de aula, oportunizam o aprofundamento das teorias por meio dos outros aspectos que já colocamos. Dessa maneira, Astolfi (1999) e Costa (2009) correlacionaram a epistemologia de Bachelard (1996) com bastante otimismo.

Desbravar os outros aspectos não-objetivos da ciência para o entendimento da teoria científica tem suas virtudes. Quando nos permitimos caminhar nos aspectos que não são mensuráveis em laboratório, conseguimos aprofundar o conhecimento científico para além dos dados empíricos. Saímos daquele estado imobilizado da ingenuidade empírica que generaliza tudo a partir da experiência. Contudo, achamos necessário fazer algumas observações relevantes principalmente quando adentramos no terreno da epistemologia. Bas C. van Fraassen ao produzir sua tese tece uma crítica ao realismo científico do qual decidimos não trazer todos os argumentos para a dissertação em vista que consideramos mais relevante discutir uma rejeição a uma ingenuidade do pensamento realista quando este não faz uma autocrítica. Qual a

rejeição que van Fraassen (2007, 2008a) pondera e consideramos mais relevante discuti-la? “a aceitação de uma teoria científica envolve a crença que ela é verdadeira” (VAN FRAASSEN, 2007, p. 27).

Tal consideração, ao nosso ver, é extremamente relevante quando nos deparamos nos casos em que os alunos nos trazem tanto questões a respeito do observável quanto cometem erros ao imaginarem os modelos. Quando trabalhamos os outros aspectos de um modelo químico, por exemplo, podemos observar que a aquela teoria não é limitada apenas a uma fórmula lógico-matemática. Aquela teoria incorpora o fenômeno mais uma leitura de observação. Essa leitura por sua vez incorpora uma série de fatores que não são demonstráveis logicamente como: crenças, contexto histórico, cultura, controvérsias, entre outras.

O que o enunciado tem a ver com isso e por que consideramos relevante falar de Bachelard (1996) na dissertação apesar de apresentar uma perspectiva contrária? Observamos que a epistemologia do filósofo francês causou grande impacto na filosofia da ciência e vem ganhando espaço dentro do ensino de ciências em particular na química. Trouxemos superficialmente a tese do autor para a dissertação e tentamos fazer uma análise sintética nossa. Achamos interessante a perspectiva de Bachelard (1996) justamente por provocar nos cientistas a refletirem mais sobre o conhecimento científico e sua produção. Quando trazemos essas contribuições para o contexto escolar, colocamos os alunos em contato com os aspectos não demonstráveis da ciência. Mostramos para eles que as ciências naturais e exatas não são apenas demonstrações formais de cálculo. Podemos nos dar por satisfeitos ao mostrar os diversos aspectos da ciência, mas a última consideração que trouxemos até o presente momento de van Fraassen (2007) nos volta a uma posição cautelosa.

Contemplar os diversos aspectos da ciência pode nos dar a falsa sensação de entendimento pleno da teoria e cairmos no enunciado citado. O que trouxemos de van Fraassen (2007, p.27) é um enunciado do qual o autor faz sua crítica. O empirismo construtivo problematiza o observável para mostrar que a ingenuidade empírica nos leva a falsas crenças (vide o positivismo lógico). Problematiza, também, o fim da ciência como um relato universalmente e absolutamente verdadeiro sobre o mundo. Tentamos trazer algumas sínteses da epistemologia de van Fraassen (2007, 2008a) no capítulo 2, e agora estamos tentando correlacionar as virtudes desse modo de olhar o

fim da ciência para uma teoria científica coerente com a produção científica. A adequação empírica proposta por van Fraassen (2007) é uma categoria de pensamento que defende as teorias como empiricamente aceitáveis como o fim (o sucesso) da ciência. É pela teoria ser uma leitura aceita do observável que a ciência ganha sua credibilidade.

Qual contribuição que enxergamos ao compreendermos essa doutrina postulada por van Fraassen (2007)? Quando tratamos dos outros aspectos não-empíricos da ciência, somos capazes de mostrar que ela não é trivial. Com isso somos obrigados a assumirmos o risco de não darmos conta dessa complexidade em sala de aula. A adequação empírica é uma forma de compreender que o fim da ciência não é um relato verdadeiro em absoluto e universal sobre o mundo, mas que seu fim é encontrar uma maneira aceitável de ler o mundo. Com essa compreensão em mente somos capazes de tratar dos aspectos não-empíricos da ciência de tal maneira que podemos não nos comprometer em provar para o aluno que a teoria é verdadeira, mas que estamos comprometidos em mostrar que a leitura dada pela ciência sobre o observável tem sentido.

Nossa dissertação passível de crítica se expõe a indagações como: qual a relevância dessa contribuição para o ensino de ciências em vista que outros autores de epistemologia como o próprio Bachelard (1996) dão considerações relevantes para tratar dos aspectos não empíricos sem cair em armadilhas de tratar a ciência como verdadeira? Bas C. van Fraassen (2007) é um autor empirista que se comprometeu em defender o empirismo e colocá-lo de volta no debate científico. A relevância que enxergamos é justamente pelo autor resgatar o empirismo à controvérsia existente na ciência. Da mesma maneira que podemos tratar dos diversos aspectos da ciência sem cair na armadilhar de estarmos postulando verdades sobre o mundo, pouco se encontra no ensino de ciências tais visões dentro da ala empirista.

A adequação empírica tem suas virtudes para tratar do aspecto epistemológico da ciência para seu objetivo. Compreendendo o objetivo da ciência pelo empirismo construtivo, encontramos a oportunidade de ensinar por meio de um outro modo de olhar a teoria científica. Quando entendemos que o sucesso da ciência é dado pela aceitação da teoria que seus aspectos não-empíricos são adequados para explicar o fenômeno, abrimos a porta de entrada para uma visão empirista em sala de aula. O

empirismo como um todo vem sendo bastante criticado dentro da comunidade científica, e consideramos as críticas justas em vista que toda percepção de mundo dentro do meio científico está passível de crítica. Porém, observamos que algumas visões empiristas que entram no espaço escolar ou reforçam a ideia de uma ciência positiva em constante progresso, ou radicaliza a experiência como única produtora de conhecimento, ou simplesmente não trata do objetivo da ciência (está tentando dar conta de outros problemas). A falta de uma visão centrada que problematiza a experiência dentro do empirismo nos levou a enxergar na adequação empírica um potencial contribuinte para a discussão da ciência em sala de aula.

Quando trouxemos as provocações de Collins (2015) para o ensino de ciências, realmente ficamos indagados com: como ensinar mais do fazer científico por meio de uma abordagem empírica sem cair em armadilhas de uma ciência positivista? Van Fraassen (2007) nos deu uma resposta com sua adequação empírica. Quando pensamos que o experimento científico não é uma experiência aleatória, mas uma produzida para satisfazer um problema, podemos enxergar que tal não é isenta de uma percepção de mundo. A contribuição do empirismo construtivo está no fato que a adequação empírica nos evidencia que podemos criar diversos problemas e diversas teorias capazes de satisfazerem esse problema. E, o que torna as teorias um conhecimento científico é a sua capacidade de serem empiricamente adequadas. A complexidade delas serem empiricamente adequadas reside no fato de trazer a luz os problemas que motivaram a criação dessas teorias. A adequação empírica rompe com a ideia de uma ciência que visa seu sucesso na verdade universal e absoluta. Essa categoria de pensamento retoma a essência do empirismo que está na observação, mas postula que as teorias são aceitáveis na medida que são capazes de dar sentido às observações. O empirismo construtivo não está preocupado em postular uma verdade universal e absoluta sobre a observação, e sim com a capacidade da teoria em responder satisfatoriamente um problema oriundo da observação.

3.3.1 - Pragmática da explicação: preenchendo a teoria de sentido em sala de aula

Autores como Anderson (1986), Gilbert, Boulter e Rutherford (2000), McNeil e Krajcik (2008), Talanquer (2007) trazem reflexões para o ensino de ciências que ponderam a relevância de uma prática científica centrada na investigação e na explicação sobre o fenômeno investigado. Um ponto a ser considerado é olhar para a atividade experimental em sala de aula como um ato investigativo do qual existe um problema para ser investigado e os modelos da teoria são articulados de tal maneira que dão uma explicação para o mesmo. Isso dialoga com os interesses da presente pesquisa em vista que chamam os professores de ciências a refletirem seu objetivo pedagógico. As atividades experimentais ao serem pensadas numa perspectiva investigativa conduzida pelo professor de ciências perdem o viés espetacular (fazer o experimento apenas para chamar atenção do aluno) e ganham um viés mais complexo: investigar um problema e justificá-lo. A justificativa, não é apenas dar uma resposta qualquer, é uma explicação científica pautada em um modelo (ANDERSON, 1986; MCNEIL; KRAJCIC, 2008).

> Todas as explicações fazem uso extensivo de modelos. Isso ocorre porque as últimas são representações simplificadas de aspectos específicos de fenômenos produzidos a fim de facilitar a produção de visualizações que está no cerne de qualquer propósito científico específico. Na verdade, muitas vezes uma explicação é apenas a apresentação verbal de um modelo adequado (GILBERT; BOULTER; RUTHERFORD, 2000, p. 197).

Conforme os autores: Anderson (1986), Gilbert, Boulter e Rutherford (2000), McNeil e Krajcik (2008), Talanquer (2007), os modelos têm relevância dentro do ensino de ciências em vista que com eles os professores conseguem explicar as observações. Os fenômenos podem ser simplificados e seus conceitos construídos em um objeto que faz essa intermediação entre o observável e o teórico. Dessa maneira temos um modelo que podemos discutir em sala de aula. E, podemos utilizá-los para promover o aprendizado dos alunos. Como professores somos capazes de discutir um modelo junto com os alunos e a partir dele justificar uma questão que podemos investigar em sala de aula. Diferindo do ambiente científico "puro e aplicado"[3], o espaço escolar tem uma relação professor-aluno na qual é importante incentivar o conhecimento do fenômeno para saber representá-lo em um modelo (ANDERSON, 1986; GILBERT; BOULTER; RUTHERFORD, 2000; MCNEIL; KRAJCIK, 2008;

3 Aqui faço referência aos espaços específicos como: laboratórios incentivados por programas de pesquisa, centros de pesquisa, laboratórios privados, instituições de pesquisa, entre outros...

TALANQUER, 2007).

> A aprendizagem desta linguagem especializada só pode se tornar significativa quando incorporada nas experiências dos alunos com fenômenos reais, sequenciando do concreto ao abstrato, usando fotografias e instrumentos visuais e invocando o uso de competências metavisuais (GILBERT; TREAGUST, 2009, p. 347, tradução minha).

Jonassen e Strobel (2006) embasam esse pensamento com o argumento que nós seres humanos naturalmente construímos modelos para explicar o mundo. O paralelo que desejamos traçar é a aprendizagem por meio de um instrumento capaz de ser correlacionado com o fenômeno e a partir dele podermos dar uma justificativa para um problema sobre o observável. E, tal correlação é significativa na medida que construímos os modelos paralelamente ao observável e seu problema intrínseco (JONASSEN; STROBEL, 2006). Discutir tal percepção dentro do ensino é relevante em virtude que enfrentamos o esvaziamento de sentido dentro de sala de aula. Quero dizer sobre o esvaziamento de sentido como consequência de uma visão positivista que viciou o ensino de ciências através de um empirismo ingênuo com demonstrações apenas ilustrativas (GIORDAN, 1999; GALIAZZI; GONÇALVES, 2004; HODSON, 1996b, LÔBO, 2012).

Com base nos trabalhos de uma parcela do nosso referencial bibliográfico, podemos concluir que o sentido é construído dentro do aprendizado quando a prática científica trazida para sala de aula é capaz de responder necessidades individuais e/ou coletivas. Em outras palavras queremos dizer que cada sujeito tem seus próprios anseios por conhecimento capaz de explicar o mundo. Essas necessidades não são controláveis em sala de aula e dificilmente mensuráveis em vista que os sujeitos aprendem e aplicam dentro do seu contexto social sob uma percepção de mundo que o mesmo está construindo. As discussões fomentadas e revisadas na presente pesquisa tratam a prática científica dentro da sala de aula como um processo investigativo que necessita da criação de um problema para que os alunos possam investigar junto com o professor. A função pedagógica do professor que assume o compromisso de ensinar ciência se distanciando de visões positivistas e ingênuas dentro do espaço escolar muda de um mero reprodutor do conhecimento científico para um construtor de sentido (JONASSEN; STROBEL, 2006; ANDERSON, 1986; AUSUBEL, 1977; BERLAND et al., 2016; DUCHL, 2008; GILBERT; BOULTER; RUTHERFORD,

2000; KELLY; MCDONALD; WICKMAN, 2012; MCNEIL; KRAJCIK, 2008; TALANQUER, 2007; YANG; TSAI, 2012).

Para esclarecer melhor nossa visão: a perspectiva pedagógica ingênua apenas ensina os modelos que a ciência utiliza por meio de uma abordagem expositiva, ou seja, expõe o conhecimento científico no quadro com pouquíssimas diferenças do que já está incluso nos livros didáticos. Já uma perspectiva pedagógica menos ingênua e embebedada da epistemologia para o fomento da prática científica dentro de sala de aula preocupa-se com a construção do conhecimento e seu sentido. Não basta expor o modelo em um quadro ou demonstrar um experimento, é necessário correlacionar o teórico com o experimental. Para construir tal correlação se imerge em um propósito que preenche de sentido. O propósito é explicar o fenômeno, e os problemas inerentes ao observável. O professor que compreende isso, pode até expor o modelo no quadro ou demonstrar o experimento, mas não se limita a essa ação. O professor provoca o surgimento do problema a ser investigado, e a partir do problema caminha no processo que levará a uma explicação razoável para o problema suscitado (JONASSEN; STROBEL, 2006; ANDERSON, 1986; AUSUBEL, 1977; BERLAND et al., 2016; DUCHL, 2008; GILBERT; BOULTER; RUTHERFORD, 2000; KELLY; MCDONALD; WICKMAN, 2012; MCNEIL; KRAJCIK, 2008; TALANQUER, 2007; YANG; TSAI, 2012).

> Finalmente, uma vez que a habilidade de uma teoria em explicar oferece uma razão clara para aceitá-la, argumentou-se que o poder explicativo é evidência em favor da *verdade* da teoria, evidência especial que vai além de qualquer evidência que possamos ter em favor da adequação empírica da teoria (VAN FRAASSEN, 2007, p. 271).

É discutindo o sentido de uma explicação em sala de aula que encontramos o potencial da *pragmática da explicação* proposta por van Fraassen (2007). Convergindo com os autores que trabalhamos nesta subseção, van Fraassen (2007) argumenta que nós seres humanos temos o anseio por uma explicação capaz de dar uma resposta a um problema que criamos em nossa interação com o mundo observável. A explicação é científica quando aplicamos os princípios fundamentais da ciência para responder esse problema. Em sala de aula quando trabalhamos com modelos produzidos pela ciência deveríamos evidenciar essa relação entre o problema e o poder explicativo do modelo para resolver o mesmo. Pelo menos é isso que Collins (2015) e Gilbert e Treagust

(2009) reivindicam claramente em seus trabalhos. Qual a contribuição de van Fraassen (2007) para isso?

A pragmática da explicação no contexto que construímos ao longo da pesquisa tem relevância pela sua defesa ao poder explicativo de uma teoria como um instrumento de resposta aceitável a um problema. Uma explicação dada por um modelo nada diz sobre uma perfeita correlação entre o observável e a teoria. Uma explicação é o poder de um modelo dar uma resposta com sentido lógico a um problema. As explicações, segundo van Fraassen (2007), são pragmáticas, pois sua virtude é dar sentido a correlação entre o fenômeno e o modelo que o descreve. Uma explicação não é um tipo de demonstração verdadeira sobre o fenômeno, mas tem poder de dar sentido lógico à justificativa do modelo para o fenômeno (VAN FRAASSEN, 2007).

O pragmatismo defendido por van Fraassen (2007) é uma refutação que o mesmo faz a seu próprio ceticismo em relação aos aspectos não-observáveis dos modelos. Como vimos os modelos incorporam diversos aspectos para representarem o mundo. E, van Fraassen (2007) na conclusão de sua tese confessa que aproximadamente metade de sua vida rejeitou com veemência a existência de qualquer aspecto não empírico de uma teoria. O autor afirma que aceitava as regularidades capazes de justificar uma teoria, contudo os elementos que não observamos com nossos sentidos não tinham respaldo empírico para serem creditados como entidades verdadeiras. Em meados dos seus 40 anos ao estudar Tomás de Aquino, o autor passa por um processo de mudança do seu pensamento se tornando menos radical ao potencial explicativo de uma entidade não-observável. A pragmática da explicação é uma correção a ingenuidade do empirismo em crer apenas naquilo que é possível observar empiricamente. O surgimento de entes que não são observáveis capacitam os modelos a serem mais abrangentes do que o fenômeno em si, portanto se tornam relevantes para a ciência (VAN FRAASSEN, 2007).

O ponto interessante é que tal pragmatismo ainda respeita o ceticismo em relação a tais entes. Para van Fraassen (2007), qualquer ente não-observável só será verdadeiro em uma teoria quando tal se tornar observável. Isso se torna menos confuso quando relembramos da hipótese do camundongo. Se não somos capazes de observar o camundongo no fenômeno, sua existência na hipótese apenas dá uma explicação com

sentido para aquilo que observamos. Tal elemento só será verdadeiro tornando a hipótese verdadeira se, e somente se o mesmo se tornar observável. Portanto, se em um novo experimento eu conseguir observar empiricamente o camundongo, posso concluir que de fato havia um camundongo andando pela noite em minha casa.

O problema nesse pensamento que o autor corrige com sua tese é: se só podemos afirmar que um elemento existe e é verdadeiro se formos capazes de observá-lo empiricamente com nossos sentidos, seria lógico aceitar que elementos não-observáveis e impossíveis de serem observados empiricamente como elétrons, prótons, campos gravitacionais, entre outros são reais? Aqui é onde van Fraassen (2007) encontrou o problema do empirismo ingênuo. Se eu disser que não acredito em unicórnios, a afirmação terá ampla aceitação cientificamente falando, uma vez que nunca se observou um unicórnio. O fato de nenhum unicórnio ter sido observado nada diz sobre sua verdadeira existência, mas é razoável aceitar que a regularidade da observação que culmina na nunca observação de um unicórnio dá sentido a não crença em sua existência. O autor compreendeu que analogamente podemos transpor para as entidades não-observáveis. Eu posso nunca ter visto um elétron, sendo que uma vez que sua existência explica as regularidades encontradas em uma série de experimentos, é aceitável acreditar que ele é real, porque ele dá sentido ao fenômeno. A negação do unicórnio como um objeto real e empírico explica o fenômeno dele nunca ter sido observado por alguém. Portanto, todo aspecto não-observável de um modelo poderá ser controverso em sua existência no mundo real. Pois, para que possamos enfaticamente afirmar que ele existe, seria necessário observá-lo. Todavia, o fato de sua existência mesmo que controversa atribuir sentido ao modelo, temos uma boa razão para aceitar que o não-observável é real. E, assim somos capazes de concluir que o modelo tem suas virtudes para a ciência (VAN FRAASSEN, 2007).

Agora tentando correlacionar o que toda essa elocubração contribui para o ensino. Enfrentamos um desafio dentro da sociedade como aponta Shapin (2013) que é a utilização da ciência como se ela fosse a verdade universal e absoluta sobre o mundo. Como se a ciência fosse capaz de nos ditar as regras que devemos viver como uma doutrina religiosa. O pragmatismo de van Fraassen (2007) refuta justamente essa ideia de que a ciência postula uma verdade quando a mesma é capaz de explicar um fenômeno. A ciência responde um problema, e pode respondê-lo de diversas maneiras.

Pois, o que a ciência produz não é uma explicação única para o mundo. A ciência produz uma explicação capaz de satisfazer um anseio por resposta através de um modelo. Dado que o sucesso da ciência é a produção de um modelo capaz de explicar o fenômeno sob uma percepção de mundo, não poderíamos utilizá-la como se seu objetivo fosse postular verdades únicas sobre o mundo. A meu ver, o pragmatismo de van Fraassen (2007) responde o problema levantado por Shapin (2013), e a relevância para o ensino de ciências é que o pensamento do autor é uma percepção empirista. O diferencial de toda essa discussão é a proposta do autor ser enviesada em uma ótica de raiz empirista. A correção que o autor faz em cima do empirismo ingênuo é dada pelo próprio pensamento empirista.

Outro ponto relevante que consideramos adequado para o ensino de ciências é o fato da pragmática nos permitir focar no sentido desses aspectos não-observáveis presentes na teoria. Diferentemente do pragmatismo pelo pragmatismo, somos capazes de contemplar dentro dessa categoria de pensamento uma maneira de simplificar o que tem potencial complexo de uma teoria. Dentro da sala de aula encontramos diversos desafios que já citamos no capítulo 1, a pragmática da explicação nos dá subsídio para enfatizarmos no sentido que os aspectos não-observáveis dão às teorias. Encontramos muitas dificuldades em demonstrar diversos experimentos capazes de tornar as teorias mais empíricas. A pragmática da explicação reduz o peso da demonstração como verdadeira, e nos leva a refletir mais sobre o sentido daquilo que desejamos observar.

3.3.2 - Distorções virtuosas: outra maneira de olhar o erro?

Começamos a dissertação no capítulo 1 com uma reflexão sobre o erro. Visamos inicialmente tratar das contradições entre as projeções teóricas e as observações empíricas que nos dão a sensação de existir algum erro entre teoria e prática. Fizemos algumas pontuações que julgamos ser relevante a respeito da tese de van Fraassen (2007, 2008a), mas agora trataremos daquilo que entendemos ser mais interessante para essa pesquisa. Entendemos que o autor nos dá outra maneira para olharmos o conflito entre a observação e a teoria. Há sim um anseio pessoal que foi

muito bem satisfeito com a dissertação do autor, e acredito que ela tem potencial para ser contemplada por outros profissionais.

O meu anseio ao longo dos últimos anos foi compreender o porquê determinadas teorias “falham” nas práticas experimentais, e principalmente como dar uma boa resposta para os alunos. Compreender a razão das teorias falharem não foi um processo trivial, e ao me deparar com a epistemologia de Bachelard (1996) encontrei um instrumento que me possibilitou vislumbrar estratégias para lidar com ela em sala de aula. Estratégias que capacitam o aprofundamento da teoria em sala de aula. Contudo ainda necessitava, pelo menos no âmbito pessoal, de uma resposta que desse sentido para haver uma contradição entre as projeções teóricas e o excesso de falhas experienciadas no laboratório. Há uma diferença entre você não obter exatamente o resultado projetado e você obter sucessivos resultados completamente diferentes. Não obter o resultado projetado é plausível quando entendemos que o resultado muda de lugar para lugar, de instrumento para instrumento, de procedimento para procedimento. Mas, não haveria sentido “controlar” os fatores que condicionam os resultados e mesmo assim obter resultados discrepantes. Os limites laboratoriais não poderiam ser a única justificativa para resultados divergirem dos projetados pela teoria.

A revisão da obra A *imagem científica* e *Representação científica: paradoxos de perspectiva* do autor Bas C. van Fraassen me permitiu dar uma resposta para meu anseio pessoal. As distorções virtuosas, categoria de pensamento defendido na segunda obra mencionada do autor, tem um caráter epistemológico valioso para responder o problema estudado por Bucat e Mocerino (2009). Por justamente encontrar resposta para pesquisas já investigadas no ensino de ciências que acredito que a tese do autor tem seu valor para nossa área de pesquisa. Portanto, acredito que o trabalho tem potencial para contemplar outros pesquisadores e professores de ciências.

Retomemos ao estudo de Bucat e Mocerino (2009), os aspectos mais relevantes já foram ditos no capítulo 2. Agora precisamos tratar da essência que os autores investigam e minha experiência me leva a estar de acordo. Os autores trazem para o ensino de ciências as múltiplas explicações que tanto alunos e professores dão para as representações da molécula do benzeno e as suas correlações com a TLV e a TOM. Essencialmente aquilo que Bucat e Mocerino (2009) observaram é a complexidade dessa relação entre a teoria e a representação que ao ser explicada não soluciona

problemas, mas cria novos problemas. Explicar uma representação da molécula não deu um entendimento mais profundo do objeto, apenas criou um novo problema para outra teoria. Tendo em vista tal observação, os autores discutem a complexidade da transposição da realidade do não-observável para um modelo observável dentro de sala de aula.

Bucat e Mocerino (2009) fazem uma crítica ao pragmatismo empírico como argumento de autoridade. Dado a observação empírica seria adequado reduzir o conhecimento à evidência como se o fato em si fosse autoevidente. Os autores rejeitam essa ideia com o argumento que ela é um instrumento de fuga para não lidar com a complexidade da transposição do inobservável para o modelo observável. Os autores assumem uma visão realista para tratar dessa transposição (BUCAT; MOCERINO, 2009). As distorções virtuosas são uma categoria de pensamento concorrente que visa tratar da transposição da realidade não-observacional para uma realidade observacional. Van Fraassen (2007, 2008a) defende que a essência do conhecimento é empírica em virtude que a base de um modelo é a observação empírica. Se observar é uma ação empírica, e partindo que o modelo é construído a partir da observação, logo o autor compreende que a natureza do conhecimento científico é empírica. E, van Fraasen (2008a) defende uma percepção empírica concorrente à visão dos autores para tratar do problema da transposição.

As distorções virtuosas são outro instrumento para compreender a função de um modelo. O modelo, sob a perspectiva de van Fraassen (2007, 2008a), cumpre um propósito comunicativo. A comunidade científica se comunica através dos modelos que são capazes de incorporar os aspectos observacionais e não-observacionais de um fenômeno. Para o autor, o primeiro objetivo de um modelo não é ser uma cópia do fenômeno, a primeira função de um modelo é: representar um fenômeno para um propósito. Propósito esse que visa transpor o fenômeno real em um objeto empírico (observacional) capaz de ser manipulável. A capacidade de podermos construir modelos mais amplos que a observação move a ciência para seu sucesso. Ou seja, quanto mais capaz um modelo for de responder problemas observacionais, mais bem sucedido ele é na comunidade científica. Contudo, para que possamos construir esse modelo capaz de ser bem sucedido, necessitamos distorcê-lo do fenômeno.

A contradição entre o modelo empírico e o fenômeno representado é uma

necessidade. É necessária, pois cumprir um propósito diferente da simples observação requer incorporar outros elementos que são externos ao fato em si. Uma vez que eu incorporo tais elementos que não são o fato em si, eu provoco uma distorção na representação. Sendo assim, o modelo não é exatamente aquilo que eu observo. O modelo se torna um novo objeto empírico que agora é capaz de cumprir um novo propósito diferente do fato em si. As distorções são virtuosas porque elas não prejudicam a observação. Distorcer a perfeita correlação do modelo ao observável é uma ação que somos incapazes de fugir. Somos incapazes porque nossa intenção não é representar o fenômeno em si, nossa intenção é comunicar o conhecimento a partir do modelo. É factual que o modelo incorpora os aspectos observacionais do fenômeno, mas ele não representa apenas isso. Por isso van Fraassen (2008a) torna-se um autor relevante para a vertente empirista. Pois, o que o autor corrige no empirismo ingênuo é a falsa crença que podemos reduzir o conhecimento científico à simples observação. Os modelos representam sim o fenômeno, mas não apenas isso. E, justamente por incorporar outros aspectos que não são o fato em si que os modelos científicos se tornam relevantes para a ciência.

Quando somos capazes de incorporar outros aspectos diferentes do fato em si, somos capazes de ampliar a capacidade comunicativa do modelo. Ampliar essa capacidade comunicativa do modelo permite o mesmo a ser utilizado para diferentes propósitos. Um deles que trabalhamos nessa pesquisa é a explicação. Os modelos por serem capazes de comunicar um conhecimento a respeito do observável acarretam um potencial explicativo. Utilizamos esse potencial explicativo para responder nossos anseios pessoais por conhecimento racional assim como o utilizamos para comunicar para os outros. A reflexão do autor é pertinente conforme discute a importância de compreender a função comunicativa do modelo.

Tanto Bucat e Mocerino (2009) quanto Hoffman e Laszlo (1991) tratam a química como uma ciência que se comunica por meio de representações. Os modelos permitem e estimulam a propagação do conhecimento químico. As distorções virtuosas de van Fraassen (2008a) nos leva a olhar com mais ênfase a função do modelo e o que desejamos comunicar. Isso nos faz vislumbrar um outro olhar para lidar com as contradições entre a teoria e prática. Pois, ao invés de olharmos para a contradição e tentarmos justificá-la somos levados a refletir o que desejo comunicar? As distorções

existentes entre o modelo e o objeto observacional são explicáveis conforme estamos atentos a função explicativa do modelo. Retomando todas as figuras que trouxemos para a pesquisa, nenhuma delas sob a perspectiva de van Fraassen (2008a) estão falando do objeto em si, elas estão falando de uma teoria que as projetam. A projeção teórica nada tem a ver com a perfeita correlação ao objeto, mas como vimos cada projeção tem um potencial comunicativo e virtudes aplicáveis.

As distorções virtuosas me deram essa resposta como apontei inicialmente meu anseio pessoal que foi respondido ao longo da pesquisa. A contradição entre a observação e a teoria não é um conflito, é uma consequência das diferentes funções cumpridas entre a ação experimental e a teoria. Conforme van Fraassen (1994a) argumentou que o empirismo não é teorizar o experimento, isso o torna diferente das tradições positivistas do empirismo. O empirismo é uma postura diante da realidade observacional. Portanto, seu compromisso é defender a observação empírica como a raiz da produção do conhecimento científico. E, todo e qualquer aspecto não observável é justificável uma posição cética em relação ao mesmo. Para finalizar o pensamento, as distorções virtuosas são o produto da tese de van Fraassen (2008a) que corrige a ingenuidade do empirismo em acreditar que o conhecimento científico é reduzível a observação empírica.

As distorções virtuosas são um instrumento utilizado pelo autor para contemplar os aspectos não-observacionais dentro de um modelo. Com isso, van Fraassen (2008a) torna-se capaz de trazer o empirismo de volta para a controvérsia científica. Esclarecendo o que isso traz de produto para o ensino de ciências: pensemos que como professores nós ensinamos os modelos científicos. Podemos ensinar tais modelos de diversas maneiras sob diversas perspectivas e agora temos outra categoria de pensamento de natureza empirista para tratar do erro em sala de aula. O trabalho do autor tem implicação no ensino de ciências na medida que somos capazes de direcionar nossa explicação para as “falhas” entre a observação experimental e a projeção teórica sob uma percepção empirista construtiva.

3.4 - Uma epistemologia de natureza empírica concorrente

O trabalho de Greca e Freire Jr. (2011) nos traz uma reflexão a respeito do ensino das teorias quânticas, essa nos permite a concluir nossos resultados. A maior relevância que encontramos em nossos resultados é uma proposta de natureza empirista que consegue ter uma visão dialética entre sujeito e objeto do conhecimento. Também, entendemos que o realismo crítico e o empirismo construtivo (que também considera a dialética) não são categorias incompatíveis. Não almejamos nessa pesquisa tratar do empirismo construtivo como uma solução única e definitiva para os problemas epistemológicos no ensino de ciências. Acreditamos que ele resolve alguns problemas do empirismo ingênuo dentro de uma postura em relação a realidade empírica. Um ganho que a epistemologia defendida por van Fraassen (2007, 2008a) traz é a apresentação do empirismo construtivo como um modo de observar a realidade empírica. Certamente não é o único autor a fazer isso, porém ao tratar o empirismo como uma postura cética em relação aquilo que não é empiricamente observável pelos nossos sentidos, o autor contempla mesmo que indiretamente uma parcela de professores e alunos que questionam se os elementos inobserváveis realmente existem.

O empirismo construtivo nos embasa com categorias de pensamento capazes de dar uma explicação convincente em sala de aula. O diferencial dessa epistemologia é sua natureza empírica pautada nas raízes filosóficas que está muito apagada na área de ensino. O empirismo está muito longe de estar apagado no ensino de ciências, mas está difundido ideias que estão presas no passado do positivismo. E, o empirismo menos positivista está difundido as ideias construtivistas cujas raízes estão nas teorias cognitivas e seus desdobramentos. O empirismo fundamentado nas raízes aristotélicas que rejeitava o mundo das ideias de Platão pouco está visível no ensino de ciências. E, se está pouco visível, provavelmente está pouco sendo utilizado.

Van Fraassen (2007, 2008a) corrige a ideia de que o único conhecimento válido e verdadeiro é aquele que pode ser demonstrado empiricamente. A principal reivindicação do autor para o empirismo é a postura cética em relação aquilo que não pode ser demonstrado empiricamente. Tudo aquilo que não é empiricamente observável pelos nossos sentidos não pode ser reivindicado como um fato verdadeiro. Pois, se algo que não é observável existe, só existe porque eu creio que ele existe. A existência do que não é observável é uma posição de fé. O compromisso da ciência, segundo o autor, não é provar o que não é observável. E, sim criar modelos capazes de

responder um problema em uma observação.

Os modelos são criados incorporando os dois aspectos do mundo: o observável e o não-observável. Conforme a ciência cria tais modelos, ela os ajusta de tal maneira que o mesmo seja capaz de dar sentido para a observação. Com esse modo de pensar, van Fraassen (2007, 2008a) corrige outra ingenuidade do empirismo: rejeitar todo e qualquer aspecto não-observável como conhecimento científico. Uma vez que tais aspectos são incorporados dentro do modelo e contribuem para uma boa explicação capaz de preencher de sentido a ação, é aceitável considerar sua relevância para a ciência. Quando eu realizo uma observação inerentemente haverá um problema de interesse. A existência do inobservável é capaz de preencher de sentido tal observação, portanto a atividade científica não está limitada a demonstrar e/ou descrever apenas o que é observável.

A epistemologia de van Fraassen (2007, 2008a) tornou-o um filósofo da ciência bastante relevante na comunidade científica. Não é à toa que o mesmo recebeu o prêmio Lakatos para seu trabalho publicado que foi referência para essa pesquisa. O autor foi capaz de corrigir as ingenuidades do empirismo e ao mesmo tempo conseguiu tecer sua crítica ao realismo ingênuo. E, sua maior contribuição para o ensino de ciências até o presente momento sob meu ponto de vista é sua tese que olha para a atividade experimental - tão necessária e reivindicada - como uma ação que pode ser empiricamente teorizada. O empirismo construtivo não reduz a prática empírica a mera demonstração, ou a mera descrição como prática científica. A epistemologia do autor explora a relação do modelo com a observação focando no sentido explicativo que o mesmo dá para esta ação.

A raiz filosófica que van Fraassen (2007, 2008a) está imerso coloca sua epistemologia em uma posição de concorrência. Tornando o debate da ciência controverso. Olhando para a pluralidade do pensamento que deve existir no ensino de ciências e entendendo que a ciência não é um caminho único, somos levados a creditar ao autor um potencial pedagógico em sua epistemologia. Quando Greca e Freire Jr. (2011, p.369) criam o problema: “qual é a melhor interpretação ou quais interpretações apresentar?” fazendo referência ao ensino de teorias quânticas cujas particularidades já abordamos. Greca e freire Jr. (2011) concluem que mais importante do que encontrar a melhor vertente metodológica de ensino ou a melhor interpretação epistemológica da

teoria, é ensinar uma teoria que tenha sentido dentro de sala de aula. Gilbert e Treagust (2009) também reivindicam o mesmo ponto, argumentando que a maior carência atual no ensino de ciências é o ensino de uma teoria repleta de sentido. As categorias de pensamento que trouxemos do autor dão sentido a uma abordagem de natureza empirista que pode ser refletida em sala de aula. Dessa forma acreditamos no potencial pedagógico do empirismo construtivo.

Considerações Finais

A presente pesquisa tentou responder ao problema: quais as contribuições do empirismo construtivo com potenciais implicações no ensino de ciências? Entendo que a investigação conseguiu dar uma resposta para esse problema. Analisar as categorias de pensamento de van Fraassen (2007, 2008a) permitiu vislumbrar uma visão de natureza empirista construtiva mais adequada em relação às tendências positivistas ainda encontradas nos dias atuais. Entendo que essa adequação contribui para o ensino de uma ciência mais coerente com a prática científica. Quando o autor critica o empirismo mostrando os limites da observação e refutando o objetivo da ciência em dar uma resposta verdadeira, universal e absoluta para um problema, podemos compreender uma ciência que não é doutrinária. Se a ciência não é uma resposta verdadeira, universal e absoluta, então o que a ciência produz afinal? Vislumbramos então a *adequação empírica* como uma proposta do autor para defender o que a ciência produz: um conhecimento confiável.

As relações que fizemos em nossa pesquisa encontrou nas categorias de pensamento de van Faassen (2007, 2008a): adequação empírica, pragmática da explicação e distorções virtuosas são subsídios epistemológicos que fundamentam a vertente empirista construtiva em uma potencial aplicação mais adequada em sala de aula. Se ao longo da pesquisa apresentamos críticas a uma visão empirista ingênua que postula a ciência como produtora da verdade universal e absoluta, poderíamos cair numa armadilha tão problemática quanto de defender uma ciência totalmente relativizada à experiência subjetiva. Ora seríamos anticientíficos ao fazer isso. Em contrapartida, a tese do autor nos leva a olhar novamente para a objetividade da ciência procurando analisar as teorias em cima dos fatos. A pragmática da explicação não é uma simples resposta que dá sentido à observação. O autor defende que somos pragmáticos ao responder um problema, em outras palavras é dizer que buscamos a resposta que dá mais sentido lógico a um problema. E, somos pragmáticos nessa avaliação. Uma vez que a resposta satisfaz o contexto, ela nos convence que fomos capazes de responder o problema. Na medida que tais respostas se tornam mais convincentes – conseguem satisfazer as críticas -, mais elas se tornam relevantes

dentro da ciência e ganham força na comunidade acadêmica.

A pragmática da explicação tem um ponto interessante que pode ser refletido no ensino de ciências. Este ponto que nos leva a olhar mais para o sentido da nossa resposta no contexto da investigação. Mais importante do que descrever o fenômeno ou demonstrar o conhecimento verdadeiro é dar uma resposta com sentido lógico ao problema. Isso é uma correção ao empirismo ingênuo que pode nos levar a pensar muito mais no sentido da teoria e qual seu problema investigativo intrínseco que estamos tentando construir em sala de aula. Corrigir as visões não mais adequadas para a ciência em sala de aula também é importante quando nos deparamos com um cenário de pseudociência ganhando espaço e visibilidade. A categoria de pensamento que estamos falando corrige justamente o entendimento empírico ingênuo que o fato é autoexplicativo. O fato é a base de um modelo científico, mas não é uma resposta autoexplicativa. Isso nos leva a pensar mais em aulas que explorem o sentido de uma teoria e o que ela responde para os cientistas do que aulas que apenas demonstrem a experiência.

As distorções virtuosas, terceira categoria de pensamento de van Fraassen (2008a), apresentou-se como uma outra maneira de olhar o erro. Inicialmente nos interessamos em refletir sobre o erro em aulas experimentais. Quando o experimento destoa da projeção teórica, como lidar com essa situação em sala de aula? As distorções virtuosas nos permitiram elucidar as contradições existentes entre a teoria e a prática como necessárias para a criação do modelo. Entender a função explicativa da distorção diverge da ideia negativa que poderia haver entre a contradição teoria *versus* prática. As distorções virtuosas ao invés de olhar a contradição como um erro que coloca uma disputa entre teoria e prática, ela olha para ambas e observa uma diferença de objetivos. Enquanto o fenômeno é o aspecto observável onde nasce o problema investigativo, o modelo é a criação da ciência que visa dar uma resposta a tal problema. As diferenças de papéis entre o empírico observável e a projeção teórica estabelecem uma contradição que é entendida como natural sob a perspectiva das distorções virtuosas. É natural em vista que as funções por serem diferentes ajustam os modelos para que eles sejam empiricamente adequados, ou seja, que não sejam cópias exatas, mas que sejam representações capazes de ser correlacionáveis com o fenômeno. O compromisso do modelo não é ser o fenômeno, mas incorporar o aspecto

observável desse. Distorcer é virtuoso, porque capacita o modelo a representar mais do que o aspecto empírico para cumprir uma outra função que não é cumprida pelo fato em si.

A maior contribuição que podemos observar nas distorções virtuosas é a capacidade de dissertar um modelo que tem uma outra função que não é somente representar o observável. Observar a função do modelo na teoria reverbera em pensar uma aula que fale mais disso do que a descrição teórica. Uma aula que explore o sentido do modelo na teoria do que apenas projetar um esquema no quadro capaz de representar o que foi observado. Isso nos permite a pensar em outras respostas que são diferentes de rotular um erro como se houvesse uma disputa entre o certo e o errado quando se olha para a teoria e a prática.

O processo investigativo culminou numa reflexão geral sobre as contribuições do empirismo construtivo para o ensino de ciências. Analisando de modo geral, compreendendo algumas limitações que me deparei no processo investigativo, a contribuição que enxergamos com mais clareza na epistemologia de van Fraassen (2007, 2008a) é a concorrência com outras vertentes epistemológicas. Com isso quero dizer que o processo investigativo resultou numa conclusão - pelo menos nesse "pioneirismo" - que a maior relevância da pesquisa para a área do ensino de ciências é a apresentação do empirismo construtivo como uma alternativa epistemológica capaz de concorrer com outras. A leitura empirista construtiva que van Fraassen (2007, 2008a) faz sobre a investigação científica coloca sua epistemologia em uma posição de concorrência com outras. Concorrência que se apresenta como uma alternativa de natureza empirista capaz de investigar dentro de sala de aula com o único compromisso em ajustar modelos aos fenômenos para que eles sejam capazes de dar explicações com sentido.

A investigação de Greca e Freire Jr. (2011) e Gilbert e Treagust (2009) contribuiu bastante com nossa conclusão. Os autores defenderam em ambos os artigos que a maior carência no ensino de ciências para ensinar teorias, em especial as teorias quânticas em vista suas particularidades, é dar sentido a elas em sala de aula. O empirismo construtivo reforma o empirismo clássico dando sentido para o mesmo após as críticas de natureza metafísica. Com isso van Fraassen (2007, 2008a) constrói um empirismo menos ingênuo que as tendências empíricas positivistas. Diminuir a

ingenuidade do empirismo para explorar uma teoria que tenha mais sentido do que a mera observação para provar algo satisfaz – pelo menos a meu ver - o anseio suscitado por Greca e freire Jr. (2011) e Gilbert e Treagust (2009). Analisar as teorias em sala de aula por uma ótica empirista construtiva tem potencial de dar sentido mais satisfatório para a nossa realidade escolar. Os autores defenderam que a percepção sobre a realidade observável antecede o ensino da teoria, e por isso mais importante que buscar a melhor teoria, ou a melhor interpretação, o ensino de ciências ganha mais quando o professor compreende a teoria que ele está ensinando. E, Bas C. van Fraasen nesse contexto nos subsidia com o empirismo construtivo que almeja interpretar os modelos diferentemente da metafísica utilizada pelos realistas.

A concorrência defendida por van Fraassen (2007) dialoga diretamente com os interesses da ciência que defendem a controvérsia, em vista que o empirismo construtivo é uma proposta concorrente ao realismo. Concorrência que torna a ciência controversa. Uma ciência que não é construída em uma direção única, mas uma ciência que é composta por várias orientações que criam e analisam modelos capazes de explicar o observável. E, acredito que o "ouro" dessa pesquisa é justamente a controvérsia que coloca um empirismo menos ingênuo de volta ao debate na ciência. Inicialmente tínhamos interesse em apresentar algo que pudesse servir de referência para professores de ciências, em especial os professores de química. Mas, os desdobramentos da pesquisa nos levaram a enxergar que a contribuição dissertada em nossa conclusão é mais relevante nesse momento "pioneirístico" da pesquisa. Digo pioneiro no sentido que a falta de trabalhos construindo relações entre a epistemologia do autor com o ensino de ciências é um desafio no momento atual para qualquer investigação do empirismo construtivo no ensino de ciências.

A partir das nossas atitudes ao longo da pesquisa, entendemos que estamos contribuindo para a área, fornecendo uma pesquisa que tentou relacionar o empirismo construtivo e o ensino de ciências. Uma pesquisa que pode servir de referência para o próprio pesquisador quanto outros que desejam tratar o empirismo em sala de aula em uma perspectiva menos ingênua. As pesquisas futuras, sob meu ponto de vista, são interessantes na medida que tratarem de potenciais aplicações metodológicas em sala de aula ou até mesmo aprofundando ainda mais o debate teórico da epistemologia no ensino de ciências. E, investigando o impacto dessa perspectiva no aprendizado dos

alunos.

Referências

ADÚRIZ-BRAVO, Agustín. A ‘semantic’view of scientific models for science education. **Science & Education**, v. 22, n. 7, p. 1593-1611, 2013.

ANDERSSON, Bjorn. Pupils' Explanations of Some Aspects of Chemical Reactions. **Science education**, v. 70, n. 5, p. 549-63, 1986.

ASTOLFI, Jean Pierre. **El “error”, um medio para enseñar**. 1 ed. Sevilla: Díada editora, 1999.

ATKINS, Peter; JONES, Loretta. **Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2012.

AUSUBEL, David P. The facilitation of meaningful verbal learning in the classroom. **Educational psychologist**, v. 12, n. 2, p. 162-178, 1977.

BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996. 316 p.

BERLAND, Leema K. et al. Epistemologies in practice: Making scientific practices meaningful for students. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 53, n. 7, p. 1082-1112, 2016.

BELLOS, Alex. **Alex no país dos números**. São Paulo: Companhia das Letras, 2011.

BODNER, George M. Constructivism: A theory of knowledge. **Journal of chemical education**, v. 63, n. 10, p. 873, 1986.

BOOTH, Julie L.; SIEGLER, Robert S. Developmental and individual differences in pure numerical estimation. **Developmental psychology**, v. 42, n. 1, p. 189, 2006.

BRAGA, Marco Antonio Barbosa; GUERRA, Andreia; REIS, José Claudio. O papel dos livors didáticos franceses do século XIX na construção de uma concepção dogmática-instrumental do ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 507-522, 2008.

BUCAT, Bob; MOCERINO, Mauro. Learning at the sub-micro level: Structural representations. In: **Multiple representations in chemical education**. Springer, Dordrecht, 2009. p. 11-29.

CACHAPUZ, António et al. A necessária renovação do ensino das ciências. São Paulo: Cortez, 2005.

COLLINS, Harry. Can we teach people what science is really like?. **Science Education**, v. 99, n. 6, p. 1049-1054, 2015.

COOPER, Melanie M.; STOWE, Ryan L. Chemistry education research—From personal empiricism to evidence, theory, and informed practice. **Chemical Reviews**, v. 118, n. 12, p. 6053-6087, 2018.

COSTA, Conceição Sousa. **O erro no processo ensino-aprendizagem de ciências no nível fundamental**. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das

Ciências), Universidade Federal da Bahia. Salvador, p. 120. 2009.

DE MELLO ARRUDA, Sergio; VILLANI, Alberto. Mudança conceitual no ensino de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 11, n. 2, p. 88-99, 1994.

DUSCHL, Richard. Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic, and social learning goals. **Review of research in education**, v. 32, n. 1, p. 268-291, 2008.

GALIAZZI, Maria do Carmo; GONÇALVES, Fábio Peres. A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em química. **Química Nova**, Vol. 27, No. 2, p. 326-331, 2004.

GIERE, Ronald N. How models are used to represent reality. **Philosophy of science**, v. 71, n. 5, p. 742-752, 2004.

GIERE, Ronald N. et al. Why scientific models should not be regarded as works of fiction. In **Mauricio Suárez (ed.), Fictions in Science: Philosophical Essays on Modeling and Idealization**. Routledge. 2009, p. 248--258.

GILBERT, John K.; BOULTER, Carolyn J.; RUTHERFORD, Margaret. Explanations with models in science education. In: **Developing models in science education**. Springer, Dordrecht, 2000. p. 193-208.

GILBERT, John K.; TREAGUST, David. **Multiple representations in chemical education**. Dordrecht: Springer, 2009.

GILBERT, John K.; JUSTI, Rosária. **Modelling-based teaching in science education**. Basel, Switzerland: Springer international publishing, 2016.

GIORDAN, Marcelo. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química nova na escola**, v. 10, n. 10, p. 43-49, 1999.

GONÇALVES, Fábio Peres; MARQUES, Carlos Aberto. Pesquisas e publicações acerca da experimentação no ensino de química. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, n. 1, p. 181-204, 2012.

GRECA, Ileana M.; FREIRE JR, Olival. Ênfase conceitual e interpretações no ensino da Mecânica Quântica. In: **Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais**, p. 359, 2011.

GREENBERG, Arthur. **Uma breve história da química: da alquimia às ciências moleculares modernas**. São Paulo: Editora Blucher, 2010.

GREENO, James G.; HALL, Rogers P. Practicing representation: Learning with and about representational forms. **Phi Delta Kappan**, v. 78, p. 361-367, 1997.

HALE, Harrison. The history of chemical education in the United States from 1870 to 1914. **Journal Chemical education**, v. 9, n. 4, 1932.

HARMAN, Gilbert H. The inference to the best explanation. **The philosophical review**, v. 74, n. 1, p. 88-95, 1965.

HODSON, Derek. Rethinking the role and status of observation in science education. **European Education**, v. 28, n. 3, p. 37-57, 1996a.

HODSON, Derek. Laboratory work as scientific method: Three decades of confusion and distortion. **Journal of Curriculum studies**, v. 28, n. 2, p. 115-135, 1996b.

HOFFMANN, Roald; LASZLO, Pierre. Representation in chemistry. **Angewandte**

Chemie International Edition in English, v. 30, n. 1, p. 1-16, 1991.

IZQUIERDO-AYMERICH, Mercè. School chemistry: An historical and philosophical approach. **Science & Education**, v. 22, n. 7, p. 1633-1653, 2013.

JONASSEN, David H.; STROBEL, Johannes. Modeling for meaningful learning. In: **Engaged learning with emerging technologies**. Springer, Dordrecht, 2006. p. 1-27.

JUSTI, Rosária. La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, p. 173-184, 2006.

KELLY, Gregory J.; MCDONALD, Scott; WICKMAN, Per-Olof. Science learning and epistemology. In: **Second international handbook of science education**. Springer, Dordrecht, 2012. p. 281-291.

KNUUTTILA, Tarja; BOON, Mieke. How do models give us knowledge? The case of Carnot's ideal heat engine. **European journal for philosophy of science**, v. 1, n. 3, p. 309, 2011.

KOZMA, Robert et al. The roles of representations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry learning. **The Journal of the Learning Sciences**, v. 9, n. 2, p. 105-143, 2000.

LABURÚ, Carlos Eduardo; BARROS, Marcelo Alves; KANBACH, Bruno Gusmão. A relação com o saber profissional do professor de Física e o fracasso da implementação de atividades experimentais no Ensino Médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 3, p. 305-320, 2007.

LAVOISIER, A. L. **Tratado Elementar da Química: Apresentado em uma ordem nova e segundo as descobertas modernas**. São Paulo: Madras, 2007.

LÔBO, Soraia Freaza. O trabalho experimental no ensino de química. **Química Nova**, v. 35, n. 2, p. 430-434, 2012.

MCNEILL, Katherine L.; KRAJCIK, Joseph. Inquiry and scientific explanations: Helping students use evidence and reasoning. **Science as inquiry in the secondary setting**, p. 121-134, 2008.

MORRISON, Margaret; MORGAN, Mary S. Models as mediating instruments. In: **Models as mediators: perspectives on natural and social sciences**. Cambridge, Cambridge University Press, 1999. p. 10-37.

MULLER, Frederik A.; VAN FRAASSEN, Bas C. How to talk about unobservables. **Analysis**, v. 68, n. 3, p. 197-205, 2008.

PASSMORE, Cynthia; GOUVEA, Julia Svoboda; GIERE, Ronald. Models in science and in learning science: Focusing scientific practice on sense-making. In: **International handbook of research in history, philosophy and science teaching**. Springer, Dordrecht, 2014. p. 1171-1202.

PENA, Fábio Luís Alves; RIBEIRO FILHO, Aurino. Obstáculos para o uso da experimentação no ensino de Física: um estudo a partir de relatos de experiências pedagógicas brasileiras publicados em periódicos nacionais da área (1971-2006). **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 9, n. 1, 2009.

PESCHARD, Isabelle F.; VAN FRAASSEN, Bas C. Making the abstract concrete: The role of norms and values in experimental modeling. **Studies in History and Philosophy of Science Part A**, v. 46, p. 3-10, 2014.

PIETROCOLA, Maurício. A história e a epistemologia no ensino das ciências: dos processos aos modelos de realidade na educação científica. Em: **A ciencia em perspectiva**. Rio de Janeiro: MAST: SBHC, 2002.

QUEIROZ, Gloria Regina Pessôa Campello; BARBOSA-LIMA, Maria da Conceição Almeida. Conhecimento científico, seu ensino e aprendizagem: atualidade do construtivismo. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 13, n. 3, p. 273-291, 2007.

SHAPIN, Steven. **Nunca pura: estudos históricos de ciência como se fora produzida por pessoas com corpos, situadas no tempo, no espaço, na cultura e na sociedade e que se empenham por credibilidade e autoridade**. Belo Horizonte: Fino Traço, 2013.

SILVA, José Luis PB; ROQUE, Nídia Franca. Teoria da ressonância: história e ensino. In: **Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais**, p. 339, 2011.

STULL, Andrew T. et al. Representational translation with concrete models in organic chemistry. **Cognition and Instruction**, v. 30, n. 4, p. 404-434, 2012.

TALANQUER, Vicente. Explanations and teleology in chemistry education. **International Journal of Science Education**, v. 29, n. 7, p. 853-870, 2007.

VAN DYCK, Maarten. Constructive empiricism and the argument from underdetermination. In: **Images of empiricism**, p. 11-31, 2007.

VAN FRAASSEN, Bas C. Facts and tautological entailments. **The Journal of Philosophy**, v. 66, n. 15, p. 477-487, 1969.

VAN FRAASSEN, Bas C. The semantic approach to scientific theories. In: **The process of science**. Springer, Dordrecht, 1987. p. 105-124.

VAN FRAASSEN, Bas C. Against transcendental empiricism. In: **The question of hermeneutics**. Springer, Dordrecht, 1994a. p. 309-335.

VAN FRAASSEN, Bas C. The World of Empiricism, pp. 114-134. In: **Jan Hilgevoort (ed.) Physics and Our View of the World**. Cambridge University Press, 1994b.

VAN FRAASSEN, Bas C. The false hopes of traditional epistemology. **Philosophical and Phenomenological Research**, p. 253-280, 2000.

VAN FRAASSEN, Bas C. Appearance vs. Reality as a Scientific Problem. **Philosophic Exchange**, v. 35, n. 1, p. 3, 2005.

VAN FRAASSEN, Bas C. **A imagem científica**. São Paulo: Editora UNESP, 2007.

VAN FRAASSEN BAS, C. **Scientific representation: paradoxes of perspective**. United States: Oxford University Press, 2008a.

VAN FRAASSEN, Bas C. **What Is Empiricism and What Could It Be?**. In: The Empirical Stance. Yale University Press, 2008b. p. 31-63.

VAN FRAASSEN, Bas C. Reflections on a classic in scientific realism, 20 years later. **Metascience**, 28, 2019, p. 13-21.

VOLLHARDT, Peter; SCHORE, Neil E. **Química Orgânica-: Estrutura e Função**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2013.

WHITE, Richard T. The link between the laboratory and learning. **International**

Journal of Science Education, v. 18, n. 7, p. 761-774, 1996.

YANG, Fang-Ying; TSAI, Chin-Chung. Personal epistemology and science learning: A review on empirical studies. In: **Second international handbook of science education**. Springer, Dordrecht, 2012. p. 259-280.