



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E
MATEMÁTICA

DARLAN MORAIS OLIVEIRA

**ANÁLISE DOS MODELOS MATERIAIS NO ENSINO DAS CIÊNCIAS NATURAIS A
PARTIR DA EPISTEMOLOGIA COGNITIVISTA**

MARABÁ/PA
2020

DARLAN MORAIS OLIVEIRA

**ANÁLISE DOS MODELOS MATERIAIS NO ENSINO DAS CIÊNCIAS NATURAIS A
PARTIR DA EPISTEMOLOGIA COGNITIVISTA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como requisito para obtenção do grau de mestre em Educação em Ciências e Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Caio Maximino de Oliveira

MARABÁ/PA
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Setorial Campus do Tauarizinho da Unifesspa

Oliveira, Darlan Moraes

Análise dos modelos materiais no ensino das ciências naturais a partir da epistemologia cognitivista / Darlan Moraes Oliveira ; orientador, Caio Maximino de Oliveira. — Marabá : [s. n.], 2020.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, Marabá, 2020.

1. Ciência - Classificação. 2. Antirrealismo. 3. Realismo. 4. Ciência – Estudo e ensino. 5. Teoria do conhecimento. I. Oliveira, Caio Maximino de, orient. II. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática. III. Título.

CDD: 22. ed.: 507.21

Elaborada por Adriana Barbosa da Costa – CRB-2/391


UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E
MATEMÁTICA

Ata n. 4 - Defesa de Mestrado

Ao vigésimo quarto dia do mês de setembro do ano de 2020, às 15 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta pelos pesquisadores Prof. Dr. Caio Maximino de Oliveira (presidente e orientador), Profa. Dra. Alessandra Rezende Ramos (membro interno) e Prof. Dr. Marcos Rodrigues da Silva (membro externo). A banca avaliou a proposta de dissertação do mestrando DARLAN MORAIS OLIVEIRA intitulada "ANÁLISE DOS MODELOS MATERIAIS NO ENSINO DAS CIÊNCIAS NATURAIS A PARTIR DA EPISTEMOLOGIA COGNITIVISTA". Aberta a sessão pelo presidente da banca, coube ao candidato, na forma regimental, expor o tema de sua dissertação dentro do tempo regulamentar, sendo em seguida arguido pelos examinadores, que consideraram a proposta de dissertação APROVADA. Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada às 16:30 horas, dela sendo lavrada a presente ata, que segue assinada pela Banca Examinadora e pelo mestrando.

Marabá, 24 de setembro de 2020


Darlan Moraes Oliveira (Unifesspa)


Prof. Dr. Caio Maximino de Oliveira (Unifesspa)


Profa. Dra. Alessandra Rezende Ramos (Unifesspa)


Prof. Dr. Marcos Rodrigues da Silva (UEL)

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é fruto de um sonho que se concretiza a cada dia: tornar-se Mestre. Entretanto essa dívida não seria possível se eu não tivesse me “apoiado nos ombros de gigantes”, as muitas pessoas que me deram suporte nessa empreitada dessa etapa da vida.

Agradeço a minha amiga e educadora Conceição, que ressuscitou em mim o desejo antes sepultado de ser um educador, cativando-me com a importante função de educar, principalmente aqueles que a vida não deu oportunidades iguais de serem educadas.

Agradeço ao meu amigo mestre Maxhemyliano Marques, meu braço direito na minha vida acadêmica, apoiador e corretor oficial de meus trabalhos acadêmicos, o qual eu devo minhas conquistas relativas a produção acadêmica.

Agradeço as minhas amigas Adelaide e Vanisa que me deram suporte (alojamento, alimentação, presteza) desde o início dessa exaustiva e rotineira caminhada (Imperatriz/MA – Marabá/PA), para a realização desse sonho.

Agradeço aos meus amigos Danielle, Paula, Marcos, Joelma e Adão que prestaram suporte ao meu lar durante a minhas ausências para cursar o mestrado, garantindo a segurança daquilo que com muito esforço conquistei na vida.

Agradeço a todos os meus colegas de trabalho e especialmente as minhas chefes Priscila e Dra. Dayna, por compreenderem o meu objetivo de estudar, e por grande empatia permitiram todo o remanejamento e reestruturamento de toda a equipe de trabalho para que eu tivesse flexibilidade para trabalhar e estudar dentro das minhas possibilidades.

Agradeço aos meus colegas de mestrado, pois assim que os conheci, percebi quão batalhadores são, driblando as dificuldades da vida (pais, filhos, emprego, distância, saúde etc.) para também concretizarem esse sonho. Presto aqui a minha sincera admiração a todos, pois ainda com dificuldades nos unimos para ajudarmo-nos uns aos outros. Um agradecimento especial para os amigos Cremilda, Jael e Janaína que além da amizade e do compartilhamento de conhecimento e experiências também me ajudaram com transporte e hospedagem.

Agradeço aos meus professores do mestrado, através deles me deparei com um mundo de saberes o qual preciso explorar. Agradeço ao meu professor e orientador Dr. Caio, que mesmo com pouco contato direto, prestou sempre

orientações objetivas e certeiras.

Por fim agradeço aos meus pais, João Domingos (*in memoriam*) e Maria Divina por me deixar a educação como herança. E o agradecimento especial a uma Força Criadora e Misteriosa que guia a minha vida com amor, sabedoria e compaixão.

RESUMO

Modelos são importantes componentes na atividade científica. Entretanto, conceituações, classificações e funções são divergentes diante das várias vertentes epistemológicas que tratam de modelos em ciências. Correntes como o realismo e antirrealismo da filosofia da ciência discutem a importância dos modelos, colocando-os em patamares distintos. Diante disso, duas teorias elevam os modelos a patamares tão altos, colocando-os como peça central na ciência: é o caso do Empirismo Construtivista, defendido por Bas van Fraassen, e a Epistemologia Cognitivista de Ronald Giere. Dada essa importância, é necessário discutir o papel dos modelos no ensino de ciências naturais, averiguando se tais estruturas recebem um destaque tão elevado e significativo no ensino. Alguns estudos sobre prática científica já se dedicam à exploração dos modelos mentais (formações abstratas e pessoais de um indivíduo). Em contrapartida, os chamados modelos materiais ou icônicos (objetos físicos que representam fenômenos ou teorias) não recebem tanta atenção nos estudos acerca das atividades científicas e muitas vezes não têm sua importância notada nas ciências naturais. Diante de tal cenário, o presente estudo teve o objetivo de compreender a aplicação e participação dos modelos físicos/materiais no ensino de ciências naturais. Para tal, foi realizada a revisão integrativa da literatura adaptada para a área de ensino, utilizando todas as suas etapas: definição de problema; critérios de busca; análise do conteúdo encontrado; categorização de resultados; apresentação de resultados. Os resultados mostraram pesquisas sobre a produção de modelos físicos no ensino de ciências em diferentes enfoques, sendo aqui categorizados em quatro segmentos: Recursos Tecnológicos, Métodos Alternativos, Acessibilidade e Representação. Nas três primeiras categorias o papel do modelo é diminuído ou equiparado a outros fatores como uma técnica ou uma teoria que justifica seu uso, enquanto que na categoria representação observou-se que sutilmente se discute esse modelo em uma perspectiva majoritariamente realista apenas, todavia percebeu-se que o modelo material possui um aspecto bem maior a ser explorado e ensinado principalmente por sua dupla função de representar e ensinar entidades científicas. Concluiu-se que modelos materiais são úteis para o ensino de ciências uma vez que sua função supera a mera ilustração, podendo os mesmos serem ensinados tanto em uma perspectiva realista quanto antirrealista, sempre com o intuito de representar o mundo e ensinar sobre o mundo.

Palavras-chave: Antirrealismo. Entidades. Observável. Realismo. Representação

ABSTRACT

Models are an important component in scientific activity. However their conceptions, classifications and role are divergent in face of many epistemological aspects which deal with model in science. Currents such as the realism and anti-realism of the philosophy of science discuss the importance of models by placing them in different levels. As a result, two theories enhance the models to such higher levels placing them with main roles in science: the Empirical Constructivism by Bas van Fraassen and the Cognitive Epistemology by Ronald Giere. After this brief explanation, it is necessary to discuss the role of these models in the natural sciences teaching, examining if these currents have a real and meaningful spot in teaching. Some researches about the scientific practice already are focused on mental models (personal abstractions of an individual). In other hand, the known ones as material models or iconic (physical objects which represents some phenomenon or theories) do not receive such attention in the researches about scientific activities and many times they are taken for granted in natural sciences. Ahead of all that this research aims to understand the real enforcement of the presented models in natural sciences teaching. To this end, an integrative review of the literature adapted for the teaching area was carried out, using all its stages: problem definition; search criteria; analysis of the content found; categorization of results; results presentation. The results presented researches about the production of physical model in sciences teaching with different spots being here categorized in four segments: Technological Resources, Alternative Methods, Accessibility and Representation. In the first three categories, the role of the model is diminished or equated with other factors such as a technique or theory which justifies its use, while in the representation category it could be observed that this model is subtly discussed in a mostly realistic perspective, however, it is known that the material model has a much greater aspect to be explored mainly for its dual function of representing and teaching scientific entities. It was concluded that material models are useful for science teaching once their function goes beyond mere illustration and they can be taught both in a realistic and anti-realistic perspective, always aiming representing the world and teaching about the world.

Keywords: Anti-realism. Entities. Observable. Realism. Representation.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
OBJETIVOS	12
1 MODELOS NA FILOSOFIA DA CIÊNCIA	13
1.1 Modelos nas Teorias Cognitivas da Ciência	13
1.2 Os modelos na tensão entre racionalismo/empirismo e realismo/antirrealismo	15
1.3 Modelos na concepção Realista da Ciência	18
1.4 Modelos e o Empirismo Construtivista de van Fraassen	23
1.5 Modelos na Epistemologia Cognitivista de Ronald Giere	24
2 MODELOS NO ENSINO DE CIÊNCIAS	28
2.1 Definições de Modelos	28
2.2 Modelos Materiais e Representação	35
2.3 Modelos no Ensino De Ciências Naturais	38
3 PERCURSO METODOLOGICO	42
3.1 Materiais e Métodos	42
3.1.1 Classificação da Pesquisa	42
3.1.2 Métodos de Coleta e Análise de Dados	42
3.1.3 Etapas	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1 Recursos Tecnológicos	47
4.2 Métodos Alternativos	50
4.3 Acessibilidade	56
4.4 Representação	60
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
REFERÊNCIAS	76

INTRODUÇÃO

Modelos são entes essenciais na prática científica e servem para investigar fenômenos complexos do mundo sobre os quais não se tem plena compreensão. Embora, por vezes, os modelos e teorias sejam retratados com o mesmo significado, existe uma distinção entre eles: os modelos são representações de um componente particular da realidade – ou ainda, são compreensões ou realizações de uma teoria. Em contraponto, as teorias consistem de um grupo de enunciados, logicamente estruturados, com poder explanatório sobre fenômenos universais (MENDONÇA; ALMEIDA, 2012).

Modelos podem ser definidos também com um conjunto de ideias acerca de como funcionam alguns aspectos do mundo real, ou ainda, podem ser definidos como entidades que representam alguns aspectos de um fenômeno em determinado grau. Outras denominações comumente atribuídas a modelos são abstrações, simplificações, idealizações ou simplesmente representações de fenômenos (PASSAMRE; GOUVEA; GIERE, 2014).

Modelos na atividade científica e/ou educacional que despertam o interesse de estudiosos, expressam-se geralmente como modelos mentais, modelos teóricos, físico/materiais e computacionais (JUSTINA; FERLA, 2006; GIERE, 2009). Nesse contexto, o epistemólogo e filósofo da ciência van Fraassen dá uma grande contribuição por atribuir importância ao modelo, considerando-o como um dos objetivos principais da ciência, conforme o próprio autor diz: “os modelos ocupam o centro da cena ” (VAN FRAASSEN, 2007, p. 88).

Portanto, algumas das ideias de van Fraassen servem como base teórica às pesquisas que exaltam o papel dos modelos nas ciências ou no ensino das ciências, dando consistência ao ideal de que o modelo transcende a ilustração podendo (ou não) figurar como a representação da realidade, isso dentro de uma perspectiva de que uma teoria representa a realidade, pois “acreditar numa teoria é acreditar que um de seus **modelos representa corretamente o mundo**” (VAN FRAASSEN, 2007, p. 93, grifo nosso).

É cada vez maior a importância de imagens, modelos e outras formas de representação na ciência da atualidade. Faz sentido, portanto, que seja crescente a quantidade de autores que se dedicam ao estudo dos modelos materiais visuais, ou mesmo, sobre a própria questão da representação na ciência (MONTEIRO, 2011). No

Brasil, o estudo sobre modelos, de modo geral, tem sido adotado por alguns grupos de pesquisa no Ensino de Ciências, devido a registros de experiências com resultados promissores oriundos de vários países (QUINTO; FERRACIOLI, 2008).

Os modelos enquanto objetos físicos –como, por exemplo, maquetes e protótipos – são denominados *modelos materiais* ou *modelos icônicos*. Ainda que estes tenham aplicação prática (p. ex., uma maquete é um modelo “em escala” de uma construção), do ponto de vista da epistemologia são mais interessantes aqueles objetos que podem ser tanto materiais quanto teóricos, por exemplo, objetos matemáticos, como cubo ou triângulo, são modelos materiais (MENDONÇA; ALMEIDA, 2012).

Possivelmente, os modelos materiais são poucos debatidos nas publicações científicas fora do contexto pedagógico e ilustrativo, bem como é provável que no Brasil esse tipo de modelo seja menos usado enquanto meio de investigação epistemológica. Essa presumível escassez de pesquisas, sobre o papel dos modelos físicos na atividade educacional científica, é um fato motivador para o desenvolvimento de estudos que supram essa ausência, almejando trazer contribuições para o ensino de ciências, por meio da melhor compreensão desse item indispensável e universal na composição da ciência – o modelo.

Esta pesquisa também pode trazer importantes subsídios para a educação enquanto processo formativo escolar, pelo enfoque na materialização dos modelos, servindo, portanto, como auxílio para ensinar ciências na escola, haja vista que, na educação básica, a discussão de como os modelos científicos foram elaborados e sua relevância para a construção do conhecimento científico é bastante negligenciada (REIS et al., 2017).

Não só na literatura como também na prática educacional é dada pouca atenção aos modelos físicos, especialmente na educação básica. O uso de modelos físicos no ensino das ciências naturais é tão excepcional que, quando praticado na escola, tornam-se temas de publicações científicas, dado seu caráter quase inédito. Figuram, quase sempre, como recursos didáticos demonstrativos, limitando-se a exposições em feiras de ciências escolares pontuais (que mais compõem uma obrigação do calendário escolar do que evento científico motivado pela investigação científica). Com isso, a materialização dos modelos científicos, teóricos e mentais poderá contribuir, facilitando a demonstração do funcionamento de um fenômeno natural qualquer, além de dar acessibilidade a todos os alunos, com ou sem

deficiência, o contato com um dado conceito científico o qual é representado no modelo físico.

A materialização de modelos propicia a aprendizagem pelo *input* sensorial (QUADROS, 2005), ou seja, estimula o letramento científico por meio do uso dos sentidos dos alunos, algo muito utilizado na educação especial. Portanto, esse meio pode se tornar útil em diversos segmentos específicos da educação, inclusive na educação especial. Boa parte da restrita demanda de publicações científicas sobre os modelos físicos, parece limitar-se à discussão da produção de materiais didáticos tridimensionais, usados como meio facilitador na educação especial, e, mais especificamente ainda, na educação de deficientes visuais. Logo, prevê-se que há uma extensa lacuna sobre o tema nos diversos segmentos da educação, havendo, portanto, necessidade de se expandir essa discussão para a educação como um todo.

Elencados todos esses argumentos anteriores, várias indagações podem surgir: a materialização de modelos mentais e/ou modelos teóricos científicos é útil para ensinar ciências naturais além de representar/ilustrar fenômenos naturais? A função desses modelos seria ensinar/representar uma entidade real ou algo provável? Seriam esses modelos físicos a representação fiel da realidade na concepção do ensino de ciências? Ante esses questionamentos, desenvolveu-se este estudo almejando encontrar tais respostas.

Esta pesquisa está inicialmente estruturada em quatro capítulos, sendo o primeiro capítulo destinado à explanação do papel e posicionamento do modelo dentro de diversos segmentos da filosofia da ciência e outras teorias cognitivas da ciência. O segundo capítulo trata dos significados, conceitos e definições dos modelos aplicados dentro do ensino de ciências naturais. O terceiro capítulo detalha a metodologia que será utilizada para execução do estudo de revisão integrativa. O quarto capítulo trata dos resultados e discussão encontrados na pesquisa, onde estão listadas todas as publicações que abordam o objeto do tema bem como as reflexões a respeito do conteúdo abordado nas pesquisas.

OBJETIVOS

Objetivo Geral:

- Compreender a aplicação e participação dos modelos físicos/materiais no ensino de ciência naturais.

Objetivos Específicos:

- Descrever os conceitos, definições, teorias e aplicações dos modelos em geral, com enfoque no Empirismo Construtivista de Bas van Fraassen e na Epistemologia Cognitiva de Ronald Giere;
- Discutir acerca das concepções realistas e antirrealistas usadas na representação de entidades através de modelos materiais.
- Detalhar os métodos de elaboração dos modelos icônicos e a destinação dos deles, caracterizando seu uso e finalidade na educação em ciências naturais;

1 MODELOS NA FILOSOFIA DA CIÊNCIA E EPISTEMOLOGIA

1.1 Modelos nas Teorias Cognitivas da Ciência

Uma teoria da ciência serve para explicar o fenômeno da própria ciência de igual modo que as teorias científicas explicam os fenômenos naturais. Nas concepções cognitivas (ou cognitivistas) da ciência, considera-se que esta é uma atividade cognitiva, ou seja, diz respeito à geração de conhecimento. As teorias filosóficas da ciência são geralmente teorias da racionalidade científica. Nelas, o contexto da ciência, seja pessoal, social, ou cultural, é normalmente considerado irrelevante para uma compreensão filosófica adequada da Ciência. Em contrapartida, a sociologia da ciência enfatiza o contexto acima de tudo, sendo o conhecimento científico totalmente relativo ao contexto, e a ciência seria uma construção social em sua totalidade (GIERE, 1988).

A especificação da natureza exata da relação entre modelos e o mundo tem sido um ponto central de debate na filosofia da literatura científica. Estudiosos da história e da filosofia da ciência recorrem ao papel central que os modelos e a modelagem desempenham na organização das práticas dos cientistas e apontam o crescimento da importância dos modelos e modelagem em educação científica (PASSAMRE; GOUVEA; GIERE, 2014).

Algumas perspectivas cognitivas da Filosofia da Ciência assumem que a finalidade das ciências é construir modelos que preservam os fenômenos neles modelados. Essa vertente filosófica, defendida pelo filósofo Bas van Fraassen, propõe que as teorias científicas são caracterizadas como um conjunto de modelos (MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 2002).

Nas diferentes teorias de modelos, como veremos, um modelo não é só um ente ontológico (i.e., uma simplificação de um objeto existente ou teórico), mas um ente epistemológico, que tem uma função semântica (“representacional”)(THAGARD, 1987; GIERE, 1988; VAN FRAASSEN, 2007).

Existem diversas definições possíveis de “modelo” em filosofia da ciência. A virada cognitiva, entretanto, é de matriz instrumentalista¹, e identificou como

1 “Instrumentalismo” aqui é entendido como uma forma de definir ciência a partir de suas consequências práticas – isso é, a partir da observação de como os cientistas e educadores realmente fazem e ensinam ciência,

atributos-chave dos modelos científicos o fato de serem definidos pelo contexto de seu uso, serem representações parciais de fenômenos e serem distintos das formas representacionais que assumem (PASSAMRE; GOUVEA; GIERE, 2014).

Os filósofos instrumentalistas argumentaram que o relacionamento entre modelos e o mundo só faz sentido no contexto de seu uso pretendido por algum agente cognitivo. O agente cognitivo é quem decidirá como vincular, filtrar, simplificar e representar o fenômeno para gerar um modelo, analisando quais recursos precisam ser compartilhados e em que grau vai depender da maneira como o usuário do modelo quer entender esse fenômeno (PASSAMRE; GOUVEA; GIERE, 2014).

Essa perspectiva também tem inspiração na sociologia da ciência, que demonstra ter sua relação com a prática científica e por consequência com os modelos que estão intimamente ligados a essa prática. Diversos sociólogos da ciência examinaram a complexidade da prática científica de uma gama de perspectivas, valendo-se, dentre outras coisas, da estrutura social da ciência, as normas culturais e epistemológicas, as práticas e rotinas cotidianas dos cientistas, o papel das ferramentas e formas materiais, o raciocínio e resolução de problemas e as estratégias utilizadas na prática científica (PASSAMRE; GOUVEA; GIERE, 2014). Assim, os modelos também ocupam espaço de relevância dentro da sociologia da ciência, uma vez que, somente pelo contexto e pelo agente cognitivo poderá ser definido se um dado modelo *corresponde* a um dado fenômeno natural. Portanto, assim como as teorias científicas, os modelos também são socialmente construídos (GIERE, 1988 apud MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 2002).

Um influente filósofo da virada cognitiva, Paul Thagard, sugeriu que a ciência cognitiva² oferece a possibilidade de desenvolver modelos muito mais detalhados e poderosos de mudança científica. Neste contexto, Thagard (1987) propõe que é possível analisar as teorias científicas de forma bem mais elaborada unindo inteligência artificial (mediante a modelagem computacional), a cognição “quente” (sociologia da ciência) e a cognição “fria” (filosofia da ciência). Neste caso, por meio de algoritmos, seria possível avaliar a coerência e a coesão das explicações

não a partir de uma concepção *a priori* de verdade e correspondência. Para Silva (2006, p 104) “o instrumentalismo nega que as teorias tenham conhecimento legítimo sobre o mundo, sendo apenas instrumentos de predição, enquanto que as entidades inobserváveis dessas teorias podem ser verdadeiras ou falsas”.

2 Estudo indisciplinar abrangendo a psicologia cognitiva, inteligência artificial e, mais periféricamente, filosofia, linguística, antropologia e neurociência.

de teorias científicas, proposições, hipóteses e até mesmo o contexto social e motivações pessoais, dentre outros fatores, que somados e obedecendo certos critérios e princípios definem com que uma teoria seja mais aceita que outra.

Neste sentido, embora Thagard não o descreva, fica implícito que, na perspectiva da inteligência artificial, enquanto área da ciência cognitiva, o modelo – por sua íntima relação com a teoria – não é definido amplamente pela razão ou pela construção social, mas pela somatória de fatores que podem ser tanto de ordem racional quanto social. Se, por um lado, as teorias de Giere e Van Fraassen referem-se à **ontologia** do modelo (i.e., *o que é um modelo*) se à **semântica** do modelo (o queremos dizer com a afirmação de que o modelo *representa* algo), a teoria cognitiva de Thagard (1987) refere-se à **epistemologia** do modelo (i.e., como podemos usar os modelos para conhecer algo). Em analogia aos modelos mentais propostos pela ciência cognitiva, Thagard (1987) propõe que os modelos são formas de conhecer o mundo.

Uma parte significativa da investigação científica é feita utilizando-se modelos (realidade mediata), ao invés da realidade imediata, porque, ao estudar o modelo, podemos produzir inferências sobre o sistema que é alvo do modelo. Por exemplo, os cientistas estudam a natureza do átomo de hidrogênio, a dinâmica das populações, ou o comportamento dos polímeros utilizando seus modelos. Essa função epistemológica e cognitiva dos modelos é a base do “raciocínio baseado em modelos” (THAGARD, 1987), fundamental para a compreensão do uso educacional dos modelos³.

1.2 Os modelos nas visões: racionalismo/empirismo e realismo/antirrealismo

A filosofia da ciência é composta por vários “ismos” – ou seja, vários termos para designar distintas posições nesse ramo filosófico (OKASHA, 2015). Esses diferentes modos de se pensar ciência, na maioria de vezes, se opõem. Nesta seção, em particular, propõe-se visualizar as definições básicas e contrárias entre o racionalismo e empirismo, bem como entre realismo e antirrealismo. A distinção entre racionalismo e empirismo fundamenta a filosofia da ciência em todos os aspectos,

3 Como Thagard pouco se debruça sobre os modelos materiais, a discussão sobre epistemologia do ensino de ciências derivada de sua teoria não ilumina os conceitos explicitados nessa dissertação. Entretanto, recomendamos a leitura de alguns trabalhos que dissecam essa relação: ADÚRIZ-BRAVO, 2013; MATHWESON, 2012; e OH & OH, 2010

dado que se refere ao problema epistemológico básico de como conhecer o mundo: pela razão ou pelos sentidos? Essa distinção encontra consistência no Iluminismo e movimentos históricos posteriores e lança uma sombra sobre a epistemologia dos modelos, dado que os modelos constituem um elo entre conteúdo e metodologia, ou ainda, entre teoria e empiria (KRAPAS et al, 1997), logo entre a razão e a observação/experiência.

Além da razão e a observação, outro elemento que norteia as correntes da filosofia da ciência é a noção de verdade, falsidade, realidade e existência, que diz respeito principalmente acerca das realidades ou possibilidades de existência das entidades científicas:

[...] por um lado podemos argumentar em favor da existência das entidades que povoam o universo das teorias atuais; por outro se pode argumentar que elas talvez não existam. O jogo desses argumentos ocorre num fórum filosófico específico: o debate realismo/ antirrealismo (SILVA, 2013, p. 483)

Na posição realista, assumida por diferentes filósofos da ciência, se uma teoria fornece uma explicação fidedigna para os fatos que ela descreve, essa é verdadeira. Nesse sentido, quanto mais uma teoria se aproxima de uma realidade que lhe é externa, mais verdadeira é. Essa corrente afirma que a ciência contemporânea tem o objetivo de encontrar uma descrição verdadeira de processos inobserváveis que possam explicar aqueles observáveis (VALE, 2013; PESSOA JUNIOR, 2009).

A afirmação do realismo científico sustenta a tese de que as teorias científicas possuem um valor-de-verdade (ou são verdadeiras, ou são falsas), uma vez que os argumentos teóricos se referem a entidades realmente existentes no mundo. O realista compromete-se com entidades inobserváveis que são externas à teoria, e descobertas pela teoria, e não construídas pela produção científica. Dessa forma, as leis científicas são descobertas, sendo as entidades teóricas existentes de forma independente (SILVA, 1998).

Okasha (2015) reforça que o posicionamento daqueles que se encaixam dentro do Realismo Científico é de que a função da ciência é descrever a verdade do mundo. Assim, o Realismo Científico pode ser descrito como uma vertente da ciência que objetiva formular enunciados verdadeiros em suas teorias sobre os fenômenos do mundo, e desse modo, aceitar uma teoria científica significa dizer que ela é verdadeira (VAN FRAASSEN, 2007).

Assim, um cientista realista tem a crença de que a teoria é verdadeira e ela só deverá ser superada quando uma “nova” teoria se aproximar mais ainda da verdade. Para isso, a ciência descreve os mínimos detalhes da realidade

da natureza em seus processos e entidades, mesmo que sejam inacessíveis ao sentido do homem (ODY, 2005 apud BRAGA; TOLEDO, 2013, p. 486).

De acordo com os defensores do Realismo científico - R. Boyd, H. Putnam, W. Newton-Smith e A. Musgrave, entre outros –, essa vertente compreende as seguintes afirmações: as teorias das ciências possuem uma legítima correspondência com a realidade (teoria-mundo), portanto as entidades compreendidas na teoria, embora invisíveis, existem realmente, não sendo meros instrumentos ou ficções adequadas para representar, organizar e inferir os fenômenos experimentais. Dessa forma, a sucessão das teorias de uma ciência constitui uma maior aproximação da verdade, seja em relação aos fenômenos observáveis ou inobserváveis (VALE, 2013).

Em oposição à visão do realismo científico está o antirrealismo ou instrumentalismo. Para o antirrealista, a teoria não necessariamente precisa ser fiel à realidade/verdade, podendo ser aceita se possuir características importantes (PESSOA JUNIOR, 2009; HACKING, 2008 apud BRAGA, TOLEDO, 2013).

Ao contrário dos realistas, os antirrealistas argumentam que a finalidade da ciência é formular um detalhamento verdadeiro apenas da parte observável do mundo. Para os antirrealistas, o observável refere-se ao que existe no mundo e é percebido pelo homem, como mesas, cadeiras, plantas, animais, tubos de ensaio, bicos de Bunsen, trovoadas e nevascas. Se algumas ciências terão como objeto de estudo apenas objetos visíveis, outras ciências, como a Física e a Química, fazem afirmações teóricas sobre objetos inobserváveis – como átomos, elétrons, *quarks*, *leptons*, etc –, que estão além do alcance das faculdades de observação dos seres humanos. Nesse caso, o *status* de verdade dessas estruturas não está em sua correspondência com o estado do mundo, mas com características internas da teoria (OKASHA, 2015).

Consideremos o exemplo do elétron nas perspectivas realista e antirrealista: para o realista, o elétron realmente *tem* que existir, pois é passível de manipulação, e, portanto real. Por outro lado, para o antirrealista, o elétron não precisa existir, mesmo que a teoria tenha sucesso na previsão de observações e manipulações (BRAGA; TOLEDO, 2013).

A modelagem, dentro da concepção antirrealista, não tem como objetivo representar a verdade, de modo que é aceito o critério da falsidade na produção de modelos. No entanto, há concordância entre os realistas e antirrealistas a respeito dos modelos quanto à sua função epistemológica, pois as teorias e os modelos são capazes de explicar com êxito os fenômenos observados e produzidos pela ciência.

Assim, modelos e teorias, além de instrumentos de exposição, são *elementos de explicação científica* e desse modo indispensáveis para adquirir conhecimento científico sobre o mundo (MENDONÇA; ALMEIDA, 2012). Entretanto, realismo e antirrealismo divergem quanto ao *status* ontológico dos modelos.

Portanto, diante dos argumentos anteriores, a legitimidade da inferência a respeito da existência de entidades inobserváveis em teorias aceitas e bem-sucedidas experimentalmente, é o grande problema em torno das vertentes da filosofia da ciência realista e antirrealista (SILVA, 2018)

Ante essas visões, quando confrontadas na educação em ciências, percebe-se favorecimento da tendência realista, haja vista que a construção é um processo ignorado no ensino de ciências, no qual as teorias e modelos científicos são ensinados como verdades, como descobertas estupendas, como definitivos, concluídos, pois os professores de ciência geralmente não apresentam os conhecimentos como construções científicas (MOREIRA, 2014).

Isso se torna ainda mais explícito na modelagem material, quando se tenta construir uma cópia idêntica e maximizada da realidade, como é demonstrado em algumas pesquisas desse âmbito, por exemplo, o estudo de Freitas et al (2009) ao estimular alunos de ensino médio a reproduzirem modelos de células tridimensionais, afirmou que o kit utilizado para a construção das células propiciava aos alunos reproduzi-las de modo mais **próximo do real**. Tomando-se este exemplo, é possível afirmar que células representadas bidimensionalmente nos livros didáticos, e, por vezes, materializados em atividades pedagógicas, são mais didáticas do que reais, com a intenção de simplificar a realidade e se tornar compreensível ao aluno. Nisso, constitui-se um equívoco o professor tentar persuadir o aluno a crer que o modelo construído é algo fiel a uma realidade pronta e acabada.

1.3 Modelos na concepção Realista da Ciência

A noção de modelo dentro do realismo científico possui valor ontológico e, desse modo, os modelos tenderiam a reproduzir a realidade ao menos de modo aproximado e provisório. Nesse sentido, a função da modelagem científica é a constituição de modelos voltados para a verdade, pretendendo albergar o mais próximo possível o que de fato existe no mundo (MENDONÇA; ALMEIDA, 2012).

Frisa-se que o realismo científico não prioriza a crença da existência de entidades como fator essencial da explicação científica, antes de tudo, vem a aceitação de uma teoria que, pelo fato de explicar mais claramente diversos fenômenos, pressupõe-se que não faltam razões para crer em sua verdade, e, portanto, acreditar na existência de entidades inobserváveis ocorrentes em tais teorias (SILVA, 2006). Por consequência, os modelos dessas entidades representam sim estruturas reais. Esse é um ponto contraditório importante do realismo científico, que normalmente é resolvido pelo procedimento de abdução. Alguns autores, como van Fraassen (2007), abandonam a postura realista precisamente pela crítica à abdução, como veremos à frente.

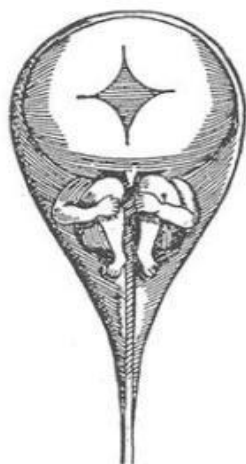
O realismo científico é tido como hipótese empírica de grande generalidade, capaz de explicar suficientemente o sucesso instrumental da ciência e a convergência das teorias científicas –teorias estas que se renovam, sendo que cada teoria nova preserva tanto quanto possível alguns fatores da teoria anterior (DUARTE; HADDAD; GUITARRARI, 2016).

Todavia, nem sempre essa concepção garante a “verdade” na ciência, pois muitas teorias, quando colocadas em prática, surtiam efeitos esperados, fazendo-se crer nas entidades nelas existentes. Entretanto, com o progresso da ciência, percebeu-se que tal teoria não mais condizia com a realidade. Teorias bem-sucedidas em sua época se mostravam experimentalmente possíveis, depois foram questionadas e substituídas por outras, colocando em questão a existência das entidades que postulavam. Alguns filósofos da ciência explicam como o progresso científico é possível, com base em uma teoria da verossimilitude ou aproximação da verdade, sendo que não há critérios gerais para definir uma verdade, ao invés disso há uma direção à verdade onde os êxitos aumentam e os erros diminuem (DUARTE; HADDAD; GUITARRARI, 2016).

Sobre os argumentos anteriores, há vários exemplos de teorias e seus respectivos modelos que tiveram validade em determinado tempo, tidas como verdadeiras, sendo posteriormente superadas. Por exemplo, a ciência pregara a teoria do pré-formacionismo em que o espermatozoide era constituído de uma entidade denominada homúnculo, havendo inclusive um modelo desenhado no século XVII para representar tal entidade (fig. 1). Muito embora essa teoria hoje pareça fantasiosa, no mínimo ela serviu para explicar a fecundação, uma vez que o espermatozoide era a semente que se desenvolvia no terreno (óvulo). Com a superação dessa teoria,

percebe-se não apenas a troca de uma teoria pela outra, mas o surgimento de uma verdade melhorada mais próxima do que se acredita ser a realidade, onde diminuiram-se os erros substituindo-se entidades por outras (homúnculo x núcleos haploides e genes) e mantendo a veracidade da fecundação (espermatozoide + óvulo – fig. 2).

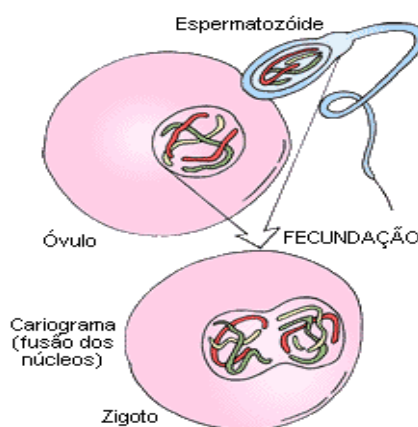
Fig 1: Modelo de homúnculo em espermatozoide



Fonte:

[/netnature.wordpress.com/2012/01/17/a-biologia-do-desenvolvimento-segundo-as-teorias-epigenistas-e-pre-formacionistas-com-resenha/](https://netnature.wordpress.com/2012/01/17/a-biologia-do-desenvolvimento-segundo-as-teorias-epigenistas-e-pre-formacionistas-com-resenha/) (2020)

Fig 2: Modelo da Fusão de Núcleos



Fonte:

[/www.educabras.com/ensino_medio/materia/biologia/genetica/aulas/heranca](http://www.educabras.com/ensino_medio/materia/biologia/genetica/aulas/heranca) (2020).

Outro importante exemplo, foi o que gerou a Revolução Lavoisierana na ciência foi a substituição da teoria do flogisto pela teoria da combustão. Nessa virada de teorias, novas entidades (o oxigênio) surgiram, enquanto que outras (o flogisto) sumiram, e, conseqüentemente, um modelo substituiu o outro. No entanto, nesse episódio a história dá fortes indícios de que Lavoisier claramente evitou questionar a existência do flogisto, em vez disso, procurou de modo sistemático construir uma teoria possível e alternativa à teoria do flogisto – alternativa ao ponto que resultaria em convencer os próximos cientistas a abandonarem a ideia do flogismo (SILVA, 2013). Nesse caso, demonstra-se mais uma vez que a intenção era aproximar a teoria da realidade e não eliminar uma teoria já existente.

O realismo científico também considera que uma teoria científica está alicerçada em fatos disponíveis e que havendo boas evidências favoráveis à sua aceitação, acredita-se que essa teoria não é apenas uma idealização mental adequada ou instrumento útil para a realização de um experimento, mas que oferece

detalhes mais próximos da realidade do mundo, que seriam ocultos sem os recursos da ciência (DUARTE; HADDAD; GUITARRARI, 2016).

Um dos eixos principais do realismo científico é a crença nas entidades como verdadeiras, mas antes dessa crença, vem a da teoria que prega a entidade inobservável, como já dito antes. A crença nas entidades inobserváveis no realismo científico vem fortemente justificada pelo “argumento do milagre” que funciona da seguinte forma: se em uma teoria for postulado um valor para uma propriedade física referente a alguma suposta entidade inobservável, pela eficiência da teoria somos convidados a acreditar que de fato há algo no mundo que corresponde ao tal ente (CHIBENE, 2006).

O sucesso empírico das teorias que postulam entidades inobserváveis é a base de um dos argumentos mais fortes a favor do realismo científico, a que se chama *argumento do “milagre”*. De acordo com esse argumento, seria uma coincidência extraordinária se uma teoria que fala sobre elétrons e átomos fizesse previsões exatas sobre o mundo observável – a menos que os elétrons e os átomos existam realmente. Se não há átomos e elétrons, o que explica o ajuste perfeito da teoria com os dados observacionais? Similarmente, como explicar os avanços tecnológicos a que as nossas teorias têm conduzido, a menos que suponhamos que as teorias em questão são verdadeiras? Se os átomos e elétrons são apenas “ficções úteis,” como sustenta o antirrealista, então por que funcionam os *lasers*? (OKASHA, 2011, p, 4).

Muitas teorias que propõem a existência de entidades inobserváveis são experimentalmente exitosas fazendo previsões confiáveis sobre o comportamento dos fenômenos observáveis; por exemplo, o *laser* que é visível se baseia em uma teoria sobre o que acontece quando elétrons (invisíveis) de um átomo passam de estados de energia mais altos para estados mais baixos, portanto funcionamento dos *lasers* é uma comprovação experimental bem sucedida do funcionamento e existência de partículas subatômicas (OKASHA, 2011).

O realismo atribui às entidades inobserváveis uma dimensão ontológica, de modo que tais entidades devem verdadeiramente existir para que o mundo funcione da forma como a teoria prediz; outro exemplo é a molécula de DNA, se esta é modelada como uma dupla-hélice, então na realidade ela deve se comportar como é descrito, além de explicar certos fenômenos (transcrição, duplicação, ligações químicas etc.) a partir da configuração do modelo da dupla-hélice (SILVA, 2006). Logo, no realismo científico o modelo prediz como a entidade se comporta e não necessariamente a sua forma ou aparência, mas sempre considerando a sua existência como algo real no mundo.

O realismo científico, por meio do argumento do milagre, não pretende provar que o antirrealismo está errado, apenas se torna um argumento plausível – uma inferência a favor da melhor explicação (abdução), alegando seus defensores que as teorias são verdadeiras e suas entidades são existentes, e se comportam como as teorias dizem. Caso essa explicação não seja aceita, então o êxito empírico das teorias constitui um mistério inexplicado (OKASHA, 2011).

Percebe-se que muito do realismo se sustenta na explicação e na experimentação: se os modelos desenvolvidos explicam com êxito as teorias científicas e por isso representam a realidade (Inferência à Melhor Explicação), e se o teste experimental desses modelos na realidade produz efeitos esperados, então não haveria porque duvidarmos da existência das entidades representadas nos modelos (Argumento do Milagre).

O argumento do milagre é um dos argumentos realistas de expressiva notoriedade contemporânea, mas além dele tem-se o “argumento da coincidência cósmica”, ambos são muito confundidos entre si, porém este último é a alegação de que, se uma teoria prediz corretamente uma grande quantidade e variedade de fenômenos, então ela é verdadeira sob a ótica dos fenômenos que ela consegue prever por meio da experiência. Caso contrário, se a teoria não fosse aproximadamente verdadeira, somente uma coincidência de proporções cósmicas poderia explicar seu sucesso experimental (CHIBENI, 1996, 2006).

Trata-se de dois argumentos de natureza abdutiva (CHIBENI, 2006). A ‘abdução’ é uma concepção de que, a partir de determinadas evidências, nós deduzimos a hipótese que melhor as explica. Por exemplo, ao se observar pegadas na areia, imediatamente infere-se a melhor explicação de que uma pessoa passou por ali (JUNGES, 2008). A abdução ou inferência de melhor explicação constitui uma alegação favorável ao realismo científico, pois sugere um tipo de atrelamento entre o poder explicativo de uma teoria e o seu valor de verdade (CHIBENI, 1996).

Por conseguinte, a abdução tem grande influência na concepção e aceitação de modelos, por exemplo, o modelo da terra redonda, representada pelo globo terrestre, é bem mais aceito pela comunidade científica e sociedade em geral, pois dentre outros motivos a terra redonda explica muito mais fenômenos naturais que podem ser vivenciados (movimentos do astros, fases da lua, estações do ano, rotas marítimas etc.) se comparada à terra plana, o que incide na validação do argumento da coincidência cósmica. De igual modo, a terra redonda explica a existência de

entidades inobserváveis (aos olhos humanos pelo menos) como seu próprio formato, pois só um milagre explicaria, por exemplo, o fato de que embarcações marítimas e áreas não esbarrarem em alguma grande barreira ou cascata que limitaria as bordas de uma terra plana, incorrendo assim o argumento do milagre nesse exemplo.

Esses tipos de argumentos abduativos que favorecem o realismo são bastante criticados pelo filósofo van Fraassen (2007), uma vez que este teórico prega que as teorias científicas não têm o valor de verdade, mas sim de adequação empírica, e que para qualquer teoria científica não existe apenas uma hipótese experimentalmente eficaz, como sugerem os argumentos da coincidência cósmica e do milagre, existem indefinidamente muitas outras hipóteses rivais também empiricamente adequadas (LADYMAN et al, 2020).

1.4 Modelos e o Empirismo Construtivista de van Fraassen

O Empirismo construtivista é uma alternativa proposta pelo filósofo holandês Bas Cornelis van Fraassen, oposta ao realismo científico acerca dos pontos fundamentais que separam essas duas posições – especialmente a relação entre teoria e mundo (VALE, 2013)

O principal texto que embasa sua posição, *A Imagem Científica* (1980/2007), entendia como uma versão atualizada da abordagem experimental do empirismo lógico, afirmando que a função da ciência é construir modelos numa visão semântica, a partir de teorias experimentalmente adequadas, “salvando” assim os fenômenos (MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 2002; FRAASSEN, 2007) no sentido de guardar e preservar o fenômeno dentro da teoria, composta por um conjunto de modelos, onde qualquer “estrutura que satisfaça os axiomas de uma teoria desse modo é chamado de *modelo* daquela teoria” (VAN FRAASSEN, 2007, p. 86)

Acreditar em uma teoria é acreditar que um dos seus modelos representa corretamente o mundo. Pode-se pensar que os modelos representam os mundos possíveis admitidos pela teoria; entende-se que um desses mundos possível é o mundo real. Acreditar na teoria é acreditar que exatamente um de seus modelos representa corretamente o mundo (não apenas em alguma medida, mas a todos os respeito). Portanto, se acreditarmos que todas as teorias de uma família são empiricamente adequadas, mas que cada uma delas vai além dos fenômenos, então ainda estamos livres para acreditar que cada uma delas é falsa e, logo, que uma parte comum é falsa. Pois tal parte comum pode ser formulada da seguinte maneira: um dos modelos de uma dessas teorias representa corretamente o mundo (VAN FRAASSEN, 2007, p. 93, grifo nosso).

Em uma perspectiva cognitivista, o exercício da ciência consiste na formulação de modelos que devem ser condizentes com os fenômenos descritos, e não a descoberta de verdades sobre aquilo que ainda não foi possível observar, as chamadas entidades inobserváveis (VAN FRAASSEN, 2007). Essa visão antirrealista dentro da filosofia da ciência sugere que as teorias científicas não precisam ter compromisso de comprovarem a verdade, mas sim “salvar os fenômenos”, na forma de modelos científicos (SIMON; MORAES, 2007; VAN FRAASSEN, 2007). Nesse sentido, o modelo científico ganha um *status* elevado na ciência, tornando-se não só mero componente ilustrativo da ciência, mas sim a finalidade da mesma.

A importância dos modelos para a prática científica é relativa à visão a qual estão inseridos, destacando-se a visão sintática das teorias e a visão semântica das teorias. Na primeira visão, o modelo científico é considerado um entendimento alternativo de determinada teoria e por isso é tido como irrelevante e simples acréscimos supérfluos às teorias científicas, apenas como forma de atribuir valor pedagógico, estético, e psicológico a elas (MENDONÇA; ALMEIDA, 2012).

Em contrapartida, na visão semântica os modelos têm uma importância maior, tidos como elementos fundamentais e integrantes das teorias, possibilitando testá-las e fornecer suas explicações. Nessa visão uma teoria é como uma família de modelos (MENDONÇA; ALMEIDA, 2012). Van Fraassen (2007) diz que somente nessa visão existem as noções de verdade e de modelo, sendo este último, peça central do cenário científico.

Assim, as alegações lógicas, formuladas em termos puramente sintáticos, entretanto, frequentemente, podem ser demonstradas de um modo mais simples, por meio de um desvio, com um exame dos modelos – mas as noções de verdade e modelo pertencem à semântica (VAN FRAASSEN, 2007, p. 87)

E nesse contexto, van Fraassen usa a noção de “adequação empírica”, para substituir a verdade na busca pelo conhecimento a partir da experimentação bem-sucedida (VALE, 2013).

Apresentar uma teoria é especificar uma família de estruturas, seus modelos (as subestruturas empíricas) como candidatos à representação direta dos fenômenos observáveis. As estruturas que podem ser descritas em relatos experimentais e de medição podemos chamar de aparências; a teoria é **empiricamente adequada** se possui algum modelo tal que todas as aparências sejam isomórficas a subestruturas empíricas daquele modelo (VAN FRAASSEN, 2007, p. 122 grifo nosso)

Van Fraassen critica a posição realista de que o objetivo da ciência é produzir teorias verdadeiras. Logo, para ele os conceitos não observáveis como próton, magnetismo, inconsciente etc., são úteis apenas para elucidar os fenômenos visíveis, sem qualquer intenção de corresponder a uma estrutura real (MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 2002), ficando claro, portanto, que o empirismo construtivista é uma posição antirrealista.

Para sermos breves, digamos que Leibniz, aceita a teoria mas não acredita nela. Quando houver dificuldades, podemos ampliar o sentido daquela expressão, para dizer que ele aceita **a teoria como empiricamente adequada, mas que não acredita que ela seja verdadeira** (VAN FRAASSEN, 2007, p. 92)

Assim, a teoria de Newton não é verdadeira nem falsa, ela apenas explica um sistema que pode existir ou não na natureza. Por exemplo, o sistema solar não seria newtoniano nessa concepção, pois a anomalia da órbita de Mercúrio não atende às leis do movimento e da gravitação universal de Newton. Isso não significa que a Teoria de Newton seja falsa ou verdadeira, ou *real*, apenas não se aplica ao sistema solar, mas pode se aplicar a outros sistemas (MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 2002). Essa concepção se aplica em grande parte às teorias em ciências naturais, por serem compostas de regras e exceções.

O cerne do empirismo construtivista é a construção de modelos que devem ser adequados aos fenômenos, e não no encontro da verdade relativa àquilo que é inobservável; o adjetivo “construtivista” é enfatizado, sugerindo que a atividade científica deve ser uma atividade de construção e não de descoberta (VALE, 2013). Nesse contexto, apenas o que é observável no discurso das ciências é verdadeiro, o resto é irrelevante (GAVA, 2017).

Porém, diferenciar o observável do inobservável não é algo tão fácil, pois são definições ambíguas que variam de acordo com o contexto (GAVA, 2010) de modo que não há distinção clara de onde a observação acaba (MORAES, 2008). Van Fraassen (2007) explica que a observabilidade depende da atividade epistêmica, citando como exemplo os satélites de Júpiter que podem ser observados por telescópios, porém também podem ser observados sem telescópio, caso o observador esteja muito perto deles – sendo assim, a observação não depende da existência ou não dos satélites, mas sim do experimento do observador.

1.5 Modelos na Epistemologia Cognitivista de Ronald Giere

Ronald Giere é um dos autores que defendem a ideia da centralidade dos modelos na ciência, alegando que modelo é um conceito fundamental na prática científica enquanto entes representacionais dos aspectos do mundo, utilizados pelos cientistas, dando-se um foco maior nos modelos teóricos, os quais o autor classifica como objetos abstratos, entidades imaginárias que podem ou não ser análogas às entidades correspondentes no mundo real (BARRETO; BERJANO, 2013)

Giere concebe que o modelo seria uma estrutura cognitiva de algo que lhes atribui um papel fundamental na prática científica. Muito do que o autor prega tem base no empirismo construtivista de van Fraassen. Todavia, para Giere, muito embora os modelos deixem de ser meros adornos, estes possuem propriedades dadas pelas teorias científicas, satisfazendo aquilo que determinadas leis postulam. Logo, o autor defende uma abordagem realista da semântica, discordando assim do antirrealismo semântico defendido por van Fraassen (GRECA; SANTOS, 2005).

Giere propõe os modelos como unidade de sua análise da ciência, discutindo que as teorias científicas são estruturadas sobre a base de certas famílias de modelos, sendo cada um destes modelos um mapa cognitivo individualizado representando um tipo de situação possível (GRECA; SANTOS, 2005).

Cada modelo é uma *estrutura cognitiva* projetando alguma situação provável, por exemplo, um mapa é um tipo de modelo baseado em semelhança topológica, determinado por relações espaciais entre estruturas reais, fazendo com que o mapa apresente aspectos *similares* à região mapeada – similares mas não idênticos, correspondendo à realidade em três aspectos: representam alguns aspectos do território (linhas representando ruas e desenhos de edificações); elementos representados incompletos (não contendo toda a extensão de uma rua ou não contendo a altura das edificações); *precisão limitada* (distâncias relativas no mapa podem não corresponder exatamente às distâncias relativas na superfície do território representado). Essa relação não poderia ser diferente, pois um mapa idêntico a um território já não seria mais um mapa e sim o próprio território (PRESTES, 2013), ratificando a ideia de representação do modelo não corresponder à ideia de igualdade.

Giere também discute estruturas como diagramas e modelos tridimensionais em escala – ou seja, modelos físicos. Nos modelos tridimensionais em escala, a relação espacial é a determinante no processo de modelagem, como se

observa em uma maquete de uma casa ou em modelo físico da dupla hélice da molécula de DNA, sendo que, nesses dois exemplos, a relação espacial é a base da relação *estrutural*. Por sua vez, nos diagramas (como nos circuitos elétricos, por exemplo) são determinados por uma relação de conexão na modelagem e não uma relação espacial (PRESTES, 2013).

Giere argumenta que modelos são diferentes da realidade e por isso não podem, e nem devem ser vistos como a mesma coisa. Caso contrário, um modelo que tenta ser a realidade não pode ser definido como modelo, mas uma descrição do real. Portanto, modelos expõem aquilo que é teoricamente provável e não o que é real (BARRETO; BERJANO, 2016).

Além disso, como afirma Giere (2004): o modelo por si só não realiza a representação, é o cientista que faz com que o modelo represente a teoria. Assim, o papel de representação não é algo próprio do modelo e sim algo atribuído a ele. Desta forma, dentro de uma perspectiva ontológica, um modelo não seria uma representação em si, mas algo construído e utilizado para representar, dentre outras funções. Por fim, para Giere, o uso que se faz de um modelo depende do propósito que se quer alcançar (JESUS; SILVA; GONZALEZ, 2019).

2 MODELOS NO ENSINO DE CIÊNCIAS

2.1 Definições de Modelos

O ser humano pode criar modelos para a construção do conhecimento a respeito de tudo em sua volta. Esses modelos podem significar a representação de uma ideia, um objeto, um evento, um sistema, ou ainda podem ser representações mentais comparativas abstraídas de conceitos ou eventos (QUINTO; FERRACIOLI, 2008). A ciência, de modo geral, tem o intuito de alcançar uma compreensão aproximada do mundo real, fazendo uso de instrumentos como os modelos e as teorias. Todavia, a abordagem a modelos científicos na literatura é ampla e não consensual, de modo que não é tarefa simples definir o conceito de modelos em ciência, o que pode ensejar diversos conceitos (MENDONÇA; ALMEIDA, 2012).

Um dos tipos mais comuns e debatidos de modelo é o **modelo mental**. Modelos mentais são representações dinâmicas e generativas que podem ser manuseadas mentalmente, para fornecer elucidações causais de fenômenos físicos e fazer previsões sobre estados do mundo real, subentendendo-se que muitos modelos mentais são produzidos instantaneamente diante de um problema com o intuito de solucioná-lo. Alguns modelos mentais, ou parte deles, ficam armazenados na memória do indivíduo, uma vez que, quando usados, trouxeram resultados satisfatórios, assim passam a ser recuperados da memória quando necessários. Modelo mental é ainda uma representação individual de uma determinada coisa, conceito, estrutura, um alvo (KRAPAS et al, 1997).

No campo das ciências, os modelos mentais podem ser percebidos nas várias formas imagéticas de se representar um dado conceito, por exemplo, os modelos celulares não são idênticos em todos os livros didáticos, pois o importante é conhecer o padrão estrutural e o conseqüente funcionamento da célula e não a sua aparência, isso fica ainda mais nítido nas atividades de modelagem celular, comumente debatidas em pesquisas sobre ensino de ciências/biologia, conforme se observa nas figuras 3 e 4 a seguir:

Figura 3: Modelos celulares produzidos por aluno



Fonte: Silva et al (2014)

Figura 4: Modelos celulares produzidos por professores



Fonte: Barros (2018)

A figura 3 constitui duas representações celulares feitas por alunos de uma mesma sala de aula, enquanto que a figura 4 consiste em representações celulares, feitas por professores de um mesmo grupo de estudos. Nota-se que todas as imagens representam células, nenhuma é igual a outra, ainda que os indivíduos que as produziram compartilhem o mesmo nível e espaço de ensino, cada indivíduo materializou seu modelo mental de célula.

Os modelos mentais, na perspectiva de Philip Johnson-Laird (1983 apud MOREIRA, 2014), são estruturas comparáveis, análogas, equivalentes ao estado das coisas do mundo. São representações internas de informações que correspondem, semelhantemente, ao que está sendo representado. São, conseqüentemente, um modo de representação *analógica* do conhecimento. Como analogias, os modelos mentais não precisam ser tecnicamente acurados e perfeitos, e comumente não o são, todavia, devem ser funcionais: interagindo com o sistema de ideias nele representado, o indivíduo que o idealizou, sucessivamente, transforma seu modelo mental a fim de chegar a uma eficiência que atenda seus objetivos (MOREIRA, 2014).

Assim, a função epistêmica do modelo mental não se limita às suas funções representacionais.

Os modelos mentais não devem ser confundidos com modelos conceituais, muito embora ambos tenham em comum o fato de serem representações mentais que podem ser usadas por várias pessoas, além de serem representações de processos ou objetos do mundo real, estabelecidos por meio de relações de comparações. A principal diferença é que, enquanto o modelo mental é uma representação individual, o modelo conceitual é um produto oriundo de um processo de modelagem e que passa a ser compartilhado por uma certa comunidade, e pode ser, em determinadas circunstâncias, transformado em um objeto concreto (KRAPAS et al, 1997). Via de regra, a função epistêmica dos modelos conceituais é central nas ciências naturais, embora não se limite ao campo acadêmico.

Tomemos como exemplos de modelo conceitual do planeta Terra enquanto sua forma, que por muitos séculos foi modelado como sendo plana, o que posteriormente foi quase totalmente superado pela forma redonda. Ambos os exemplos, podem ser observados nas figuras 5 e 6 adiante:

Figura 5: Terra Esférica



Fonte: brasilecola.uol.com.br/curiosidades/qual-formato-terra.htm (2019)

Figura 6: Terra Plana



Fonte: revistaforum.com.br/brasil/sao-paulo-sera-sede-da-primeira-convencao-nacional-da-terra-

Sobre esse exemplo, ressalta-se que, ao contrário do modelo mental de célula, o modelo do Planeta Terra não é individualmente mentalizado por cada pessoa, mas compartilhado por uma comunidade: ou um grupo de indivíduos compartilha a imagem da terra redonda com oceanos azuis, continentes esverdeados e massas polares brancas nas extremidades norte-sul, algo que é atualmente aceito pela comunidade científica. Ou ainda, haverá um segundo grupo de pessoas que irá

compartilhar a ideia de uma Terra plana em forma de pizza, com oceanos azuis, continentes esverdeados e massas polares ao redor de toda a borda, o que não é aceito pela comunidade científica atual, logo os modelos conceituais podem ou não ser científicos.

Na visão epistemológica de Mario Bunge (1960,1974 apud MOREIRA, 2014), o modelo conceitual é uma idealização e simplificação humana sobre um fenômeno de interesse ou da situação-problema em pauta. A função epistêmica desse modelo conceitual é garantir ao seu idealizador uma imagem simbólica do real, a que serão conferidas certas propriedades tendendo inseri-lo em uma teoria capaz de descrevê-lo teórica e matematicamente, formando então o modelo teórico.

Ainda nesse contexto, no primeiro exemplo também se inserem, e, portanto, explicam determinadas teorias, haja vista que qualquer modelo de célula com mitocôndrias e/ou cloroplastos, independentemente de sua aparência, representa a Teoria da Endossimbiose. Desse modo, todo modelo imerso numa teoria é também um modelo teórico.

O modelo teórico é definido como a representação de uma teoria e a interpretação das leis e os axiomas desta teoria, sendo um intermédio entre a teoria geral e o objeto-modelo (MENDONÇA; ALMEIDA, 2012; GORRI, 2016) e assim como os modelos anteriormente citados, estes podem ou não ser científicos, pois nem toda teoria acerca de um fenômeno é científica, como pode se observar nas imagens a seguir:

Figura 7: Evolucionismo (Arvore filogenética de primatas)

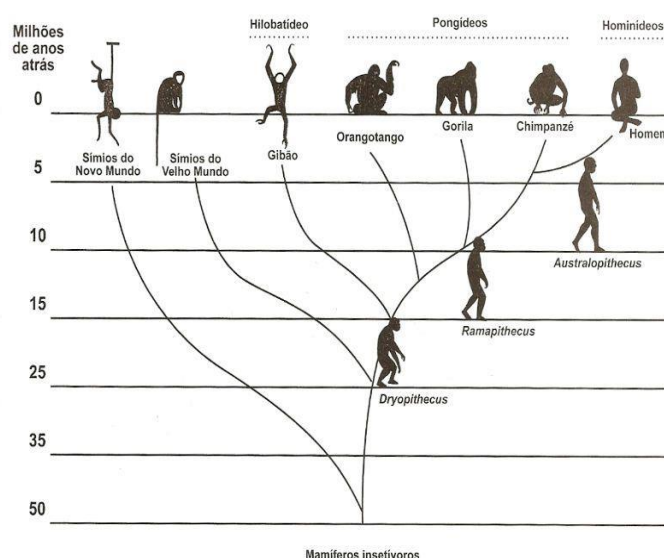


Figura 8: Arte ilustrando o Criacionismo



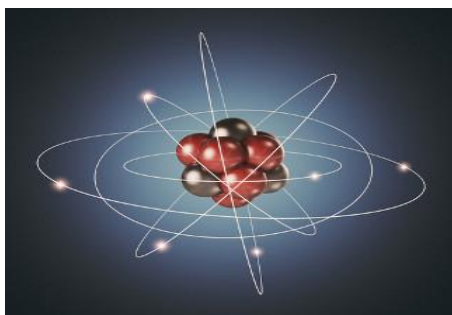
Fonte: <https://www.ufmg.br/online/arquivos/036398.shtml> (2020)

As imagens expressas na figura 7 e 8 estão diretamente ligadas às teorias da origem do homem, tanto que já são figuras registradas em materiais didáticos e na concepção das pessoas quando se pensa em criação/evolução humana. Dessa forma, ambas servem como modelos para representar duas teorias acerca do mesmo fenômeno (a origem do homem), sendo que a teoria Evolucionista é científica enquanto que a teoria Criacionista, não é científica.

O modelo teórico, quando imerso numa teoria científica, está ligado à compreensão do modelo como instrumento de representação do conhecimento científico numa perspectiva que o coloca como esquema abstrato da realidade desenvolvido de forma a selecionar os fenômenos de maior importância para o problema do objeto de investigação. Isso possibilita albergar as características fundamentais de um domínio de conhecimento (MENDONÇA; ALMEIDA, 2012).

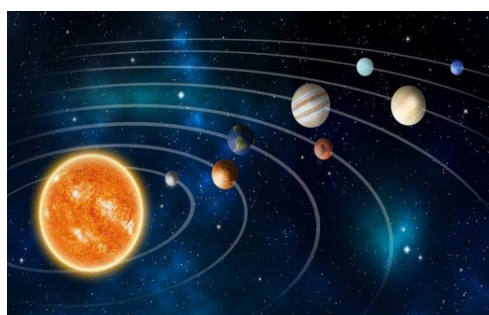
Já o modelo científico propriamente dito, ao contrário dos modelos anteriores, representa exclusivamente teorias científicas, não podendo este ser utilizado para representar estruturas pseudocientíficas ou não científicas. Modelos científicos são construídos por comunidades acadêmicas e científicas, sejam pesquisadores, engenheiros, professores etc., que buscam reproduções detalhadas, completas e consistentes de sistemas reais (MOREIRA, 2014) como as estruturas a seguir ilustradas nas figuras a seguir:

Figura 9: Modelo de Átomo



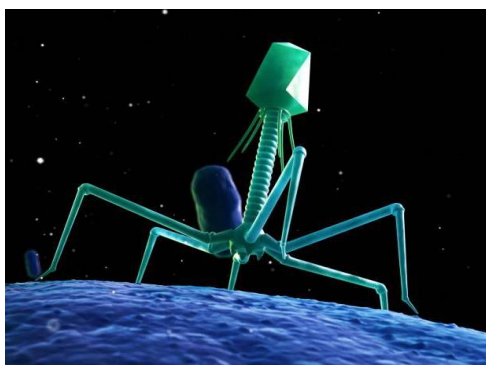
Fonte: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/estrutura-atomo.htm> (2020)

Figura 10: Modelo do Sistema Solar



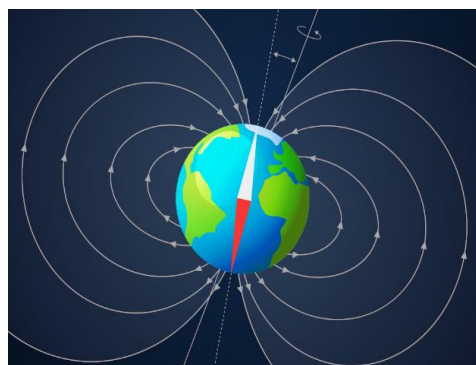
Fonte: brasilescola.uol.com.br/geografia/sistema-solar.htm (2020)

Figura 11: Modelo de Bacteriófago



Fonte: brasil.elpais.com/brasil/2019/05/23/ciencia/1558629279_769979.html (2020)

Figura 12: Modelo de Campo Magnético



Fonte: [tps://super.abril.com.br/ciencia/terra-ja-esteve-perto-de-perder-seu-campo-magn](https://super.abril.com.br/ciencia/terra-ja-esteve-perto-de-perder-seu-campo-magn) (2020)

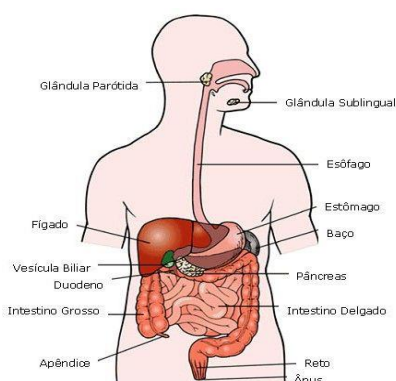
As imagens das figuras 9, 10, 11 e 12 retratam os modelos-padrão de conceitos científicos atuais, amplamente ensinados nas aulas de ciências naturais. Nesse contexto, o professor ensina modelos científicos para que os alunos formem modelos mentais condizentes com esses que, por sua vez, devem ser equivalentes aos sistemas naturais que foram modelados. Em vista disso, o objetivo do ensino por meio de modelos científicos e teóricos é conduzir o educando a construir modelos mentais apropriados e harmônicos aos sistemas do mundo real. Dessa forma, os modelos conceituais, teóricos e científicos auxiliam na construção de modelos mentais que esclarecem concretamente um conhecimento aceito em uma determinada área (MOREIRA, 2014).

No contexto do ensino de ciências existe ainda o modelo curricular, sugerido por Gilbert (2004 apud PASSAMRE; GOUVEA; GIÉRE, 2014) que consiste em uma versão simplificada dos modelos científicos, especificamente adaptada para

uso em sala de aula, a fim de produzir conhecimento científico de modo menos dificultoso. Por isso, professores e projetistas de currículo precisam selecionar cuidadosamente ou construir versões de modelos com os quais os alunos podem pensar de forma produtiva. Esse tipo de modelo é definido por Krapas (1997) como modelo pedagógico, cujo objetivo é auxiliar na compreensão de um modelo consensual, logo os tradicionais modelos ensinados na escola são modelos compartilhados por um grupo, geralmente cientista e pesquisadores, mais adaptados para facilitar o entendimento de estudantes.

Atlas, mapas, maquetes e as próprias imagens padronizadas nos materiais didáticos são alguns exemplos de adaptações de modelos científicos para versões mais simplificadas, didáticas e pedagógicas, isso facilita a assimilação e compreensão dos modelos e dos conceitos neles representados, como podemos observar nas figuras a seguir:

Figura 13: Atlas do sistema digestório



Fonte: auladeanatomia.com/novosite/pt/sistemas/sistema-digestorio/ (2020)

Figura 14: Mapa dos ecossistemas brasileiros



Fonte: educamaisbrasil.com.br/enem/biologia/biomas-brasileiros (2020)

A figura 13, que retrata um modelo de sistema digestório na forma de atlas, é bem mais simples e acessível a estudantes do ensino fundamental, se comparado a peças anatômicas reais ou sintéticas, que oferecem uma imagem bem mais complexa e talvez mais difícil de compreender as estruturas e o processo da digestão. Enquanto que na figura 14, o mapa de ecossistemas é muito mais simples para se compreender a localização e distribuição dos elementos naturais que compõem os ecossistemas brasileiros do que tentar observar esses elementos no mundo real ou reproduzi-los em sala de aula.

A grande maioria das definições de modelo foca-se em conceitos abstratos – o modelo como “mentefato”. Entretanto, objetos físicos também podem ser modelos – por exemplo, protótipos de embarcações, pontes, prédios, aviões, veículos ou os modelos materializados a partir de modelos teóricos, conceituais, curriculares representado DNA, célula, órgãos, átomos, sistema solar etc. (MENDONÇA; ALMEIDA, 2012), como pode ser observado nas figuras 15, 16 e 17 adiante:

Figura 15: Globo terrestre



Fonte: Castelli et al(2013)

Figura 16: Molécula de Metano



Fonte: Creppe (2019)

Figura 17: Cromossomos



Fonte: Mariz (2014)

Entretanto, é importante entender o modelo material para além de uma forma tridimensional de uma abstração, também é preciso definir o papel epistêmico e ontológico dos modelos materiais. Ao contrário dos outros tipos de modelos, o modelo material parece não ter uma função específica no contexto das reflexões científicas e da filosofia da ciência, sendo simplesmente a materialização de algo ou a reprodução física de algum conceito no sentido de representá-lo. Contudo, sua importância epistemológica aparenta estar aquém dos demais modelos comentados. Como veremos, uma análise da literatura revela uma complexidade maior dos modelos materiais do que esse arrazoado sugere.

2.2 Modelos Materiais e Representação

O relativo sucesso das teorias semânticas da ciência – incluindo a teoria cognitiva de Giere e o empirismo construtivista de van Fraassen – levou a comunidade de educação científica a reconhecer os modelos e a modelagem como aspectos importantes da prática científica (PASSAMRE; GOUVEA; GIÈRE, 2014). Se os

modelos são unidades fundamentais na fundação de teorias científicas, e se a aprendizagem pode se dar pela formação de modelos mentais, entender e manipular modelos pode ser bastante favorável para a relação ensino-aprendizagem (LE MOIGNE, 1977 apud MENDONÇA; ALMEIDA, 2012). Especificamente, um foco explícito na modelagem ajuda a organizar práticas científicas como representação, experimentação e argumentação em torno do propósito de dar sentido aos fenômenos. (PASSAMRE; GOUVEA; GIÉRE, 2014).

“As práticas de pensamento dos cientistas envolvem a construção de representações assim como outras atividades de resolução de problemas” (KRAPAS et al., 1997, p. 187). A representação de um fenômeno, seja ela visual, pictórica ou escultural, não trata de produzir “cópias” exatas de seus originais. A distorção, infidelidade, falta de semelhança em determinados aspectos, podem ser determinantes para o sucesso de uma representação (VAN FRAASSEN, 2008). Todavia, não significa que a semelhança seja dispensável em todos os aspectos (VAN FRAASSEN, 2008), tanto que GIÉRE (2009) presume que haja alguma semelhança relevante entre um modelo materializado (representação física) e seu alvo (fenômeno ou entidade representada). A relação entre o modelo e o alvo por meio da semelhança é algo discutido no campo dos modelos mentais:

Estes autores enfatizam o papel central das analogias na construção de modelos mentais. Diante do domínio alvo, relações analógicas entre ele e um domínio que serve de fonte são estabelecidas, colocando em evidência atributos e certas partes das estruturas comuns a ambos, que vão então fazer parte do modelo. Portanto, para eles, as relações analógicas são o coração dos modelos (KRAPAS et al, 1997, p. 186).

Em contrapartida, apelar apenas para a semelhança não implica que qualquer objeto que é semelhante a um fenômeno natural seja um modelo. Um globo, por exemplo, não é um modelo da Terra por padrão de forma, pois um modelo somente torna-se modelo quando é usado para dar sentido a algum padrão intrigante ou responder a alguma pergunta. O mesmo objeto pode ser ou não um modelo dependendo de como está sendo usado (PASSAMRE; GOUVEA; GIÉRE, 2014).

A semelhança não é o critério correto para a representação, pois há uma **assimetria** na representação, algo que não existe na semelhança. Na semelhança, a imagem corresponde ao real e o real corresponde à imagem, enquanto que a representação não é simplesmente assemelhar (em algum aspecto), é ter uma

propriedade (do tipo pertinente) em comum entre a representação e o representado (VAN FRAASSEN, 2008). Então, somos novamente forçados a considerar o que é necessário, além da similaridade, para estabelecer uma relação representacional entre um objeto físico e outro (GIERE, 2009).

Van Fraassen (2008) sugere os conceitos de isomorfismo e homomorfismo para dissipar essas questões. Quando *A* é isomorfo de *B*, então podemos dizer a esse respeito que *B* assemelha-se a *A*, assim como *A* se assemelha a *B*. Porém, se *A* é a imagem homomórfica de *B*, então há uma redução de *B*; *B* somente é equivalente a *A* em certos modos ou formas de representação, mas não em todas. Essa equivalência ocorre de forma seletiva (e não arbitrária) das semelhanças por seu efeito, eficácia e utilidade, e essa relação normalmente vai em uma direção só (VAN FRAASSEN, 2008). Isso equivale a dizer que a relação homomórfica é uma descrição de “semelhante em relação a...”, e para qualquer relação, pode-se ter diferentes graus de similaridade, qualitativos ou mesmo quantitativos (GIERE, 2009).

A representação sempre é condicionada ao contexto. Por exemplo, se alguém enviar de Paris a imagem da Torre Eiffel em um cartão postal, com uma nota "Gostaria que você estivesse aqui!", então ela é mesmo uma foto da Torre Eiffel. No entanto se a foto da Torre Eiffel for inserida num livro que fala sobre fotografias, então ela representa uma famosa foto de Doisneau⁴, tendo ainda outras possibilidades para esse exemplo. Em outras palavras, uma imagem depende do uso para representar determinada coisa (VAN FRAASSEN, 2008).

Nesse contexto em que a representação está ligada à função e não à semelhança, os modelos teóricos comumente usados na ciência, desempenham a função primordial de representar aspectos do mundo. No entanto, a função representacional dos modelos não é algo simples. Os modelos são *mentefatos*: objetos imaginários que podem não existir no mundo real, enquanto a coisa representada é algo concreto no mundo real (GIERE, 2009). Isso faz com que haja diferenças, imperfeições, fragmentações e complementações entre o modelo materializado (modelo físico) e a coisa representada (FRAASSEN, 2008).

4 Robert Doisneau (Gentilly, 14 de abril de 1912 – Paris, 1 de abril de 1994) foi um famoso fotógrafo nascido na cidade de Gentilly, Val-de-Marne, na França. Sua preferência por fotos de pessoas em situações cotidianas no ambiente urbano o fez produzir centenas de fotos nas cercanias da Torre Eiffel. Uma amostra pode ser vista em <https://www.robert-doisneau.com/en/portfolios/1919,paris-tour>

No caso dos modelos materiais, a representação é seletiva, de modo que serão selecionadas partes existentes na estrutura real para serem representadas no modelo físico, pois nem todos os recursos de um modelo terão contrapartes no mundo real, e a realidade terá muitos recursos não representados no modelo materializado. De igual modo, o modelo material também possui partes que não condizem com a realidade. Por exemplo, o modelo de Watson e Crick tinha algumas peças feitas de estanho que obviamente não têm contrapartida em uma molécula de DNA (GIERE, 2009).

Com isso, pode-se concluir que a representação por meio de modelos materiais funciona principalmente por similaridade seletiva, por meio da qual a seleção é feita pelo agente, empregando o modelo. Logo, a ideia é de que os modelos materiais, em sua forma mais básica, por si mesmos não têm significado nenhum, nem mesmo de representar algo, para isso é necessário um agente (GIERE, 2009). Esse agente denomina-se agente cognitivo, que tem como funções dar sentido e explicar o modelo e o que nele está representado, estabelecendo assim uma correta relação triádica (entre modelo, agente cognitivo e fenômeno) que melhor definirá a representação (PASSAMRE; GOUVEA; GIÉRE, 2014).

2.3 Modelos no Ensino De Ciências Naturais

Os modelos são centrais para a construção de sentido científico. Eles fornecem uma maneira de organizar nossa compreensão das práticas científicas e uma maneira de entender o propósito da atividade científica, bem como enquadrar a forma como traduzimos essa prática nas salas de aula de ciências para apoiar a criação de sentido significativo (PASSAMRE; GOUVEA; GIÉRE, 2014).

Atualmente ideias sobre o uso de modelos e o processo de modelagem, são pauta de discussão por pesquisadores da área de Ensino de Ciências. Os argumentos favoráveis ao uso de modelos em salas de aula são de ordem pedagógica (isto é, relativos aos processos de ensino-aprendizagem) e epistemológica (isto é, relativos aos processos associados à investigação científica) (PRESTES, 2013, p. 07)

Dentro das perspectivas tanto epistemológica quanto pedagógica, modelos teóricos e conceituais são manipulados para produzir conhecimento científico novo, por esse motivo são complexos para ensinar conceitos científicos e nesse processo os modelos curriculares tornam-se mais eficientes. Por isso, professores e projetistas

de currículo precisam selecionar cuidadosamente ou construir versões de modelos com os quais os alunos podem pensar de forma produtiva (GILBERT, 2004 apud PASSAMRE; GOUVEA; GIERE, 2014).

Tanto professores quanto cientistas usam comparações e modelos para explicarem ideias e conceitos científicos abstratos complexos. Diante das complexidades desses conceitos, o professor pode orientar os alunos a distinguir a representação que o cientista atribui ao modelo daquela compreendida pelo próprio aluno, pois a representação do modelo não é permanente, dado que estes são tomados como invenções humanas baseadas em um certo entendimento de como funciona a natureza, entendimento este que pode ser alterado, pois nas ciências modelos são parciais (PRESTES, 2013).

No ensino de ciências, muitos equívocos podem ocorrer no uso dos modelos: os estudantes podem aprender um modelo e não o conceito que ele pretende ilustrar; podem compreender o modelo como a realidade, não percebendo os limites e a escala que foi usada entre o modelo e a entidade/conceito representado; não identificarem os atributos não compartilhados entre o modelo e o fenômeno modelado; escolherem os modelos mais fáceis de compreender, menos detalhados; e não saberem aplicá-los em algum contexto prático (PRESTES, 2013), dificultando a compreensão do modelo e da coisa nele representada.

Nesse sentido, é importante selecionar modelos para a educação, pois, mais uma vez, isso situa o modelo no contexto de seu uso, ajudando a manter o foco no raciocínio e a fazer com que o modelo tenha significado, ao invés de ser reduzido a apenas mais uma coisa a ser aprendida por rotina de ciência na sala de aula. Modelos devem ser implantados em salas de aula de ciências, como entidades que ajudam a organizar e concentrar uma classe de atividades cognitivas em direção a um claro objetivo de fazer sentido (PASSAMRE; GOUVEA; GIERE, 2014).

A modelagem em ciências, na sala de aula, tem o potencial para utilizar os poderosos recursos de aprendizado e raciocínio que todos os alunos trazem para a sala de aula e para criar um ambiente em que os alunos tornem-se mais ativos, acabando por resultar em alunos que desenvolvam sua capacidade de raciocinar sobre o mundo complexo (PASSAMRE; GOUVEA; GIERE, 2014).

Tanto um cientista como um aluno que aprende ciência interage constantemente com modelos em seu cotidiano. Por isso, uma verdadeira educação científica não pode se poupar das discussões sobre os modelos e sua função na

ciência, pois estes são componentes essenciais da construção do conhecimento científico (BRAGA; TOLEDO, 2013). É o que PRESTES (2013) chama de “compreensão sobre a Natureza da Ciência”:

Do ponto de vista epistemológico, a contribuição do uso de modelos nas aulas de ciências deriva do fato deles auxiliarem os estudantes a aprimorarem a sua compreensão sobre a Natureza da Ciência (NdC). Funcionando como elo de ligação entre os dois mundos, o dos cientistas e o da escola, os modelos e os processos de modelagem permitem conhecer a racionalidade científica e o modo como os cientistas trabalham. Além disso, os modelos são úteis no ensino porque refletem a natureza de disciplinas científicas próximas como a química, a física e a biologia (PRESTES, 2013, p. 7).

Haja vista os variados sentidos referentes a modelos no campo da educação em ciências, indo de artefatos em museus às representações de cientistas e estudantes, alguns autores mencionam que é necessário discorrer sobre modelos e modelagem. A discussão desse tema justifica-se pelo reconhecimento da função dos modelos e modelagem na investigação científica e nas práticas dos cientistas; na criação de um aspecto construtivista da aprendizagem na qual a dinâmica de interações em sala de aula envolve uma conexão entre modelos; e a relativa comprovação do papel concreto de modelos pedagógicos na educação em ciências (KRAPAS et al, 1997).

Do ponto de vista pedagógico, argumenta-se que os estudantes devem aprender a desenvolver modelos porque eles são ferramentas didáticas que facilitam a compreensão de um fenômeno abstrato a partir de uma referência concreta e articulada com os conhecimentos prévios dos alunos. Pesquisas recentes em Ensino de Ciências tem mostrado que algumas abordagens pedagógicas do uso de modelos permitiram que os estudantes desenvolvessem uma consciência metacognitiva⁴, assim como forneceram ferramentas para os alunos refletirem sobre sua própria compreensão científica dos fenômenos (PRESTES, 2013, p. 7).

Entretanto, apesar da relevância que os modelos têm, a modelagem é ignorada na prática do ensino de Ciências, comumente dando espaço ao treinamento de conceitos para que os alunos saibam respostas certas nas provas, estimulando e exigindo a memorização de respostas, o que constitui um ensino ineficaz e anticientífico (MOREIRA, 2014).

O uso de comparações e modelos na educação ainda é pouco frequente, o que provavelmente se deve à carência de técnicas adequadas ao emprego de modelos e à insegurança que os professores têm de elaborar analogias e modelos equivocados (PRESTES, 2013).

A educação em ciências, enquanto um processo de construção, vê algo de fundamental no raciocínio analógico, pois aprender por intermédio de modelos

científicos significa aprender as relações de semelhanças estabelecidas entre o modelo e o mundo real. Nesse sentido, quanto maior for a capacidade modeladora do discente mais significativa será sua aprendizagem (KRAPAS et al, 1997).

3 PERCURSO METODOLÓGICO

Nesse contexto em que a modelagem constitui um processo significativo na aprendizagem, torna-se importante averiguar como se dar esse processo na prática, precisamente no âmbito da educação em ciências onde os modelos predominam, representando muitos conceitos, teorias e processos, sendo extremamente difícil dissociar essa relação modelo/ciência. Diante disso, o presente estudo realizou buscas acerca de pesquisas práticas na produção de modelos científicos no campo do ensino de ciências, obedecendo as diretrizes a seguir:

3.1 Materiais e métodos

3.1.1 Classificação da Pesquisa

Este estudo trata-se de uma pesquisa qualitativa quanto à sua abordagem de privilegiar as informações, conceitos e definições no seus resultados e na solução do problema que é conceitual, portanto dispensa quantificação de dados. É um estudo básico, quanto à sua natureza, por pretender gerar conhecimentos novos e úteis para o progresso da Ciência, sem contudo gerar aplicação imediata de tais conhecimentos; a pesquisa é também exploratória em seu objetivo, pois almeja proporcionar maior intimidade com o problema tornando-o mais explícito; por fim trata-se de um trabalho bibliográfico, quanto ao seu procedimento, pois foi realizada a partir do levantamento de referências teóricas que já receberam tratamento analítico, devidamente publicadas (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

3.1.2 Métodos de Coleta e Análise de Dados

Esta pesquisa se deu por meio da técnica da Revisão Integrativa da Literatura, tipo de revisão eficiente e com certa tradição nas pesquisas na área da saúde, visando a utilização de resultados de outras pesquisas, sendo um método amplo dentre as revisões e combinando dados da literatura (SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010; MENDES, SILVEIRA, GALVÃO, 2008) sendo que, neste caso, todos os seus princípios desse tipo de revisão foram adaptados para esta pesquisa na área de ensino.

3.1.3 Etapas

Baseado nas seis etapas da revisão integrativa dantes mencionada, foi realizada:

➤ ETAPA 1: Definição do(s) problema(s);

O problema já está exposto no corpo deste projeto, porém a revisão integrativa permite definições de mais de um problema e hipóteses, portanto outras questões que foram usadas neste trabalho são: de que modo os modelos físicos são confeccionados para o ensino de ciências? Qual público educacional os modelos físicos atendem? Como os modelos físicos são avaliados na prática de ensino? Entre outros.

➤ ETAPA 2: Estabelecimento de Critérios e realização de busca;

Critérios de inclusão utilizados: trabalhos práticos (pesquisas de campo, de laboratório, intervenção, observação etc.); trabalhos completos; pesquisas na educação básica; pesquisas em educação no ensino superior; e trabalhos em língua portuguesa.

Critérios de exclusão: trabalhos incompletos (resumos); trabalhos que utilizam modelos físicos em temas/disciplinas/áreas fora do contexto das ciências naturais (matemática, história, sociologia etc.); trabalhos teóricos (revisões); pesquisas fora do contexto do ensino/educação; e trabalhos de língua estrangeira.

Definidos os critérios, as buscas foram procedidas por utilização da base de dados para levantamento bibliográfico os sites dos domínios: Google Acadêmico, Scielo, Periódicos Capes, e Biblioteca Digital de Teses e Dissertações. Todos foram previamente configurados para apresentar resultados em língua portuguesa, sem limite mínimo de tempo (ano ou década de publicações), mas com limite máximo de dezembro/ 2019.

Foram incluídos nos domínios os seguintes Termos Indexadores: “modelos físicos” AND “ensino de ciências”; “modelos físicos” AND “ensino de biologia”; “modelos físicos” AND “ensino de química”; “modelos físicos” AND “ensino de física”; “maquete” AND “ensino de ciências”; “maquete” AND “ensino de biologia”; “maquete” AND “ensino de química”; “maquete” AND “ensino de física”; “recurso didático” AND

“ensino de ciências”; “recurso didático” AND “ensino de química”; “recurso didático” AND “ensino de física”; “modelo tridimensional” AND “ensino de ciências”; “modelo tridimensional” AND “ensino de biologia”; “modelo tridimensional” AND “ensino de química”; “modelo tridimensional” AND “ensino de física”; “protótipo” AND “ensino de biologia”; “protótipo” AND “ensino de química”; “protótipo” AND “ensino de física”; “protótipo” AND “ensino de ciências”; “modelagem tridimensional” AND “ensino de ciências”; “modelagem tridimensional” AND “ensino de biologia”; “modelagem tridimensional” AND “ensino de química”; “modelagem tridimensional” AND “ensino de física”; “modelo icónico” AND “ensino de ciências”; “modelo icónico” AND “ensino de química”; “modelo icónico” AND “ensino de biologia”; “modelo icónico” AND “ensino de física”; “modelo 3D” AND “ensino de ciências”; “modelo 3D” AND “ensino de química”; “modelo 3D” AND “ensino de biologia”; “modelo 3D” AND “ensino de física”; “modelo material” AND “ensino de ciências”; “modelo material” AND “ensino de química”; “modelo material” AND “ensino de biologia”; “modelo material” AND “ensino de física”; “modelagem científica” AND “ensino de ciências”; “modelagem científica” AND “ensino de biologia”; “modelagem científica” AND “ensino de química”; “modelagem científica” AND “ensino de física”.

➤ ETAPA 3: Categorização de Resultados;

Inicialmente, procedeu-se à triagem dos trabalhos com auxílio de uma das técnicas do método da revisão sistemática, consistindo na leitura de títulos das pesquisas, e quando necessária, a leitura de resumos e do corpo do trabalho, promovendo assim a seleção dos trabalhos que atendem aos critérios de inclusão (CASTRO, 2001). A partir da seleção dos textos de interesse, procedeu-se à categorização de resultados, com auxílio do método de análise categorial, que permitiu a construção de categorias conforme os temas fossem emergidos dos textos selecionados (CAREGNATO; MUTTI, 2006).

➤ ETAPA 4 e 5: Avaliação / Interpretação dos resultados;

A avaliação de resultados foi realizada com subsidio do método de análise de conteúdo de textos escritos, composta de etapas como a leitura, codificação e

agrupamento dos textos (CAREGNATO; MUTTI, 2006), etapas semelhantes à própria revisão integrativa, pois nesse caso os métodos serão complementares um do outro.

Dessa forma, a interpretação dos resultados permite a comparação dos achados com o referencial teórico, que no caso desta pesquisa buscou-se fazer uma conexão com autores e teóricos que exaltam o papel do modelo na ciência e/ou no ensino de ciências. Além disso, serão feitas ponderações do próprio autor desta pesquisa na identificação de pontos positivos e negativos envolvidos nos resultados, por exemplo.

➤ ETAPA 6 - Apresentação da revisão/síntese do conhecimento

A apresentação da revisão pode ocorrer por meio de listas, tabelas, quadros e principalmente enunciados, os quais elencarão e destacarão a síntese dos resultados encontrados. Não foram aplicadas quantificações e gráficos de resultados coincidentes pelo caráter qualitativo da pesquisa, uma vez que é uma pesquisa qualitativa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontradas 104 publicações acadêmicas dentre teses, dissertações, monografias e artigos que atenderam aos critérios estabelecidos. Observou-se nesses trabalhos que todos foram avaliados pelos seus autores como eficientes, positivos e benéficos em algum aspecto para o ensino de ciências ou para a educação como um todo.

Da leitura cuidadosa de tais produções, percebeu-se convergência dos métodos e destinação das pesquisas, fazendo-se com que as mesmas fossem separadas, em três categorias: Recursos Tecnológicos; Métodos Alternativos; e Acessibilidade.

Foi observada ainda a convergência de elementos que compunham tais pesquisa, independentemente da categoria, geralmente dois (às vezes três) elementos são constantes nesse tipo de estudo. O primeiro elemento seria o método ou técnica que pretende inovar no ensino de ciências, produzindo resultados satisfatórios ou melhores que os métodos tradicionais de ensino; o segundo elemento configura-se o modelo material produzido, sendo um produto final elaborado pelo aluno, professor, ou pelo próprio autor da pesquisa, um objeto no qual se testa e representa um conceito ou teoria ou simplesmente ilustra uma entidade científica. O terceiro elemento, por vezes ausentes em alguns dessas pesquisas, é a teoria que justifica, subsidia e antecede a técnica, tais como a Epistemologia de Mario Bunge (SILVA, 2018), Aprendizagem Significativa de Ausubel (BOUZON, 2015), Aprendizagem Sociointeracionista de Vygotsky (CANTÃO, 2014), e a Defectologia de Vygotsky (MENDONÇA, 2015) são alguns exemplos.

A confluência dessas categorias também possibilitou observar que em poucos trabalhos o modelo material denotava, por vezes, a ideia de representação fiel da realidade ou noutros casos a concepção de representar/ensinar algo hipotético passível de ser real. Isso fez com que surgisse uma nova categoria, aqui nomeada de Representação para discussão de como os pesquisadores interpretam os modelos materiais quanto à existência e aos significados das entidades neles representados.

Ficou claro que existe grande foco e importância dada aos método/técnicas e à teoria sustentadora da pesquisa, contudo, o produto intermediário ou final que vem a ser o modelo material propriamente dito, geralmente se caracteriza como mais um material didático auxiliar e eficiente no ensino das ciências. Em alguns casos recebe

uma atenção maior se tornando a própria finalidade da pesquisa, enquanto que em outras circunstâncias recebe uma importância bem menor, figurando como meras ilustrações de uma atividade transitória e descontínua, no qual os próprios alunos construíram como forma de demonstrar aprendizado sobre algo. Assim, o modelo físico tem seu papel e relevância variada nos estudos acadêmicos, dependendo da categoria em que foi enquadrado. No que se segue, discutimos as categorias que foram identificadas.

4.1 Recursos Tecnológicos

A categoria Recursos Tecnológicos, com 22 publicações, agrupou-se aos trabalhos caracterizados pelo uso de modelos científicos ou processos científicos materializados, por meio de métodos tecnológicos sofisticados, ou produzidos por materiais caros, ou de difícil acesso, por tecnologia avançada e por técnicas aprimoradas quando comparadas às limitações da educação básica, especialmente a escola pública. Nessa categoria os seguintes trabalhos foram incluídos:

Tabela 1: Pesquisas classificadas na categoria Recursos Tecnológicos

Autor	Título	Método/Técnica/Público	Modelo
AGUIAR (2016)	Um processo para utilizar a tecnologia de impressão 3D na construção de instrumentos didáticos para o ensino de ciências	Modelagem por <i>softwares</i> e impressão do modelo 3D. Público: alunos de graduação.	Célula; Movimento Uniforme Variado; Imã
ALMEIDA (2010)	Ferramenta de auxílio no processo de Ensino-aprendizagem: eficácia da utilização de kit educacional no primeiro ano do Ensino Médio na disciplina de Química	Montagem de Tetraedros moleculares através de kits. Reconhecimento de estruturas moleculares por <i>software</i> captador de movimentos oculares. Público: alunos de ensino médio	Moléculas e ligações químicas.
ALMEIDA (2016)	LEGO EDUCATION: Um recurso didático para o ensino e aprendizagem sobre artrópodes quelicerados	Montagem de robô através de kit LEGO e software próprio. Público: alunos de ensino médio	Aracnídeo
ALMEIDA (2019)	Modelos 3d impressos como estratégia para a aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato	Impressão 3D. Público: Estudantes de Licenciatura em Química	Enzima-Substrato
AZEVEDO et al (2019)	Espectroscopia óptica de baixo custo: uma estratégia para a introdução de	Montagem de espectrômetro óptico com MDF, lentes, LEDs	Fenômenos ópticos

BASÍLIO (2019)	conceitos de física quântica no ensino médio Modelagem molecular uma proposta interdisciplinar	e cálculos matemáticos. NÃO APLICADO A PÚBLICO. Criação através de kits prontos e programas de computador. Público: Alunos de ensino médio	Moléculas
CATELLI et al (2013)	Um objeto-modelo didático do movimento aparente do sol em relação ao fundo de estrelas	Uso do software Stellarium; impressão de mapa celeste; montagem de um cilindro com gravuras de constelações; réplicas da Terra em isopor. NÃO APLICADO	Abóboda celeste; Movimentos dos astros
COSTA JUNIOR (2017)	Uma estratégia utilizando robótica para o ensino dos conceitos de velocidade e aceleração escalares	Construção de robô integrado a aparelho celular e cenário de um via urbana. Público: alunos de ensino médio	Conceitos de Cinemática
CUNHA; MIRANDA (2012)	A construção de um protótipo de energia solar, em sala de aula	Construção de célula fotovoltaica. Alunos do ensino técnico	Conversão de Energia.
DINIZ; ARAÚJO (2019)	Uma abordagem prática para o ensino do eletromagnetismo usando um motor de indução de baixo custo	Construção de protótipo de motor com sucata de estabilizadores. Público: Alunos de Ensino Técnico e Superior	Fenômenos Eletromagnéticos
GHIZONE et al (2012)	Legu mindstorm: a aplicação da robótica no ensino de física e no desenvolvimento tecnológico	Montagem de robô. Público: Alunos do ensino superior	Movimentos
ISERHARDT et al (201-)	Desenvolvimento de um carrinho autônomo com arduino para o ensino de cinemática	Montagem de robô. NÃO APLICADO A PÚBLICO	Movimentos
MUNIZ (2016)	Elaboração e avaliação de um material instrucional baseado na teoria da aprendizagem significativa: Estudo de transformações de energia com o uso de uma maquete	Construção de um complexa maquete de cidade a partir de isopor, biscuit, acrílico, circuito elétrico etc. Público: alunos de ensino médio.	Usinas e Conversão de energia
PALAIIO et al (2018)	Desenvolvimento de modelos impressos em 3d para o ensino de ciências	Impressão 3D. NÃO APLICADO A PÚBLICO	Microrganismos
RENNER (2018)	Construção de uma maquete tridimensional fosforescente da constelação de órion: uma proposta didática para o ensino de astronomia	Montagem com material de baixo custo e cálculos matemáticos específicos. NÃO APLICADO A PÚBLICO	Astros do Universo
SANTOS; MENEZES (2005)	A Aprendizagem da Física no Ensino Fundamental em um Ambiente de Robótica Educacional	Montagem de Robô. Público: Alunos do ensino fundamental	Movimento
SILVA (2015)	A experiência com o projeto de educação ambiental nas aulas de física do 3º ano do ensino médio	Modelos a partir de placas eletrônicas, leds, motores de antenas parabólicas, baterias, materiais elétricos etc. Público: alunos do ensino médio	Painel solar e Aquecedor elétrico

SILVA et al (2019)	Transformação de coordenadas aplicada à construção da maquete tridimensional de uma constelação	Construção de maquete de constelação com LEDs. Público inespecífico	Constelação Cruzeiro do Sul; Fenômenos óticos, eletromagnéticos e espaciais
SILVA et al (2015)	Equipamento robótico para o estudo de cinemática	Montagem de robô. Público não especificado	MRU; queda livre
SILVA (2018)	Uso da modelagem científica como recurso instrucional para o desenvolvimento de atividades experimentais no ensino médio	Modelagem científica: construção de pendulo com sensor; construção de gerador elétrico. Público: alunos de ensino médio	Pêndulo; Energia
SOUSA (2013)	Modelos analógicos de controle homeostático como ferramenta didática no ensino de fisiologia	Montagem com sensores, termostato, corpo metálico, mangueiras, parafusos e PET. Público: graduandos de Biologia	Sistema homeostático
VISCOVINI et al (2015)	Maquete didática de um sistema trifásico de corrente alternada com Arduino: ensinando sobre a rede elétrica	Montagem de maquete de gerador trifásico com arduino, cabos, baterias etc. NÃO APLICADO	Corrente elétrica. Resistores.

Fonte: A autoria (2020)

Nessa categoria, os modelos físicos são bastante sofisticados ou complexos, pois a técnica recai exclusivamente sobre eles. Todavia, o foco dessas pesquisas é justamente a técnica, logo os modelos apresentados nesses casos figuram-se como objetos ilustrativos, dentro de um contexto no qual o produto não tem maior valor que o processo de produção. Por conseguinte, a eficiência o design, a estrutura e outros itens bem avaliados no modelo refletem e enaltecem a técnica ou tecnologia utilizada para produzi-lo.

O uso da tecnologia no ensino de ciências e na produção de modelos tem se mostrado eficiente em algumas práticas pontuais, como mostra Basilio (2019) que ao expor aos alunos da educação básica a montagem de modelos moleculares por meio de kits e programas de computador, percebeu que a tecnologia não é habitual nas aulas tradicionais e que com o seu uso, os alunos conseguiram compreender melhor os conteúdos das aulas interativas.

Aguiar (2016) também demonstra um exemplo cuja inserção de um projeto que mediante o uso da tecnologia gerou, em algumas escolas, altos níveis de motivação nos alunos e um aumento de interesse nos currículos de ciências, tecnologia e matemática, a partir da produção de modelos didáticos. O autor ainda afirma que a tecnologia 3D possibilita criar modelos físicos para serem utilizados em

aula, reconhecendo tais modelos como relevantes para um aprendizado ativo, o que motiva a criação destes a fim de serem utilizados como instrumentos didáticos no Ensino de Ciências.

4.2 Métodos Alternativos

A categoria Métodos alternativos foi assim classificada, considerando que os modelos desenvolvidos nas pesquisas aqui incluídas, resultaram de procedimentos e técnicas simplificadas, sendo passíveis de serem desenvolvidas pelos próprios alunos e/ou professores, bem como utilizaram-se materiais de baixo custo ou de fácil aquisição, geralmente provenientes do cotidiano dos estudantes ou da escola. Tudo isso no intuito de produzir novos métodos que rompem com o tradicionalismo do ensino, que muitas vezes se prende a aulas expositivas que contam como únicos recursos o quadro, pincel e livro didático. Nessa categoria, 60 trabalhos foram incluídos:

Tabela 2: Pesquisas classificadas na categoria Metodologias Alternativas

Autor	Título	Método/Técnica. Público	Modelo
ABREU et al (2018)	O foguete de garrafa PET no ensino de física	Construção com garra PET. Público: alunos do ensino Médio EJA	Foguete; fenômenos mecânicos
ALBUQUER-QUE (2012)	O caso Plutão e a natureza da ciência: um proposta para alunos do ensino médio	Modelagem com material de baixo custo. Público: estudantes de ensino médio	Sistema solar
ALMEIDA; FERREIRA (2016)	Ensino de ciências por meio de artefatos educativos para a popularização da biodiversidade de insetos aquáticos	Montagem através biscuit, isopor, pelúcia. Público: alunos do ensino fundamental	Insetos
ANDRADE et al (2018)	Produção de modelos biológicos como facilitador da aprendizagem no ensino de biologia celular no 1º ano do ensino médio	Montagem com materiais recicláveis. Público: Alunos do Ensino Médio	Célula
APARECIDO et al (2019)	O processo de ovulação ao alcance das mãos	Uso de bicuit e tinta. Público: Estudantes de ensino superior	Ovário e ovulação
ASSIS et al (2010)	Educação em saúde – proposta de utilização de um modelo no ensino de ciências	Construção com materiais recicláveis, isopor, biscuit etc. Público: diverso	Ciclo de doenças infecciosas
ASSIS et al (2018)	Aplicação de modelos didáticos: entendendo a evolução da complexidade celular	Uso de materiais recicláveis, tintas, biscuit, isopor, borracha, colas, silicone, vaselina etc. Público: alunos de ensino médio	Célula e DNA

ANSELMO (2016)	Simulador didático da acomodação do olho humano.	Construção de modelo a partir de preservativo, isopor, guache, laser etc. Público: alunos de curso técnico	Olho humano; lentes; fenômenos óticos
BALBINOT (2005)	Uso de modelos, numa perspectiva lúdica, no ensino de ciências	Uso de matérias recicláveis. Público: alunos de ensino fundamental	Organismos vivos
BARROS (2018)	Construção e uso de modelos didáticos na formação inicial de licenciandos em ciências biológicas: uma experiência na disciplina biologia celular e molecular	Uso de materiais recicláveis e, comestíveis. Público: Professores	Células
CAMILO (2018)	Avaliação do uso de oficinas para aprendizagem significativa no ensino de ciências utilizando temas da paleontologia	Construção de moldes com gesso etc. Público: alunos do ensino fundamental	Moluscos
BOUZON (2010)	Metodologias didáticas alternativas para o ensino de geometria molecular e soluções: estratégias para a construção do conhecimento	Construção de através de balões de aniversário. Público: alunos de ensino médio	Moléculas e ligações químicas.
CANTÃO (2017)	Desenvolvimento de uma sequência didática para o ensino de genética e seus aspectos químicos no ensino médio	Construção de modelos através de materiais alternativos (isopor, canudo, biscuit etc) e comestíveis (bolo). Público: alunos de ensino médio	Célula; Núcleo celular; DNA e RNA; Divisão celular; Fecundação.
COIMBRA; TADDEI (2019)	Modelagem tridimensional de borboletas (lepidoptera) como método didático para o ensino de zoologia	Construção com massa de modelar. Público: alunos de ensino fundamental e médio	Lepidopetos
CONDA (2015)	Construção de modelos físicos moleculares com materiais de baixo custo: uma proposta para o ensino de química no ensino médio	Montagem com bolas de isopor, palitos etc. Público: alunos de ensino médio.	Moléculas
DANTAS et al (2016)	Importância do uso de modelos didáticos no ensino de Citologia	Uso de isopor, tinta, cola branca, cola, biscuit, E.V.A e cartolina. Público: Alunos do ensino fundamental	Célula
FELICETTI et al (2017)	Aprendizagem de conceitos de astronomia no ensino fundamental: uma oficina didática em preparação para a oba	Montagem com isopor, tinta, caixa de papelão etc. Público: Alunos do ensino fundamental	Sistema Solar
FREIRE (2014)	Microbiologia no ensino fundamental: uma prática para enxergar o invisível	Construção com materiais recicláveis. Público: alunos do ensino fundamental	Vírus
FREITAS et al (2009)	Desenvolvimento e aplicação de kits educativos tridimensionais de célula animal e vegetal	Montagem de kits a partir de papel, EVA, isopor, tintas etc. Público: alunos de ensino médio	Células

GALVÃO (2017)	O grilo como modelo biológico didático vivo para o ensino de ciências em escolas do estado Rio de Janeiro	Uso e reprodução de grilos vivos. Público: alunos do ensino médio e fundamental	Invertebrado, Artrópode, Inseto.
GONÇALVES (2014)	Oficina Astronômica: Uma proposta de atividades utilizando materiais potencialmente significativos para Ensino Médio	Confecções de modelos a base de bolas de isopor, palitos e tintas. Público: alunos de ensino médio	Astros do sistema solar
HENNEMANN (2012)	Fontes de Energia e Ambiente: Interdisciplinar no ensino de ciências exatas	Produção de protótipo com materiais recicláveis. Público: alunos de ensino médio	Aquecedor solar
KIEREPKA et al (2015)	A produção de maquetes como instrumento pedagógico para o ensino de modelos atômicos	Utilização de matérias recicláveis. Público: alunos de ensino médio	Átomos
LEÃO (2018)	Diferentes estratégias metodológicas para o processo de ensino e aprendizagem da biologia celular	Construção com materiais recicláveis e diversos. Público: alunos de ensino médio	Membrana celular
LEITE (2013)	Atividades lúdicas no ensino de biologia para alunos que cumprem medida socioeducativa de internação: o despertar para o conhecimento científico	Uso de massa de modelar, isopor, tinta. Público: alunos internos	Célula
LEITE (2017)	O Uso de Modelos no Ensino do Sistema Nervoso: Uma Prática na Educação de Jovens e Adultos	Modelagem com massinha. Público: alunos do ensino fundamental da EJA	Neurônios
LIMA (2006)	Saberes de Astronomia no 1º e 2º anos do ensino fundamental, numa perspectiva de letramento e inclusão	Montagem de modelos com argila, balões e biscoitos. Público: alunos do ensino fundamental menor	Astros do sistema solar
LUNA (2009)	O uso de modelos didáticos como estratégia no ensino do conceito e funções de estruturas celulares	Uso de isopor, massas de modelar colorida, cola, tinta guache, pincéis. Público: alunos do ensino fundamental	Células
MADUREIRA et al (2016)	O uso de modelagens representativas como estratégia didática no ensino da biologia molecular: entendendo a transcrição do DNA	Uso de borracha EVA, palitos de madeira, isopor, cola quente e massa de modelar. Público: acadêmicos de Biologia	DNA e RNA
MAIA (2019)	Origami arquitetônico como recurso pedagógico para a compreensão da geometria espacial de moléculas	Origami. Público: alunos do ensino médio	Geometria molecular
MARIN et al (2017)	Uma proposta para o ensino de orbitais atômicos no ciclo básico dos cursos de engenharia a partir da construção de modelos	Montagem com papel, barbante, tecido etc. Público: alunos de ensino médio	Orbitas atômicas

	tridimensionais utilizando materiais reutilizados		
MARQUES (2018)	Modelos didáticos comestíveis como uma técnica de ensino e aprendizagem de biologia celular	Elaboração de receitas comestíveis. Público: Alunos de ensino técnico	Células
MARQUES (2016)	Trabalhando o sistema respiratório: a construção de material lúdico por jovens e adultos	Uso PET, massa, canudos, bexiga. Público: alunos do ensino médio da EJA	Sistema Respiratório
MENDONÇA; JUSTI (2009)	Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem – Parte II	Modelagem (material não especificado). Público: alunos de ensino médio	Íons; Ligações químicas
MIGLIATO FILHO (2005)	Utilização de modelos moleculares no ensino de estequiometria para alunos do ensino médio	Aplicação de modelos prontos facilmente adquiridos no mercado. Público: alunos de ensino médio	Moléculas
MOZZER; JUSTI (2018)	Modelagem analógica no ensino de ciências	Modelagem com isopor e massinha. Público: alunos de ensino médio	Moléculas e dissolução
ORLANDO (2009)	Planejamento, montagem e aplicação de modelos didáticos para abordagem de Biologia celular e molecular no ensino médio por graduandos de ciências Biológicas	Modelagem com isopor, tintas, arame etc. Público: alunos de ensino médio	Organelas celulares
OLIVEIRA (2012)	Atividade experimental investigativa: construção de um termômetro de coluna líquida	Construção de modelo a partir de tubo, frascos, álcool. Público: alunos do ensino médio	Termômetro e fenômenos termodinâmicos
PAIXÃO (2018)	Utilização de modelos didáticos como facilitador no ensino de biologia celular	Produção de modelos com isopor, E.V.A e massa de biscuit, etc. Público: alunos de várias escolaridades	
PASCHOALIN (2017)	Recursos de tecnologia da informação com o apoio ao processo de ensino e aprendizagem de citologia	Montagem com isopor e massa acrílica. NÃO APLICADO A PÚBLICO	Organelas citoplasmáticas
PELLENZ (2015)	Astronomia no ensino de ciências: uma proposta potencialmente significativa	Modelos com de isopor, lâmpadas de LED, luminária. Público: alunos do ensino fundamental	Astros do universo
PENTEADO; KOVALICZN (2019)	Importância de materiais de laboratório para ensinar Ciências	Modelos criados através madeira e tecido. Público: alunos de ensino fundamental	Organismos vivos e fosséis
PESSOA et al (2019)	Conhecendo a célula em uma nova perspectiva metodológica	Modelagem com biscuit, E.V.A, TNT etc. Público: alunos de ensino fundamental	Célula

PINHEIRO et al (2018)	Um novo olhar para o ensino de biologia no fundamental II: reprodução e o efeito da salinidade no desenvolvimento larval do <i>Ucides cordatus</i> (Linnaeus, 1763) (Decapoda: Ocypodidae).	Montagem de maquete de isopor. Público: alunos de ensino fundamental e superior	Reprodução do caranguejo <i>Ucides cordatus</i>
SARAIVA et al (2007)	As fases da lua numa caixa de papelão	Montagem com caixa de papelão, bola de isopor, lanterna. NÃO APLICADO A PÚBLICO	Fases da lua
SIEPE (2017)	Remexendo o citoesqueleto: uma abordagem lúdica para o ensino de biologia	Uso de isopor, canudos, palitos etc. Público: alunos de ensino médio	Citoesqueleto
SIEPE (2017)	O ensino da biologia através de modelo tridimensional: processo de replicação do DNA	Montagem com isopor, fitas, palitos, arame etc. Público: alunos do ensino superior	DNA
SILVA (2016)	Geometria molecular: elaboração, aplicação e avaliação de uma sequência didática envolvendo o lúdico	Modelos confeccionados com isopor, palitos, garrafa PET. Público: alunos do ensino médio	Moléculas
SILVA (2013)	A abordagem do modelo atômico de Bohr através de atividades experimentais e de modelagem	Modelagem com isopor e tinta. Público: alunos de ensino médio	Átomos
SILVA et al (2017)	Utilização de modelos didáticos no ensino de zoologia dos vertebrados	Modelagem com isopor, massinha, papel, tinta. Público: graduandos de Biologia	Peixes agnatos
SILVA; VALIM (2015)	Estudo, desenvolvimento e produção de materiais didáticos para o ensino de biologia	Utilização de tampinhas plásticas, porcelana fria, linhas, entre outros. Público: professores e estudantes de diferentes níveis	Células
SILVA et al (2014)	Citologia ao alcance de todos: a construção de modelos didáticos como instrumentos potencializadores no processo ensino-aprendizagem	Modelagem com massa, isopor, argila, etc. Público: estudantes do ensino médio	Células
SOARES (2018)	A elaboração e uso de uma unidade temática sobre limpeza no ensino de química	Modelagem com balões. Público: estudantes de ensino médio	Geometria molecular
SOARES et al (2017)	A presença do lúdico no ensino dos modelos atômicos e sua contribuição no processo de ensino aprendizagem	Modelagem com massa de modelar e arame. Público: alunos do ensino fundamental	Átomos
SOUZA (2012)	Uso e aplicação de materiais poliméricos recicláveis na construção de um modelo molecular	Modelos produzidos a partir de esferas de desodorante roll-on. Público: professores	Átomos e moléculas

TASCA (2006)	Estrutura da matéria e tabela periódica no ensino de ciências para a 8ª série – caminhos alternativos no ensino de química	Modelos fabricados com argila. Público: alunos do ensino fundamental	Átomos
VILHEMA et al (2010)	Modelos didático-pedagógicos: estratégias inovadoras para o ensino de biologia	Montagem com PET, canudos e bexigas. Público: estudantes de ensino médio	Sistema respiratório
VARELA (2016)	Interdisciplinaridade entre física e biologia em turmas de 8º ano do ensino fundamental: possibilidade para o ensino de ciências	Uso de modelo pronto. Público: alunos do ensino fundamental	Olho; fenômenos ópticos

Fonte: A autoria (2020)

Ficou evidente maior produção de pesquisas acerca dos modelos físicos utilizando métodos alternativos com materiais de fácil acesso e baixo custo, fato que já fora observado na pesquisa que Sousa (2012) ao afirmar que existe uma tendência nos autores brasileiros em construir modelos artesanais utilizando materiais alternativos como lixo reciclável e materiais orgânicos, priorizando a sustentabilidade e a biodiversidade.

Além disso, os materiais de baixo custo propiciam o fácil acesso dos alunos à tridimensionalidade de modelos que só são visto através de ilustrações de livros didáticos. De acordo com Maia (2019) o acesso à tridimensionalidade é importante por tornar o processo de ensino/aprendizagem mais dinâmico, aproximando o aluno da visão tridimensional do mundo no qual ele está inserido, auxiliando-o na transposição de uma visão plana das representações para uma visão tridimensional.

Entretanto, embora seja esta a categoria que mais trata de modelos materiais, é também a categoria na qual o modelo físico tem menor significância em grande parte das pesquisas. Novamente técnica, embora simples e fácil de executar, acompanhada de alguma teoria ou conceito, toma um espaço maior na discussão e reflexão desses trabalhos, deixando os modelos materiais em segundo plano como ótimos adornos científicos/pedagógicos.

Dentre esses conceitos que tomam espaço frente aos modelos nos métodos alternativos, citam-se a já referida sustentabilidade, ao se enfatizar a reutilização de materiais recicláveis na produção de um recurso didático material; a prática docente ou escolar, quando o foco do estudo é a exaltação de alguma proposta de um professor, estagiário ou mesmo da própria escola que por meio de uma ideia

inovadora produziu alguma atividade ou evento que, conseqüentemente, resultou na produção de um modelo material provisório; a prática discente, nos casos em que a pesquisa engrandece a participação dos alunos no processo de ensino-aprendizado, deixando de ser meros agentes passivos e passando a executar atividades didáticas que também produzem, como conseqüência, algum modelo físico meramente ilustrativo.

Nos casos citados no parágrafo anterior, a técnica ou teoria encontradas nas pesquisas sobre métodos alternativos não estão lá para explicar o modelo, mas sim para justificar práticas sustentáveis ou pedagógicas. Nisso os modelos materiais produzidos tomam-se por vezes conseqüências supérfluas desses trabalhos, ocupando pouquíssimos espaços na discussão, limitando-se a apenas objetos ornamentais, efêmeros e sem esmero técnico.

4.3 Acessibilidade

A terceira categoria definida nesta pesquisa, denominada Acessibilidade, trata de modelos físicos destinados à educação especial, propiciando acesso de conceitos abstratos a alunos com alguma deficiência. Essas pesquisas se dedicam majoritariamente à educação de deficientes visuais, por materializar conceitos que geralmente são ensinados mediante as figuras em livros didáticos, e portanto inacessíveis a esse público.

Os métodos utilizados na pesquisa dessa categoria variam, podendo ser aplicados tanto recursos tecnológicos avançados quanto materiais alternativos de fácil acesso, desde que o produto final seja um modelo material acessível na perspectiva da educação inclusiva. Vinte e três trabalhos foram incluídos nessa categoria:

Tabela 3: Pesquisas classificadas na categoria Acessibilidade

Autor	Título	Método/Técnica. Público	Modelo
ALVES (2018)	Kit de complementação pedagógica para crianças deficientes visuais utilizando a tecnologia de impressão 3d	Impressão 3D. Público: estudantes deficientes visuais	Anfíbio e Porífero
ARAGÃO (2012)	Ensino de química para alunos cegos: desafios no ensino médio	Modelos a partir de isopor, miçangas, arame etc. Público: Professores e alunos cegos.	Átomos
CANTO (2019)	“Na ponta dos dedos”: conhecendo o corpo humano sob o olhar sensível dos deficientes visuais	Modelagem com massa de biscoito, tecido, sementes etc. Público: deficientes visuais em diferentes níveis de ensino	Órgãos humanos

CREPPE (2009)	Ensino de química orgânica para deficientes visuais empregando modelo molecular	Uso de kits prontos comprados no mercado. Público: deficientes visuais da EJA	Moléculas e ligações químicas
DIAS (2017)	A inclusão de alunos com Transtorno do Espectro do Autismo (Síndrome de Asperger): uma proposta para o ensino de Química.	Modelagem (aparentemente com bolas de isopor). Público: alunos autistas do ensino médio.	Átomos
DUMPEL (2011)	Modelos de células interativos: facilitadores na compreensão das estruturas celulares e no processo de inclusão de indivíduos com necessidades educacionais especiais visuais	Modelagem com biscuit. Público: alunos com e sem deficiência visual dos ensinos fundamental e médio	Célula e organelas
FREITAS et al (2018)	Ensinando coccidioidomocose para deficientes visuais	Modelagem com biscuit, cola e isopor. Público: alunos de pós-graduação em Biologia	Microrganismos
LIMA (2017)	Proposta de ensino de química orgânica para alunos com deficiência visual: desenhando a prática pedagógica inclusiva.	Uso de kits prontos adquiridos no mercado. Público: alunos deficientes visuais do ensino médio	Cadeias moleculares
LOURENÇO (2003)	Ensino de química: Proposição e testagem de materiais para cegos	Modelagem com bolas de isopor, pinos, imãs etc. Público: alunos deficientes visuais do ensino fundamental e médio	Átomos e moléculas
MARIZ (2014)	O uso de modelos tridimensionais como ferramenta pedagógica no ensino de biologia para estudantes com deficiência visual	Construção de modelos com massa de modelar, papelão, madeira prensada, arame, cola, <i>biscuit</i> . Público: alunos deficientes visuais do ensino médio	Célula; Cromossomo; DNA; Fecundação
MENDONÇA (2015)	Desenvolvimento e aplicação de uma maquete sobre as leis de Kepler para inclusão de alunos com deficiência visual no ensino de física	Modelagem com tampas plásticas redondas, bolinas de gude, EVA, etc. Público: alunos deficientes visuais do ensino médio	Leis de Kepler
MOTA FILHO (2015)	O ensino de eletromagnetismo para alunos com deficiência visual	Modelagem com EVA, fio de cobre, frasco, canudos etc. Público: aluno deficiente visual do ensino médio	Partículas elétricas; Eletroscópio; Resistores
OLIVEIRA (2018)	Um olhar sobre o ensino de ciências e biologia para alunos deficientes visuais	Construção de modelos com biscuit. NÃO APLICADO A PÚBLICO	Vírus; Tecido animal e vegetal; Organografia vegetal; Genética; Seleção natural
OLIVEIRA (2018)	A formação do professor/pedagogo e o ensino de ciências nos anos iniciais do ensino fundamental: estratégias pedagógicas com foco na abordagem sobre microrganismos	Montagem com tecido e feltro. Público: Professores de alunos com necessidades especiais	Microrganismos

PAULO et al (2018)	Produção de materiais didáticos acessíveis para o ensino de química orgânica inclusivo	Confecção com isopor e tinta. Público: graduando em Química	Átomos
QUADROS et al (2011)	Construção de Tabela Periódica e Modelo Físico do Átomo Para Pessoas com Deficiência Visual	Construção de modelo com cartolina, borracha e barbante. Público: alunos deficientes visuais da EJA	Átomo
ROCHA et al (2015)	Educação de surdos: relato de uma experiência inclusiva para o ensino de ciências e biologia	Construção com AVA e plástico. Público: deficientes auditivos	Célula
SATHLER (2014)	Inclusão e ensino de física: estratégias didáticas para a abordagem do tema energia mecânica	Demonstração de kits prontos composto por peças de madeira, elástico, alumínio etc. NÃO APLICADO A PÚBLICO	Conceitos de cinemática
SILVA; PIERSON (2013)	Ensino de física e deficiência visual: relato de uma experiência em aulas de eletrostática	Montagem com bola de isopor e palitos. Público: alunos com e sem deficiência visual do ensino médio	Campo elétrico e cargas
KAUVAUTI (2019)	Construção de material didático para o ensino de física para alunos com deficiência visual	Modelos feitos com camurça, cubos, tinta relevo, barbante etc. Público: Aluno deficiente visual do ensino médio	Altitude; Fenômenos óticos
TORRES (2013)	Desenvolvimento de kit didático para reprodução tátil de imagens visuais de livros de física do ensino médio	Materialização de imagens em kits metálicos. Público: professores e alunos cegos do ensino médio	Força e Pressão; Fenômenos óticos; Ondas; Vetores
VAZ et al (2012)	Material Didático para Ensino de Biologia: Possibilidades de Inclusão	Confecção de modelos com isopor, MDF, velcro etc. Público: Professores e estudantes com e sem deficiência visual de diferentes escolaridades	Célula; RNAs e Tradução
VIVAS et al (2017)	Ensino de Física para surdos: um experimento mecânico e um eletrônico para o ensino de ondas sonoras	Instrumentos criados a partir de cabaça, elástico, mangueira sanfonadas, tubo PVC, microfone, LEDs. NÃO APLICADO	Ondas sonoras

Fonte: A autoria (2020)

Na categoria “Acessibilidade” observou-se maior elevação do status do modelo físico, no qual ele recebe um patamar de “protagonista” ou “co-protagonista” nas pesquisas voltadas para o ensino de ciências, ao se tornar um produto inovador sem o qual fica extremamente difícil o aluno deficiente assimilar o conteúdo representado no modelo.

O principal público alvo dessa categoria são discentes com deficiência visual, e o modelos mais desenvolvidos são aqueles que representam estruturas invisíveis ou diminutas como átomos e células, ou seja, estruturas não-observáveis a olho nu. Essas entidades são modeladas e ilustradas através de figuras comuns e livros didáticos que, no entanto, só serão captadas por videntes, causando então a

necessidade de tridimensionalizar e materializar modelos para atender o público não vidente, uma vez que certos conceitos não podem ser observados por esse público nem mesmo através de instrumentos.

Sobre esse fato Oliveira et al (2019) já havia descrito com o resultado de sua pesquisa bibliográfica que a maioria das publicações sobre o ensino de ciências naturais e exatas para deficientes visuais envolve a produção de modelos materiais de baixo custo, sendo átomos/moléculas os modelos mais abundantes nesse contexto, justamente por se tratarem de estruturas insensíveis, os quais não se pode ter acesso pelo sentido da visão ou qualquer outro, fazendo-se necessária sua representação mediante figuras ou materiais.

É importante frisar que quando se fala de entidades inobserváveis, mesmo aquelas que se tornam observáveis através de instrumentos como astros e células, não são apenas inacessíveis a deficientes visuais, a falta de instrumentos nas instituições de ensino, bem como a insistência no tradicional ensino de ciências por meio do livro didático, fazem com que certos conceitos científicos se tornem estritamente abstratos, e, portanto, de difícil compreensão dos discentes. Desse modo, a modelagem material faz-se mais uma vez necessária e útil ao concretizar alguns conceitos, promovendo assim melhor entendimento por parte dos estudantes, principalmente os pertencentes à educação pública.

[...] organismos microscópicos, cuja percepção é dificultada por envolver estruturas que infelizmente não são de fácil acesso ao público estudantil, pois a visualização necessita de equipamentos tais como lupas e microscópios, que nem sempre estão disponíveis na rede regular de ensino. Esta realidade muitas vezes de difícil abstração para os estudantes devido à ausência de comparações, pode ser minimizada pela experiência gerada com o uso dos modelos didáticos macroscópicos que promovem a aproximação do discente ao conhecimento contextual (FREITAS et al., 2008 apud PALAIO et al, 2018, p 71).

Possivelmente o argumento acima também justifica o fato de haver maior número de pesquisas envolvendo metodologias alternativas, pois considerando a carência de recursos tecnológicos numa escola e algumas IES, exceto a ilustração do livro didático, o único meio do aluno ter contato com uma célula, por exemplo, é por intermédio da modelagem da mesma, principalmente por meio de materiais de baixo custo que não se tornam onerosos para a instituição. Dessa forma, a modelagem material é uma das mais eficientes atividades epistêmicas dentro da realidade da

maioria das instituições de ensino brasileiras, tornando-se notável no contexto da inclusão escolar, por se tratar de algo indispensável.

Todavia, em alguns dos estudos sobre acessibilidade, observou-se que o destaque não é exclusivo dos modelos materiais, essa importância é compartilhada com os aportes teóricos utilizados para alicerçar tais pesquisas, o que inclui: fundamentos legais, na invocação de leis que regem a defesa do ensino diverso e a inclusão na educação regular e as conseqüentes adaptações para que isso ocorra, gerando oficinas e produção de materiais adaptados (modelos); fundamentos psicopedagógicos como observados nos estudos que exaltam a cognição e desenvolvimento da aprendizagem para estudantes com deficiências; e fundamentos neuropedagógicos ao abordarem a importância dos estímulos sensoriais como método facilitador da aprendizagem.

Esses fundamentos teóricos quase sempre aparecem unidos no mesmo trabalho, dando suporte ao uso do modelo físico. Isso enfraquece um pouco da relevância do modelo nesses estudos, pois sem tal suporte o modelo material por si só aparenta não ter sustentação própria para reafirmar sua importância no ensino-aprendizagem de ciências.

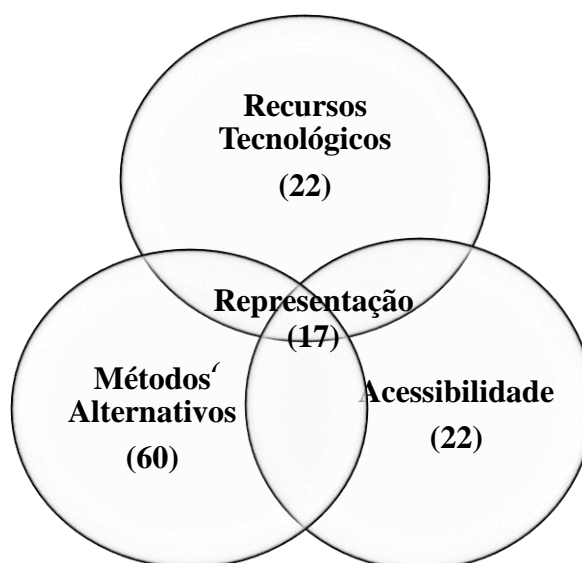
De qualquer forma, ainda que eles não sejam exaltados na maioria das pesquisas, não há como tirar qualquer mérito dos modelos físicos, pois, mesmo que apenas numa dimensão pedagógica, eles estão relacionados à demonstração eficiente do ensino-aprendizagem de ciências, surgindo no contexto de inovação, dinamismo, ludicidade, inclusão, formação e experimentação no ensino de ciências. Logo, demonstram ser de suma importância para a educação científica fundamentalmente na educação básica, transcendendo o papel da mera ilustração.

4.4 Representação

Independente da pesquisa ou da categoria aqui relacionada, o modelo é debatido numa dimensão estritamente pedagógica, logo sua importância é alicerçada enquanto material didático não convencional e promissor. O caráter ontológico ou epistemológico dos modelos, seja numa visão realista ou antirrealista, permanece ausente ou sutilmente presente nas entrelinhas dessas pesquisas não sendo claramente discutido.

Desse modo, foram selecionadas apenas 17 publicações retiradas do total encontrado, independentemente da categoria, onde pode-se perceber leves referências ao contexto representacional dos modelos. Essas publicações foram utilizadas para compor uma categoria especial denominada Representação, conforme o esquema a seguir (Figura 18):

Figura 18 Categorias e respectivas quantidades de trabalhos



Fonte: A autoria (2020)

Os trabalhos selecionados para compor essa nova categoria têm como característica em comum os enunciados, explicações e concepções sobre as entidades e conceitos representados fisicamente nos modelos, no sentido de transmitir a ideia de que as entidades modeladas são reais, verdadeiras, existentes, possivelmente existentes, fieis ou assemelhadas com a realidade, evidenciando assim o modo como são representadas e ensinadas.

Tabela 4: Pesquisas classificadas na categoria Representação

Autor	Visão Filosófica	Argumentos
ASSIS et al (2018, p. 4)	Realista	“[...] representar a molécula de maneira tridimensional, buscando a proximidade com a <u>realidade molecular</u> . Os materiais [usados no modelo] foram selecionados em virtude da <u>semelhança com as pequenas partes do DNA</u> ”
BOUZON (2010, p. 23; 44)	Realista/ Antirrealista	“os professores mandam o aluno desenhar <u>modelos de ‘realidades’</u> , cuja <u>existência são hipóteses</u> .” (CHASSOT, 1993 p. 44)

		49). “discutiu-se o efeito da <u>presença de par de elétrons</u> não compartilhados”
CONDA (2015, p. 24)	Realista	“uso de modelos moleculares é simples e de grande valia para este propósito, pois apoia a visualização das ligações químicas distribuída no espaço, <u>existentes</u> entre os núcleos atômicos que compõem uma molécula
CREPPE (2009, p. 66)	Realista	“reconhecessem a <u>existência de dois átomos</u> de carbono na estrutura (similar ao etano), mas notassem, também, a ausência de um hidrogênio em cada carbono”
DUMPEL (2011, p. 38)	Realista	“o aluno deve ser capaz de distinguir os tipos fundamentais de célula e a existência de organelas com funções específicas”
FREITAS et al (2009, p. 7)	Realista	“Analisando o material [...], o <u>Complexo de Golgi</u> poderia ser mais fechado em sua base, sendo assim mais <u>fiel ao real</u> ”
GONÇALVES (2014, p. 106)	Realista	“ <u>Existe ainda uma vasta região</u> onde se encontram Plutão e outros anões gelados e uma colossal nuvem de cometas”
KIEREPKA (2019, p. 5)	Antirrealista	“modelos atômicos são uma <u>construção da mente humana</u> que está sujeita a contestações, e que <u>não é uma descrição real da natureza</u> , e por isso não pode ser considerado como uma verdade acabada”
MAIA (2019, p. 58)	Realista	“as estruturas de Lewis, do modo como são apresentadas nos livros didáticos, são insuficientes para revelar a <u>geometria real da molécula</u> ,”
MOZZER; JUSTI (2018, p. 157)	Antirrealista	“modelos possibilitam a aprendizagem e a geração de conhecimentos pelo seu uso e manipulação, podendo apoiar a imaginação sobre como objetos podem ser, comportar-se e interagir entre si, <u>independente de sua existência no mundo real</u> ”
SILVA (2013, p. 36; 66; 90)	Realista/ Antirrealista	Átomo não foi descoberto, teorias sobre ele foram <u>construídas</u> ” “ <u>existem</u> ondas eletromagnéticas de diversos comprimento de onda” “A <u>existência de orbitais d</u> [...] permite a excitação de elétrons”
SILVA (2015, p. 45)	Realista	“Nos metais <u>existem muitos estados maiores que a energia Fermi</u> para qual os eletros podem ser transferidos”
SILVA (2016, p. 51)	Realista	“Em vários casos foram utilizados palitos para representarem as <u>ligações existentes entre os átomos</u> [...], para obtenção de modelos que representassem geometria da molécula”
SOARES (2018, p. 74)	Realista	“ <u>existem forças que atuam entre as moléculas</u> de uma mesma substância [...] chamadas de interações intermoleculares <u>presentes</u> nos estados físicos da matéria”
SOUZA (2012, p. 13)	Realista	“Nossa compreensão pode ser facilitada pelo uso de modelos. Os que mais <u>se aproximam da realidade</u> são do tipo espaço cheio”.
TASCA (2006, p. 114)	Realista	“A atividade[...] fortaleceu a ideia de modelo que explica a <u>existência de partículas submicroscópicas</u> ”
TORRES (2013, p. 47)	Realista	O elétron [...] através de equipamentos [...] é possível captar [...] seu comportamento [...] e [...] <u>perceber sua existência</u>

Fonte: A autoria (2020)

Na tabela 4 observa-se com frequência os termos ‘real’, ‘existe’ e suas flexões, ao se referirem às entidades inobserváveis/invisíveis, dando a ideia de que podem ou não ser verdadeiras. Realidade e verdade são itens centrais no embate realismo x antirrealismo, logo, olhar o modelo como uma representação da verdade ou uma cópia fiel dela, gera discussões importantes no campo da ciência e ensino de ciências.

No contexto do ensino de ciências, a preocupação pode ir além da discussão sobre representar e ensinar o observável ou inobservável por meio de modelos físicos, mas também compreender o modo que é ensinado ou representado, no sentido de que o educador ou pesquisador pode ser tendencioso a transmitir a ideia de que a entidade representada no modelo é verdadeira ou fiel à sua existência, adentrando-se ainda mais no embate realismo x antirrealismo.

Essa discussão surge sutilmente involuntária nos trabalhos listados na tabela 4, mediante os argumentos dos autores ao definirem e expressarem opiniões a respeito das entidades representadas nos modelos físicos, fazendo com que se perceba através de alguns argumentos que ora impera a concepção realista da ciência, outrora prevalece a concepção antirrealista e há casos em que, no mesmo trabalho, o autor denota ambas as concepções sobre o mesmo assunto.

Das pesquisas selecionadas na tabela 4, catorze delas remetem a ideia realista ao se referir a entidades e estruturas científicas, expressando-se um caráter de certeza de sua existência e de fidelidade a seu aspecto e comportamento, ao passo que apenas quatro desses estudos referem-se a essas entidades como estruturas possíveis, podendo ou não ser reais ou fieis à realidade.

Dessa forma, percebe-se assim uma tendência realista ao se explicar, descrever e conseqüentemente materializar modelos dessas entidades. Isso é justificável pois dentre as muitas definições de modelos, Chassot (2018, p. 283, grifo nosso) diz que “modelos são simplificações da **realidade**, ou porque esta é complexa demais, ou porque sobre ela pouco conhecemos”. Assim, diante dessa concepção não dá para dissociar modelos de realidade, pois estes estarão sempre associados em algum grau.

Retratar modelos como simplificações da realidade ou explicar entidades como estruturas reais e existentes, não significa necessariamente um equívoco no ensino de ciências, porque ser realista é crer antes de tudo na teoria existente por trás da entidade, e se furtar do realismo por completo, possivelmente, não seria uma boa estratégia para o ensino de ciências, pois colocar em dúvida a ponto de descrer na existência das entidades e por consequência desacreditar das teorias que elas representam, seria como desprezar muito do conhecimento científico produzido ao longo de séculos, e que quando aplicado se mostra eficiente, valorativo e significativo.

Todavia, a possível falha não estaria em ensinar e modelar ciências sob uma perspectiva realista, mas em utilizar, exclusivamente, essa perspectiva, como se não houvesse um contraponto - o antirrealismo, que nesse caso deveria surgir não como uma oposição ao ensino realista mas como uma alternativa na interpretação de teorias e modelos científicos.

O realismo e o antirrealismo embora sejam posições antagônicas na filosofia da ciência, pelo modo como se posicionam sobre a verdade/falsidade das entidades presentes nas teorias, dentro do contexto do ensino de ciências, essas duas vertentes podem ser úteis se utilizadas como contrapontos no sentido de mostrar a “verdade” de tudo que a ciência descobriu ou construiu até o momento e ao mesmo tempo mostrar que tudo não está concluído e que uma verdade (ou falsidade) pode ser uma possibilidade, requerendo, portanto, mais pesquisas, investigação, aperfeiçoamento e construção de novos enunciados científicos.

Outro fato acerca dos trabalhos selecionados na tabela 4, é que os enunciados remetem à ideia da modelagem de algo fiel ao real ao descrever características da entidade com tanta precisão, a ponto de transmitir a ideia de que essa entidade é tão perceptível quanto a fisionomia de um rosto ou as características de um objeto, e esse excesso de certeza pode gerar equívocos.

Tais equívocos são apontados por Prestes (2013) ao alegar que existem pesquisas documentadas no campo do Ensino de Ciências em que alunos compreenderam os modelos apresentados pelos professores (como modelos de corpo humano, de insetos, de órgãos ou esqueletos) como tendo a mesma dimensão que a estrutura modelada da natureza. Isso remete ao cuidado que o professor deve tomar ao apresentar e explicar modelos científicos para que não se transmita a ideia do modelo fiel à realidade.

Realidade e observação são dois fatores decisivos para modelar e explicar modelos em ciências, ou porque eles são simplificações da realidade ou porque são representações de entidades observáveis reais ou inobserváveis passíveis de serem reais. Como modelos são partes de uma teoria, a realidade e observação também são componentes da mesma, o que é afirmado por van Fraassen (2007, p. 344): “tudo que é tanto real quanto observável encontra um lugar na teoria.”

Van Fraassen (2007, grifo nosso) acrescenta ainda que crer em uma teoria é crer que um de seus modelos **representa corretamente o mundo (realidade)**, sendo assim, considerando que uma teoria pode possuir muitos modelos, um (ou

alguns) deles corresponderia a realidade. Portanto, das muitas reflexões que pode-se abstrair dessa ideia, é que mesmo dentro de uma concepção realista de uma teoria, onde ela assume o valor de verdade, nem todos os seus modelos assumiria o mesmo valor pois nem todos corresponderiam à realidade.

Sendo assim, é importante não ignorar o antirrealismo nas ciências e no ensino de ciências, pois nem todo modelo representa de modo fiel a realidade de fato, ainda que se possa acreditar na teoria que produziu tal modelo.

As teorias estão em constante aperfeiçoamento, nisso é comum que suas entidades desapareçam, surjam ou apenas mudem de aspecto, portanto, uma entidade pode ser real ou hipotética, e se reais podem ter configurações distintas daquelas que idealizamos, descrevemos e modelamos, com isso os modelos que representam essas entidades também sofrem alterações. Nesse sentido, ensinar ciências de modo tão afirmativo a ponto que não sobre incertezas sobre a existência e a realidade das entidades, principalmente sobre aquilo que não vemos, pode se tornar algo prejudicial à própria ciência.

Nesse âmbito, ainda que sejam reais o átomo, a gravidade, o magnetismo, as ondas e outras entidades, há muito ainda que se divulgar sobre suas estruturas e funcionamentos. Sendo assim, ensinar essas estruturas como hipóteses, e não como realidades, fomentam a investigação científica, aprimoram as teorias já existentes e produzem modelos mais sofisticados. Por esse motivo, a visão antirrealista no ensino de ciências também se faz bastante necessária.

Ressalta-se ainda que van Fraassen (2007) afirma que a aceitação de uma teoria não nos compromete com a crença da realidade, embora pareça paradoxal, mas o fato de alguém ou a própria comunidade científica acreditar em uma teoria como um enunciado da realidade não significa que a realidade seja de fato do modo que a teoria diz, e, por consequência, seus modelos também não corresponderão plenamente à realidade, sendo passíveis de modificação, aperfeiçoamento e até exclusão.

Outro ponto que é favorável ao antirrealismo no ensino de ciências é que o “excesso de realismo” na modelagem acaba por alienar involuntariamente a percepção dos aprendizes de ciências a respeito das entidades e estruturas invisíveis, condicionando-os a enxergarem tais elementos sempre do mesmo modo retratado no modelo.

Gorri (2016) explica que algumas pesquisas apontaram que estudantes cometem equívocos de ordem ontológica ao entender ácidos representados em nível submicroscópico como os objetos da realidade, e não uma representação, reafirmando-se que modelos não são os objetos da realidade, mas sim recortes dela. Esse fato concorda com o argumento de Leite et al (2006) o qual também apontou que 60% dos alunos de um dado estudo compreendem que o átomo pode ser segurado com as mãos devido à interpretação de uma imagem constante em um livro didático.

Nesse embate, frisa-se mais uma vez que o modelo, seja ele materializado ou não, não configura uma cópia fiel e total de uma entidade real ou possivelmente real, o que foi lembrado por Leite (2017, grifo nosso) que define modelo como a **parcial** representação de um objeto, processo, conceito etc., enquanto Dantas et al (2016, grifo nosso) afirma que modelo algum é uma representação **totalizada** da realidade.

Ressalta-se também que a correspondência entre o modelo e a entidade representada se torna ainda mais distante quando se considerada a capacidade de observação humana, pois quanto mais inobservável for mais difícil será representá-la em fidelidade e totalidade.

Essa discussão não se faz presente na maioria das publicações destacadas no presente estudo, inicialmente porque não há impasse ente realismo e antirrealismo quando o objeto do estudo é observável. Portanto, não há o que se discutir sobre os modelos representativos de artrópodes, peixes, órgãos vegetais, movimentos mecânicos, placas de energia solar dentre outras entidades igualmente observáveis que foram produtos ou subprodutos de estudos constantes nas tabelas 1, 2 e 3.

Entretanto, considerando os vários exemplos de estudos sobre modelagem de astros, microrganismos, células, moléculas, átomos, partículas subatômicas e ondas, sendo essas entidades “inobserváveis”, é imprescindível discutir sobre a concepção realista ou antirrealista adotada pelos autores na representação materializada desses conceitos nos modelos confeccionados.

Esse ponto parece controverso, uma vez que, é ambíguo o limite do observável e inobservável. Segundo a concepção de van Fraassen, esse limite depende da atividade epistêmica, no sentido de que algo pode ser observado segundo a proximidade entre o observador e a entidade ou o instrumento ou técnica utilizada

para fazer a observação. Partículas subatômicas, por exemplo, são invisíveis, entretanto existem equipamentos adequados capazes de captar o comportamento dessas partículas (TORRES, 2013), um exemplo histórico disso é o tubo de Crookes que permitiu “observarmos” a potencial existência do elétron e núcleo do átomo.

Todavia, nessa discussão, seria falsa qualquer afirmação de que células e astros celestes são inobserváveis, ainda que muito pequenos ou muito distantes para o olho humano, há séculos essas entidades são observadas através de equipamentos como microscópios e telescópios. Contudo, no contexto das atividades epistêmicas desenvolvidas no ensino de ciências, essas entidades são tão invisíveis quanto os átomos. Dentre muitas razões para isso, cita-se o fato de que quase nenhuma escola e poucas instituições de ensino superior no Brasil possuem equipamentos de avançada tecnologia para realizar-se observações, por exemplo, das superfícies de satélites naturais do sistema solar ou de organelas citoplasmáticas.

Em razão dessa falta de capacidade de observação de entidades inobserváveis ou simplesmente diminutas e distantes, percebeu-se neste trabalho o apreço que os pesquisadores têm acerca das entidades invisíveis ou não palpáveis, isso ficou explícito ao se constatar que os modelos de ondas/energias, átomos/moléculas, células/organelas são exaustivamente utilizados nos estudos sobre modelos materializados.

Ao todo foram 20 trabalhos acerca da materialização de ondas/energias, 21 trabalhos encontrados abordaram a estrutura de átomos/moléculas e 23 pesquisas debatiam sobre célula/organelas, totalizando 64 pesquisas sobre esses entes. Ainda que no universo de 104 publicações científicas aqui destacadas tenham sido observados diversos conceitos trabalhados, nenhum foi tão abordado quanto esses três grupos supracitados.

Certas entidades como as células, planetas, energia infravermelha, ultrassons etc., não são observadas a olho nu cotidianamente, embora existentes e presentes ao redor de todos. Esses conceitos científicos são rotineiramente visualizados por cientistas através de equipamentos que captam o máximo de precisão possível dessas estruturas, logo, ratifica-se a dubiedade da observação, sendo difícil encontrar o limite do que é observável, pois enquanto para estudantes de uma simples escola pública todos essas entidades são tão inacessíveis a ponto de se

tornarem inobserváveis, para cientistas as mesmas entidades são literalmente vistas com detalhes.

Nesse contexto, presume-se que a partir de atividades científicas que observam estruturas invisíveis, modelos são passíveis de criação. Através dos detalhes captados por instrumentos e interpretados por pesquisadores são criados modelos em formas macroscópicas e observáveis dessas entidades, passando a ser representadas e ilustrados na literatura científica.

Logicamente, a interpretação de um cientista tende a ser mais aguçada e minuciosa se comparada a um estudante da educação básica ou sociedade em geral, por isso os modelos tendem a se adaptar para uma compreensão mais generalizada de todos, adquirindo formas, tamanhos e cores desproporcionais ou fictícios no intuito de se tornarem mais didáticos e assimiláveis do que fieis ao real (quando são comprovadamente reais), sem contudo deixarem de ser funcionais, pois como já discutidos antes, uma das premissas primordiais do modelo é ser funcional.

Todo esse percurso entre a observação da entidade e formulação de um modelo simples, didático e acessível, faz com que a entidade inobservável se torne um modelo mental em cada indivíduo ou um modelo conceitual no consenso da sociedade em geral. Logo, todo esse processo entre a “descoberta” (observação) da entidade até a formulação do modelo que melhor a represente, pode descaracterizar a estrutura da própria entidade sem, contudo, retirar a compreensão de sua funcionalidade, tudo para que se torne compreensivo a todos.

Nisso fica claro compreender que o modelo não apenas é a representação da realidade dentro do embate realismo x antirrealismo, como também não pode ser a fidelização da realidade (mesmo quando esta é comprovada), pois o limite denso entre o observável e o inobservável tende a complexificar a clareza sobre a realidade das entidades.

Nesse viés, relembremos mais uma vez o modelo físico da molécula de DNA apresentado por Watson e Crick, uma vez observado por complexas técnicas cristalográficas, fora adaptado em estruturas metálicas em uma representação simplificada e adaptada a partir de algo mais complexo, tornando-se, naquele momento, acessível e compreensível. Diante disso, a formulação do modelo diminui a distância entre o observável e o inobservável, simplifica a complexidade da realidade, e torna acessível o conhecimento sobre aquilo que existe (ou que possivelmente existe) mas que não se observa (exceto por aparelhos tecnológicos).

Nesse contexto, Prestes (2013) sugere alguns cuidados com o uso dos modelos no ensino de ciências, pois os estudantes podem aprender um modelo e não o conceito que ele pretende ilustrar, daí a importância do professor de ciências propor comparações entre as diferenças de status atribuído aos modelos por parte de cientistas e de estudantes, uma vez que os cientistas sabem que os modelos são parciais, enquanto que os estudantes muitas vezes os veem como totalidades equivalentes à realidade.

Toledo (2014) diz que os modelos, enquanto instrumentos didáticos podem ser entendidos como as transposições do conhecimento científico em um conhecimento possível de ser ensinado a alunos, e por isso eles são mais simplificados e adaptados à realidade desses indivíduos. Contudo, a analogia didática, comparando modelo e realidade, geralmente, aparece como uma verdade única da ciência, razão pela qual os limites do modelo, suas extensões, suas discussões filosóficas e seus contextos históricos são descartados pelos livros e professores.

Nessa discussão sobre a visão dos estudantes acerca de modelos, os modelos materiais tendem a ser mais significativos para esse público por serem erroneamente compreendidos como réplicas de objetos reais, e por isso passam a ser mais assimiláveis. Toledo (2014) aponta distinções entre a compreensão de modelos por parte de estudantes e especialistas, argumentando que para estudantes os modelos são materiais enquanto que para especialistas os modelos podem ser mentais, materiais e matemáticos. Nisso, a visão de estudantes a respeito de modelos é bem mais limitada, havendo confusão no papel de representação de um modelo material, passando a ser visto como uma “fotografia tridimensional” de uma estrutura real.

Toledo (2014) conceitua os modelos materiais como protótipos, representações tridimensionais. Por exemplo, pode-se representar uma molécula de água pela fórmula H_2O em uma maquete com esferas de isopor de tamanhos diferenciados, representando os átomos de hidrogênio e oxigênio com suas ligações, constituindo-se assim uma transformação do modelo mental em algo que tenhamos acesso empírico. Assim, o modelo material como descrito pelo autor, dá a ideia de uma conversão do mentefato para o artefato.

Essa conversão no ensino de ciências se faz necessária para facilitar o manuseio do modelo, é o que sugerem Mozzer e Justi (2018) ao afirmarem que

modelo mental (mentefato) precisa ser materializado (artefato) de algum modo para tornar possível a sua manipulação (experimentação). Isso é ratificado por Silva (2013) ao mencionar que a prática de modelar ordena que o estudante transforme seu modelo mental em um modelo material que conceba sua ideia (SILVA, 2013)

De acordo com os parágrafos anteriores, percebe-se uma qualidade epistemológica do modelo material frente aos demais modelos, que é o acesso empírico ou experimentação do conhecimento científico. Demais tipos de modelos, como mentais e conceituais, podem ser experimentados e manipulados, todavia, para um estudante, isso requer um esforço cognitivo muito grande ao executar atividades mentais, logo, quando os alunos dispõem de modelos materiais manipuláveis, essa dificuldade é reduzida significativamente (MAIA, 2019)

A experiência é um item primordial a ser destacada nas pesquisas com modelos materiais. Vale lembrar que um dos êxitos declarados pelos autores dos estudos listados em todas as categorias anteriores, é o fato de os alunos experimentarem os conceitos abstratos em ciências, seja por meio da captação sensorial de um modelo físico estático, seja mediante o funcionamento de um modelo protótipo dinâmico.

Sobre a experimentação, Conda (2015) diz que as atividades experimentais podem ser desenvolvidas em sala de aula por meio da demonstração, nisso os modelos materiais tendem a demonstrar a função do que eles representam e por isso mesmo são meios de experimentar em algum grau as entidades representadas, sobretudo aquelas que não podem ser vistas e tateadas como partículas micro e submicroscópicas.

Maia (2019) argumenta que no campo da química em nível submicroscópico, é ensinada através de signos, palavras, figuras, analogias e metáforas, no qual o professor não tem como extrair do aluno uma experiência vivida por ele acerca desse campo, pois não há como visualizar, por exemplo, o choque das moléculas durante uma aula de cinética química, sendo preciso utilizar comparações ou metáforas para que o aprendizado do discente se aproxime do almejado.

Nesse nível, Maia (2019) argumenta que há uma preocupação dos pesquisadores em articular entre o mundo micro e macro, o que se traduz de modo explícito na produção de modelos explicativos dos fenômenos em formatos tridimensionais, uma vez que, estes têm sido um dos pilares da educação em química,

ajudando estudantes a visualizarem estruturas inobserváveis e melhorando o entendimento dos alunos.

Nesse âmbito, Maia (2019) reforça que os modelos físicos são voltados para auxiliar processos mentais e imaginários, fortificando o armazenamento e reestruturamento da memória, fazendo com que informações repassadas aos alunos possam permanecer por mais tempo, além do que o aluno transita do nível simbólico para o microscópico.

Logo, ressalta-se a importância epistemológica do modelo material dado o seu poder de facilitar a assimilação de conhecimento científico ao aprendiz de ciências e sua capacidade de converter a ideia em concreto, o invisível em visível, o fluído em tridimensional.

A tridimensionalidade do modelo material também tem grande importância em um contexto ontológico, haja vista que melhor representa o mundo, uma vez que este também é tridimensional. Soares (2018) informa que vivemos em um espaço tridimensional, com quase todos os objetos ao nosso redor (incluindo nós mesmos) contendo altura, largura e profundidade, isso tanto no nível macroscópico quanto no nível microscópico.

Diante dessa discussão, tem-se o mundo microscópico como peça chave para a exaltação e reflexão dos modelos materiais, pois através destes é que o mundo microscópico se torna macro, podendo-se portanto ser conhecido e representado especialmente no contexto do ensino de ciências. Logo, o modelo físico destaca-se por sua dupla função epistemológica e ontológica no ensino científico de entidades predominantemente inobserváveis, o que justificaria a preferência dos autores a abordar as já mencionadas células, energias e átomos nas pesquisas, utilizando modelos materiais.

Por esse motivo, é importante reavaliar constantemente a participação dos modelos materiais no ensino de ciências e nas pesquisas acerca do ensino de ciências, por mais que estas estruturas já tenham um importância ímpar enquanto objetos representativos, acessíveis, inclusivos e facilitadores de ensino, ainda é grande a quantidade de pesquisas que reduzem seu valor a objetos de adorno e subprodutos de atividades transitórias e de técnicas exaltadas no contexto educacional.

Nessa discussão, nota-se que o modelo material é mais que um objeto, sua função epistemológica e ontológica é tão significativa quanto os modelos mentais, teóricos e científicos, os quais são mais comumente discutidos na perspectiva do ensino de ciências. Dentre todos esses modelos, talvez o físico seria o que melhor transmitiria a ideia de mundo e realidade para os estudantes de ciência. Todavia, vale mais uma vez lembrar que qualquer que seja o tipo de modelo, embora possa fornecer a ideia de mundo, jamais copiará o mundo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio dos argumentos discutidos, foi possível compreender o uso de modelos materiais no ensino de ciências majoritariamente como eficientes ferramentas didáticas, dentro de um espectro que abrange desde adornos subprodutos de atividades científico-pedagógicas transitória, passando por opções alternativas em substituição do ensino tradicional, utilizando ou não recursos tecnológicos, até alcançar o status de recursos indispensáveis comuns ao ensino inclusivo.

A concepção epistemológica e ontológica do modelo é minoritária, ou seja, o uso de modelos materiais enquanto fonte de conhecimento científico e representação de entidades científicas é discutido de modo singelo, restrito e não intencional, ocupando pouco espaço nas discussões das pesquisas que utilizam esse tipo de modelo.

Nisso, está comprovado que a materialização de modelos é útil para ensinar ciências naturais, além de representar os fenômenos científicos, superando demasiadamente a mera ilustração. Modelos físicos não ilustram a ciência só como forma de visualização, mas representam em algum grau uma entidade verdadeira (ou possivelmente verdadeira), mostrando a sua função e sua equivalência (não igualdade) à realidade.

A representação é o que caracteriza o modelo, sobretudo o modelo material. A literatura brasileira sobre ensino de ciências tem uma grande lacuna nesse ponto, porque, ao tratar da representação de modo muito sucinto, não faz a crítica sobre realismo vs anti-realismo existente nas entidades materialmente representadas, principalmente aquelas inobserváveis que são o alvo principal dessa representação.

Esta pesquisa coloca o realismo e o antirrealismo como duas alternativas de se explicar ciência e por consequência suas teorias e modelos na perspectiva de ensino. A intenção não é favorecer uma dessas duas visões, embora opostas, mas colocá-las como escolhas do pesquisador ou professor de ciências para melhor instigar e conduzir os estudantes na compreensão de modelos e teorias que podem ser reais, transitórios, verdadeiros ou potencialmente verdadeiros.

As contribuições de van Fraassen e Ronald Giere foram importantes nesta pesquisa, colocando o modelo como parte da teoria em um patamar elevado, isso

reforma ainda mais o papel epistemológico do modelo, tendo em vista que, no âmbito de ensino e educação científica, esse papel é frequentemente atribuído apenas à teoria a ponto de docentes e discentes se preocuparem mais em decorar as sentenças de uma teoria do que compreender um funcionamento de um modelo.

Uma das contribuições desta pesquisa é reduzir essa lacuna acerca da importância dos modelos físicos, esclarecendo o seu papel no ensino de ciências. Esta pesquisa também serve de aporte para professores e pesquisadores de ciências a reverem suas concepções sobre modelos físicos e otimizar modelos materiais no ensino de ciências, como ferramentas obrigatórias e permanentes, abandonando seu uso alternativo e transitório.

Este trabalho também é de suma importância para a formação docente, no sentido de que professores saibam manipular modelos, para que não transmitam aos alunos a ideia de um modelo “cópia da realidade”, formando a imagem de um realismo exacerbado que reflete um mundo científico estático e imutável.

De igual modo, este estudo traz contribuição para o público discente, ao tentar esclarecer que modelos são representações do mundo e de mundos possíveis, o que não significa que qualquer idealização de mundo seja correta, haja vista que o modelo representa uma estrutura funcional e, portanto, um mundo funcional regido por leis científicas. Nesse ponto é importante o estudante ser instruído de que modelo está inserido em uma teoria repleta de leis empiricamente viáveis. Logo, compreender o modelo implica em compreender leis e teorias científicas, por consequência, fica mais fácil para o estudante manipular o modelo do que decorar sentenças de leis científicas descritas em livros didáticos.

A compreensão de modelos, por parte de quaisquer públicos: docente, discente, pesquisadores, acadêmicos e sociedade em geral dentro de qualquer esfera da educação formal ou não formal, é de suma importância para a compreensão do mundo que vivemos, e por consequência, relevante para a superação da ideia de mundos imaginários repletos de teorias e modelos falíveis que, infelizmente, são concebidos por incompreensão da nossa realidade complexa e difícil de assimilar, muitas vezes pelo modo tradicional e inflexível do ensino de ciências.

O uso de modelos materiais no ensino de ciências, seja através de recursos tecnológicos ou alternativos, sejam destinados à educação especial ou qualquer modalidade de ensino, resulta na aproximação do estudante a uma entidade científica que dificilmente o aluno teria acesso. Isso faz desse modelo uma ferramenta

indispensável e obrigatória no ensino de ciências, independentemente do público a ser atendido, do material a ser usado, da técnica ou da teoria sustentadora para justificar seu uso.

Com isso, a relevância do modelo material alicerça-se no próprio modelo, no que ele representa e no que ele ensina. Assim, as pesquisas, produções e utilizações de modelos materiais no ensino de ciências devem a ser repensadas e seus elementos realocados, pondo técnicas e teorias como acessórios do modelo para que este ocupe seu lugar de primazia.

REFERÊNCIAS

ABREU, Styven et al. O foguete de garrafa pet no ensino de física. In: ENCONTRO DE LICENCIATURA E PIBID NO SUDESTE GOIANO, 4; ENCONTRO DE LICENCIATURAS E PESQUISAS EM EDUCAÇÃO, 3, 2018, Rio Verde. **Anais [...]** Rio Verde/GO: IFGOIANO, 2018, 5p.

AGUIAR, Leonardo. **Um processo para utilizar a tecnologia de impressão 3D na construção de instrumentos didáticos para o ensino de ciências**, 226f, 2016. Dissertação (Mestrado em Educação para Ciências) – Universidade Estadual Paulista, Bauru/SP, 2016.

ALMEIDA, Daniela; FERREIRA, Juliana. Ensino de ciências por meio de artefatos educativos para a popularização da biodiversidade de insetos aquáticos. In: Congresso de Ensino Pesquisa e Extensão, 3, 2016, Pirinópolis. **Anais [...]** Pirinópolis/GO: UEG, 2016, 6p.

ALMEIDA, Felipe. **LEGO EDUCATION: Um recurso didático para o ensino e aprendizagem sobre artrópodes quelicerados**, 115f, 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016.

ALMEIDA, José. **Ferramenta de auxílio no processo de Ensino-aprendizagem: eficácia da utilização de kit educacional no primeiro ano do Ensino Médio na disciplina de Química**, 117f, 2010. Dissertação (Mestrado em Distúrbios do Desenvolvimento) – Universidade Mackenzie, São Paulo, 2010.

ALMEIDA, Joyce. **Modelos 3d impressos como estratégia para a aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato**. 149f, 2019. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Alfenas, Alfenas/MG, 2019.

ALSELMO, Gustavo. **Simulador didático da acomodação do olho humano**, 215f, 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa/PR, 2016.

ALVES, Iana. **Kit de complementação pedagógica para crianças deficientes visuais utilizando a tecnologia de impressão 3D**, 60f, 2018. Projeto Acadêmico (Curso de Comunicação Visual Design) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 2018.

ANDRADE, Álesson et al. Produção de modelos biológicos como facilitador da aprendizagem no ensino de biologia celular no 1º ano do ensino médio. In: ENCONTRO NACIONAL DAS LICENCIATURAS, 8, 2018, Fortaleza. **Anais [...]**, Fortaleza/CE: UECE, 2018, 8p.

APARECIDO, T. M. R et al. O processo de ovulação ao alcance das mãos. In: Congresso Multidisciplinar, 5, 2019, Apucarana. **Anais [...]**, Apucarana/PR: FAP, 2019, 4f.

ARAGÃO, Amanda. **Ensino de Química para alunos cegos: desafios no ensino médio**, 122f, 2012. Dissertação (Mestrado em Educação Especial) – Universidade de São Carlos, São Carlos/SP, 2012.

ASSIS, Iara et al. O modelo didático da molécula de DNA: construção e utilização no ensino da biologia. In: CONGRESSO NACIONAL EM PESQUISA NO ENSINO DE CIÊNCIAS, 3, 2018, Campina Grande. **Anais [...]**, Campina Grande/PB: CEMEP, 2018, 4p.

ASSIS, Sheila et al. Educação em saúde – proposta de utilização de um modelo no ensino de ciências. **REMPEC - Ensino, Saúde e Ambiente**, v.3 n 2 p.108-120, Agosto 2010.

AZEVEDO, Aissa et al. Espectroscopia óptica de baixo custo: uma estratégia para a introdução de conceitos de física quântica no ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, nº 4, 10p, 2019.

BALBINOT, Margaret. Uso de modelos, numa perspectiva lúdica, no ensino de ciências. In: ENCONTRO IBERO-AMERICANO DE COLETIVOS ESCOLARES E REDES DE PROFESSORES QUE FAZEM INVESTIGAÇÃO NA SUA ESCOLA, 4, 2005, Lajeado. **Anais [...]**, Lajeado/RS, 2005, 8p.

BARRETO, Uarison; BERJANO, Nelson. O estado da arte sobre modelos a partir da filosofia da ciência e suas implicações para o ensino de química. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9, 2013, Águas de Lindóia. **Anais...** Aguas de Lindóia, ABRAPEC, 2013

BARROS, Angela. Construção e uso de modelos didáticos na formação inicial de licenciandos em ciências biológicas: uma experiência na disciplina biologia celular e molecular. In: ENCONTRO NACIONAL DAS LICENCIATURA, 8, 2018, Fortaleza. **Anais [...]**, Fortaleza/CE: UECE, 2018, 8p.

BASÍLIO, Mariana. **Modelagem molecular uma proposta interdisciplinar**, 65f, 2019. Monografia (Licenciatura em Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

BOUZON, Julia. **Metodologias didáticas alternativas para o ensino de geometria molecular e soluções: estratégias para a construção do conhecimento**, 75f, 2015. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências da Natureza) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015.

BRAGA, Marco; TOLEDO, Carlos. Modelos e modelagem na sala de aula: refletindo sobre o processo de construção do conhecimento científico. IN: CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS, 9, 2013, Girona. **Anais [...]** Girona: Universitat Autònoma De Barcelona, Universitat De Valencia, Universitat De Girona, 2013.

CAMILO, Julia. **Avaliação do uso de oficinas para aprendizagem significativa no ensino de ciências utilizando temas da paleontologia**, 29f, 2018. Monografia (Graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão/SE, 2018.

CANTÃO, Paula. **Desenvolvimento de uma sequência didática para o ensino de genética e seus aspectos químicos no ensino médio**, 172f, 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade Federal do Pampa, Bajé/RS, 2017.

CANTO, Maria. **Na ponta dos dedos”: conhecendo o corpo humano sob o olhar sensível dos deficientes visuais**, 133f, 2019. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Franciscana, Santa Maria, 2019.

CAREGNATO, R.C.A; MUTTI, R. Pesquisa qualitativa: análise de discurso versus análise de conteúdo. **Texto Contexto Enferm**, Florianópolis, v. 15, n. 4, p. 679-684, Out-Dez, 2006.

CASTRO, A.A. Revisão sistemática: identificação e seleção dos estudos. In: CASTRO, A.A. **Revisão sistemática com e sem metanálise**. São Paulo: AAC; 2001. Disponível em: <http://www.metodologia.org>. Acesso em 12 abr. 2019.

CATELLI, Francisco et al. Um objeto-modelo didático do movimento aparente do sol em relação ao fundo de estrelas. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 30, n. 1: p. 131-155, abr. 2013.

CHASSOT, Attico. **Alfabetização científica: questões e desafios para a educação**. 8 ed. Ijuí: Editora Unijuí, 2018

CHIBENI, Silvio. A inferência abdutiva e o realismo científico. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, série 3, v. 6, n. 1, p. 45-73, 1996.

CHIBENI, Silvio. Afirmando o conseqüente: uma defesa do realismo científico (?!). **Scientia e studia**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 221-49, 2006;

COIMBRA, Suelen; TADDEI, Fabiano. **Modelagem tridimensional de borboletas (lepidoptera) como método didático para o ensino de zoologia**. Disponível em: <http://repositorioinstitucional.uea.edu.br/bitstream/riuea/633/1/Modelagem%20tridimensional%20de%20borboletas%20%28lepidoptera%29%20como%20m%C3%A9todo%20did%C3%A1tico%20para%20o%20ensino%20de%20Zoologia..pdf>. Publicado em 12 set 2017. Acesso em: 20 out 2019.

CONDA, Julio. **Construção de modelos físicos moleculares com materiais de baixo custo: uma proposta para o ensino de química no ensino médio**, 62f, 2015. Monografia (Graduação em Licenciatura em Ciências da Natureza e Matemática) -

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro- Brasileira, Acarape/CE, 2015.

COSTA JUNIOR, Almir. **Uma estratégia utilizando robótica para o ensino dos conceitos de velocidade e aceleração escalares**, 164f, 2017. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino Tecnológico) – Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Amazonas, Manaus/AM, 2017.

CREPPE, Carlos. **Ensino de química orgânica para deficientes visuais empregando modelo molecular**, 123f, 2009. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências na Educação Básica) – Universidade Grande Rio, Duque de Caxias/RJ, 2009.

CUNHA, Myrna; MIRANDA, Antonio. A construção de um protótipo de energia solar, em sala de aula. **VIII Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 8, n. 6, p. 60-73, 2012.

DANTAS, Adriana et al. Importância do uso de modelos didáticos no ensino de citologia. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 3, 2016, Natal. **Anais [...]**, Natal/RN: CEMEP, 2016

DIAS, Ane. **A inclusão de alunos com Transtorno do Espectro do Autismo (Síndrome de Asperger): uma proposta para o ensino de química**, 142f, 2017. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS, 2017.

DINIZ, Alexandre; ARAÚJO, Ramos. Uma abordagem prática para o ensino do eletromagnetismo usando um motor de indução de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, nº 1, 9p, 2019.

DUARTE, Alessandro; HADDAD, Alice; GUITARRARI, Robinson (Org.). **Realismo & Antirrealismo**. Seropédica: PPGFIL-UFRRJ, 2016

DUMPEL, Renata. **Modelos de células interativos: facilitadores na compreensão das estruturas celulares e no processo de inclusão de indivíduos com necessidades educacionais especiais visuais**, 99f, 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro/RJ, 2011.

FEITOSA, Emily et al. O ensino da biologia através de modelo tridimensional: processo de replicação do DNA. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 9, n. 3, 14 fev. 2020.

FELICETTI, Suelen et al. Aprendizagem de conceitos de astronomia no ensino fundamental: uma oficina didática em preparação para a OBA. **Revista Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias**, Bogotá, v. 12, n. 2, p. 32-49, jul-dez, 2017.

FRAASSEN, B. C. V. **A imagem científica**. São Paulo: UNESP discurso editorial, 2007.

FRAASSEN, B.C V. **Scientific Representation: Paradoxes of Perspective**. Oxford University Press: Oxford, 2008.

FREIRE, Renan. **Microbiologia no ensino fundamental: uma prática para enxergar o invisível**, 40f, 2014. Monografia (Especialização em Ensino de Ciências) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira/PR, 2014.

FREITAS, Leslie et al. Ensinando coccidioidomicose para deficientes visuais. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 5, 2018, Olinda/PE. **Anais [...]**, Olinda/PE: CEMEP, 2018, 9p.

FREITAS, Maria et al. Desenvolvimento e aplicação de kits educativos tridimensionais de célula animal e vegetal. **Ciências em Foco**, v. 1, n. 2, p. 11p, ago., 2009.

GALVÃO, Luiz. **O grilo como modelo biológico didático vivo para o ensino de ciências em escolas do Estado Rio de Janeiro**, 51f, 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências na Educação Básica) – Universidade do Grande Rio, Duque de Caxias/RJ, 2017.

GAVA, Alessio. A não-ciência de humanóides e golfinhos: Van Fraassen e o conceito de comunidade epistêmica. **Griot : Revista de Filosofia**, Amargosa/BA, v.15, n.1, p. 291-300, jun/2017.

GAVA, Alessio. **O conceito de observabilidade segundo Bas Van Fraassen e a sua relevância para o empirismo construtivo**. 119f. 2010. Dissertação (Mestrado em Filosofia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

GERHARDT, Tatiana; SILVEIRA, Denise. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

GHIZONE, Henrique et al. Lego mindstorm: a aplicação da robótica no ensino de física e no desenvolvimento tecnológico. In: SIMPOSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA, 3, 2012, Ponta Grossa/PR. **Anais [...]**, Ponta Grossa/PR: UTFPR, 2012, 8p.

GIERE, R. **Explaining science: a cognitive approach**. The University of Chicago Press: Chicago, 1988.

GIERE, R. **Representing with Physical Models**. Disponível em: http://philsci-archive.pitt.edu/8386/1/Giere-Representing_with_Physical_Models-Revised.doc. Acesso em 12 abr. 2019. Publicado em: jan. 2009.

GOÉS, Adreia et al. Remexendo o citoesqueleto: uma abordagem lúdica para o ensino de biologia. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 9, n. 3, 14 fev. 2020.

GONÇALVES, Marina. **Oficina Astronômica: Uma proposta de atividades utilizando materiais potencialmente significativos para Ensino Médio**, 130f, 2014. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre/RS, 2014.

GORRI, Ana. Modelos e Representações em Química Orgânica no Ensino Superior: Contribuições da Epistemologia de Mario Bunge. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 18, 2016, Florianópolis. **Anais [...]** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

GRECA, Ileana M. & SANTOS, Flávia M. T. dos. Dificuldade da generalização das estratégias de modelação em ciências: o caso da física e da química. *Investigações em Ensino de Ciências* 10 (1): 31-46, 2005

GRECA, Ileana; SANTOS, Flávia. Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em ciências: o caso da física e da química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 1, p. 31-46, 2005

HENNEMANN, Nara. **Fontes de energia e ambiente: uma proposta interdisciplinar no ensino de ciências exatas**. 182f, 2012. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Centro Universitário Univates, Lajeado/RS, 2012.

ISERHARDT, Northon et al. Desenvolvimento de um carrinho autônomo com arduino para o ensino de cinemática. In: MOSTRA NACIONAL DE ROBÓTICA, 2015. Uberlândia. **Anais [...]**, Uberlândia: CNPq, 2015.

JESUS, Edmundo; SILVA, José; GONZALEZ, Isadora. Mais que representação: as equações químicas como modelos das reações químicas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 12, 2019, Natal. **Anais... Natal**, UFRN/ABRAPEC, 2019

JUNGES, Alexandre. Inferência à melhor explicação. **Intuitio**, Porto Alegre, [s.v], n.1, p. 82-97, jun. 2008.

JUSTINA, L.A.D; FERLA, M.R. A utilização de modelos didáticos no ensino de Genética - exemplo de representação de compactação do DNA eucarioto. **Arq Mudi**. v. 10, p. 2, p. 35-40, 2006.

KAUVAUTI, Bruno. **Construção de material didático para o ensino de física para alunos com deficiência visual**, 136f, 2019. Dissertação (Mestrado no Ensino de Física) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba/SP, 2019.

KIEREPKA, Janice et al. A produção de maquetes como instrumento pedagógico para o ensino de modelos atômicos. In: MOSTRA INTERATIVA DA PRODUÇÃO ESTUDANTIL EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 2015 Ijuí/RS. **Anais [...]**, Ijuí/RS, 2015, 5p.

KRAPAS, Sonia et al. Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 2, n. 3, p. 185-205, 1997

LADYMAN, James; DOUVEN, Igor; HORSTEN, Leon; VAN FRAASSEN, Bas. **Uma defesa da crítica de van Fraassen à inferência abduativa: uma réplica a Psillos**. Disponível em: <http://www.uel.br/pessoal/mrs/pages/arquivos/fraassen.critica.2000.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2020.

LEÃO, Gabriel. **Diferentes estratégias metodológicas para o processo de ensino e aprendizagem da biologia celular**, 296f, 2018. Tese (Doutorado em Biologia Celular e Molecular) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba/PR, 2018.

LEITE, Lays. **Atividades lúdicas no ensino de biologia para alunos que cumprem medida socioeducativa de internação: o despertar para o conhecimento científico**, 32f, 2013. Monografia (Licenciatura em Ciências Naturais) – Universidade de Brasília, Planaltina/DF, 2013.

LEITE, Mayara. **O Uso de Modelos no Ensino do Sistema Nervoso: Uma Prática na Educação de Jovens e Adultos**, 44f, 2017. Monografia (Licenciatura em Ciências Naturais) – Universidade de Brasília, Planaltina/DF, 2017.

LIMA, Bruna. **Proposta de ensino de química orgânica para alunos com deficiência visual: desenhando a prática pedagógica inclusiva**, 174f, 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017.

LIMA, Maria. **Saberes de Astronomia no 1º e 2º anos do ensino fundamental, numa perspectiva de letramento e inclusão**. 149f, 2006. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências Naturais e Matemática) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

LOURENÇO, Ilza. **Ensino de química: Proposição e testagem de materiais para cegos**, 89f, 2003. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências/Química) – Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2003.

LUNA, Maria. O uso de modelos didáticos como estratégia no ensino do conceito e funções de estruturas celulares. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E

ENSINO EM CIÊNCIAS, 4, 2019, Campina Grande/PB. **Anais [...]** Campina Grande/PB: CEMEP, 2019.

MADUREIRA, Hérika et al. O uso de modelagens representativas como estratégia didática no ensino da biologia molecular: entendendo a transcrição do DNA. **Revista Científica Interdisciplinar**, v. 3, nº 1, p. 17-25, jan/mar 2016.

MAIA, Nilton. **Origami arquitetônico como recurso pedagógico para a compreensão da geometria espacial de moléculas**, 117f, 2019. Dissertação (Mestrado Profissional em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2019.

MARIN, Letícia et al. Uma proposta para o ensino de orbitais atômicos no ciclo básico dos cursos de engenharia a partir da construção de modelos tridimensionais utilizando materiais reutilizados. **Ensaio USF**, v.1, n.1, p. 238-246, 2017.

MARIZ, Genselena. **O uso de modelos tridimensionais como ferramenta pedagógica no ensino de biologia para estudantes com deficiência visual**, 95f, 2014. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza/CE, 2014.

MARQUES, Keiciane. Modelos didáticos comestíveis como uma técnica de ensino e aprendizagem de biologia celular. **Revista de Educação Ciência e Tecnologia**, Canoas, v.7, n.2, 12p, 2018.

MARQUES, Tayana et al. Trabalhando o sistema respiratório: a construção de material lúdico por jovens e adultos. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS, 2016, Campina Grande/PB. **Anais [...]** Campina Grande/PB: CEMEP, 2016.

MAZZOTTI, Alda; GEWANDSZNAJDER, Fernando. **O Método nas Ciências Naturais e Sociais: Pesquisa Quantitativa e Qualitativa**. 2 ed. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2002.

MENDES, KDS; SILVEIRA RCCP; GALVÃO CM. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. **Texto Contexto Enferm**, Florianópolis, v. 17, n. 4, p. 758-764, Out-Dez, 2008.

MENDONÇA, Antonia. **Desenvolvimento e aplicação de uma maquete sobre as leis de Kepler para inclusão de alunos com deficiência visual no ensino de física**, 103f, 2015. Dissertação (Mestrado no Ensino de Física) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente/SP, 2015.

MENDONÇA, Fabricio M.; ALMEIDA, Mauricio B. Modelos e teorias para representação: uma teoria ontológica sobre o sangue humano. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO, 13, 2012, Rio de Janeiro. **Anais[...]**, Rio de Janeiro: ANCIB, 2012.

MENDONÇA, Paula; JUSTI, Rosária. Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem – Parte II. **Educación Química**, v. 20, n. 3, p. 373-382, jul, 2009.

MIGLIATO FILHO, José. **Utilização de modelos moleculares no ensino de estequiometria para alunos do ensino médio**. 130f, 2005. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP, 2005.

MONTEIRO, Marko. Práticas de representação na ciência: Visualidade e materialidade na construção do conhecimento. In: SIMPOSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA E SOCIEDADE, 2011, Curitiba. **Anais [...]** Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

MORAES, A. **O empirismo construtivo de Bas C. Van Fraassen e o problema da Explicação Científica**. 116f. 2008. Dissertação (Mestrado em Filosofia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

MOREIRA, Marco Antonio. Modelos científicos, modelos mentais, modelagem computacional e modelagem matemática: aspectos epistemológicos e implicações para o ensino. **R. B. E. C. T.**, v 7, n. 2, p. 1-20, mai-ago.2014.

MOTA FILHO, Mironaldo. **O ensino de eletromagnetismo para alunos com deficiência visual**, 138f, 2015. Dissertação (Mestrado no Ensino de Física) – Universidade Federal de Goiás, Catalão/GO, 2015.

MOZZER, Nilmara; JUSTI, Rosária. Modelagem analógica no ensino de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 1, p. 155-182, 2018.

MUNIZ, Rafael. **Elaboração e avaliação de um material instrucional baseado na teoria da aprendizagem significativa: Estudo de transformações de energia com o uso de uma maquete**, 207f, 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

OKASHA, Samir. **Realismo e antirrealismo**. In: Philosophy of science: a very short introduction. Oxford University Press, 2002, pp. 58-76. Tradução de Luiz Helvécio Marques Segundo e Sérgio Ricardo Neves Miranda, Universidade Federal de Ouro Preto, 2011. Disponível no site: <http://criticanarede.com/realismo.html>. Acesso em: 29 maio 2019

OLIVEIRA, Andressa. **Um olhar sobre o ensino de ciências e biologia para alunos deficientes visuais**, 83f, 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino na Educação Básica) – Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus/ES, 2018.

OLIVEIRA, Cleidson. **Atividade experimental investigativa: construção de um termômetro de coluna líquida**. 228f, 2012. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Exatas) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP, 2012.

OLIVEIRA, Darlan et al. Práticas no ensino de ciências naturais/ exatas para alunos com deficiência visual – revisão de literatura. In: MACHADO, Danielle; CAZINI, Janaina (Orgs). **O fortalecimento da escola inclusiva, diversa e com qualidade no ensino**. Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019.

OLIVEIRA, Wilker. **A formação do professor/pedagogo e o ensino de ciências nos anos iniciais do ensino fundamental: estratégias pedagógicas com foco na abordagem sobre microrganismos**, 125f, 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis/GO, 2018.

ORLANDO, Tereza. Planejamento, montagem e aplicação de modelos didáticos para abordagem de biologia celular e molecular no ensino médio por graduandos de ciências biológicas. **Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular**, [s.v], n.1, 2009.

PAIXÃO, Breno. Utilização de modelos didáticos como facilitador no ensino de biologia celular. **Revista de Extensão da UNIVASF**, Petrolina, v. 6, n. 1, p. 124-127, 2018.

PALAIIO et al, Sueny. Desenvolvimento de modelos impressos em 3d para o ensino de ciências. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista**, v. 8, n. 3. set./dez. 2018.

PASCHOALIN, Larissa et al. Recursos de tecnologia da informação como apoio ao processo de ensino e aprendizagem de citologia. In: SEMANA DA TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO, 4, 2017, Paranavaí. **Anais [...]**, Paranavaí/PR: IFPR, 2017, 8p.

PASSMORE, C; GOUVEA, J.S.; GIERE, R. Models in Science and in Learning Science: Focusing Scientific Practice on Sense-making. In: MATTHEWS, Michael. *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. New York: Springer, 2014, p. 1171-1202.

PAULA, José; ANDREOLA, Balduino. A construção de maquetes: um recurso didático no PROEJA-FIC. **Revista de Ciências Humanas – Educação**, v. 17, n. 29, p. 124-144, Dez. 2016

PAULO, Paula et al. Produção de materiais didáticos acessíveis para o ensino de química orgânica inclusivo. **Areté**, Manaus, v. 11, n. 23, 10p, jan-jun, 2018.

PELLENZ, Daiana. **Recursos de tecnologia da informação como apoio ao processo de ensino e aprendizagem de citologia**. 130f, 2015. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul/RS, 2015.

PENTEADO, Rosa; KOVALICZN, Rosilda. **Importância de materiais de laboratório para ensinar ciências**. Disponível em: <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/22-4.pdf>. Acesso em 28 out 2019.

PESSOA JUNIOR, Osvaldo. A classificação das diferentes posições em filosofia da ciência. **Cognitivo-Estudos: Revista Eletrônica de Filosofia**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 54-60, jan-jun, 2009.

PESSOA, Mikaela et al. Conhecendo a célula em uma nova perspectiva metodológica. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS, 4, 2019, Campina Grande/PB. **Anais [...]** Campina Grande/PB: CEMEP, 2019.

PINHEIRO, Gabriel et al. Um novo olhar para o ensino de biologia no fundamental ii: reprodução e o efeito da salinidade no desenvolvimento larval do *Ucides Cordatus* (Linnaeus, 1763) (Decapoda: Ocypodidae). In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 5, 2018, Olinda/PE. **Anais [...]**, Olinda/PE: CEMEP, 2018, 7p.

PRESTES, Maria. Uso de modelos na ciência e no ensino de ciências. **Boletim de História e Filosofia da Biologia**, v. 7, n. 1, p 4-10, mar. 2013. Versão online disponível em <http://www.abfhib.org/Boletim/Boletim-HFB-07-n1-Mar-2013.pdf>. Acesso em 10 abr 20120

QUADROS, Luiza et al. Construção de Tabela Periódica e Modelo Físico do Átomo Para Pessoas com Deficiência Visual. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Pesquisa Científica, 8, 2011, Campinas/SP. **Anais [...]**, Campinas/SP: ABRAPEC, 2011.

QUADROS, R. M. O. 'Bi' em bilinguismo na educação de surdos. In: FERNANDES, E (org.) **Surdez e bilinguismo**. Porto Alegre, RS: Editora Mediação, 2005.

QUINTO, Thalita; FERRACIOLI, Laercio. Modelos e modelagem no contexto do ensino de ciências no brasil: uma revisão de literatura de 1996-2006. **Revista Didática Sistêmica**, v 8, n. 2, p. 80-100, jul/dez, 2008.

REIS, Ivoni Freitas et al. Adaptações táteis de modelos atômicos para um ensino de química acessível a cegos. **Enseñanza De Las Ciencias**, n.º extraordinário, p. 4015-4019, 2017

RENNER, Giselen. Construção de uma maquete tridimensional fosforescente da constelação de órion: uma proposta didática para o ensino de astronomia. **Revista**

Latino-Americana de Educação em Astronomia – RELEA, [s.v], n. 25, p. 39-49, 2018.

ROCHA, Luiz et al. Educação de surdos: relato de uma experiência inclusiva para o ensino de ciências e biologia. **Revista Educação Especial**, Santa Maria, v. 28, n. 52, p. 377-392, maio/ago. 2015.

SANTOS, Carmem; MENEZES, Crediné. A Aprendizagem da Física no Ensino Fundamental em um Ambiente de Robótica Educacional. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 25, 2005, São Leopoldo. **Anais [...]**. São Leopoldo: UNISINOS, 2005, p. 2746 – 2753.

SARAIVA, Maria et al. As fases da lua numa caixa de papelão. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, v.4, n. 4, p. 9-26, 2007.

SATHLER, Karla. **Inclusão e ensino de física: estratégias didáticas para a abordagem do tema energia mecânica**, 81f, 2014. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciência da Natureza) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014.

SILVA et al. Equipamento robótico para o estudo de cinemática. In: MOSTRA NACIONAL DE ROBÓTICA, 2015. Uberlândia. **Anais [...]**, Uberlândia: CNPq, 2015.

SILVA, Alyson. Utilização de modelos didáticos no ensino de zoologia dos vertebrados. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 4, 2017, João Pessoa/PB **Anais [...]**, João Pessoa/PB: CEMEP, 2017, 4p.

SILVA, Ana. **Geometria molecular: elaboração, aplicação e avaliação de uma sequência didática envolvendo o lúdico**, 80f, 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências da Natureza) – Universidade Federal Fluminense, Niterói/RJ, 2016.

SILVA, Angelina et al. Citologia ao alcance de todos: a construção de modelos didáticos como instrumentos potencializadores no processo ensino-aprendizagem. In: EXPO PIBID 2014, Recife. **Anais [...]**, Recife, 2014.

SILVA, Camila. **Uso da modelagem científica como recurso instrucional para o desenvolvimento de atividades experimentais no ensino médio**, 146f, 2018.

Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade Federal do Pampa, Bagé/RS: 2018.

SILVA, Giovana. **A abordagem do modelo atômico de Bohr através de atividades experimentais e de modelagem**, 217f. 2013. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2013.

SILVA, Guilherme et al Transformação de coordenadas aplicada à construção da maquete tridimensional de uma constelação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, p. 1306.0- 1306-7, 2008.

SILVA, Juliana; VALLIM, Magui. Estudo, desenvolvimento e produção de materiais didáticos para o ensino de biologia. **Aproximando**, v. 1, n. 1, p 1-5, 2017.

SILVA, Marcela; PIERSON, Alice. Ensino de física e deficiência visual: relato de uma experiência em aulas de eletrostática. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 20, 2013, São Paulo/SP. **Anais [...]**, São Paulo/SP: SBF,2013, p. 1-8.

SILVA, Marcos Rodrigues. Realismo e anti-realismo na ciência: aspectos introdutórios de uma discussão sobre a natureza das teorias. **Revista Ciência & Educação**, v. 5, n. 1, p. 7–13, 1998.

SILVA, Marcos. realismo e anti-realismo na construção do modelo da dupla-hélice. **Especiaria (uesc)**, v. 9, p. 411-429, 2006.

SILVA, Rodrigo. **A experiência com o projeto de educação ambiental nas aulas de física do 3º ano do ensino médio**, 145f, 2015. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016.

SIMON, Samuel; MORAES, Aline. O empirismo construtivo de Bas C. van Fraassen e o Problema do Sucesso Científico. **Philosophos**, v. 12. n. 2, p. 131-169, jan/jun, 2007.

SOARES, Emerson et al.. A presença do lúdico no ensino dos modelos atômicos e sua contribuição no processo de ensino aprendizagem. **Góndola, Enseñ Aprend Cienc**, v.12, n. 2, p. 69-88, jul-dez, 2017.

SOARES, Franciele. **A elaboração e uso de uma unidade temática sobre limpeza no ensino de química**, 88f, 2018. Monografia (Licenciatura em Química) – Universidade Federal Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

SOUSA, Kassiano. **Modelos analógicos de controle homeostático como ferramenta didática no ensino de fisiologia**, 44f, 2013. Monografia (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Universidade Federal da Paraíba: João Pessoa/PB, 2013.

SOUZA, M.T; SILVA, M.D; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein**. v 8, n. 1, p102-106, 2010.

SOUZA, Wlisses. **Uso de aplicações de materiais poliméricos recicláveis na construção de um modelo molecular**. 59f, 2012. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió/AL, 2012.

TASCA, Rodolfo. **Estrutura da Matéria e Tabela Periódica no Ensino de Ciências para a 8ª série – Caminhos Alternativos no Ensino de Química**, 176f, 2006. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

THAGARD, Paul. Scientific Cognition: Hot or Cold? In: FULLER, Steve. **The Cognitive Turn: Sociological and Psychological Perspectives on Science**. v. 13. Universidade do Colorado, 1987.

TORRES, Josiane. **Desenvolvimento de kit didático para reprodução tátil de imagens visuais de livros de física do ensino médio**, 115f, 2013. Dissertação (Mestrado em Educação Especial) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP, 2013.

VALLE, Rafael. **O problema do sucesso científico: para além do "salvar fenômenos"**, 42f, 2013. Monografia (Graduação em Filosofia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

VAZ, José et al Material Didático para Ensino de Biologia: Possibilidades de Inclusão. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, n. 3, p. 81 -104, 2012.

VILHEMA, Nariane, et al. Modelos didático-pedagógicos: estratégias inovadoras para o ensino de biologia. In: Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia, 2, 2010, Ponta Grossa/PR. **Anais [...]**, Ponta Grossa/PR: UTFPR, 2010.

VISCOVINI, Ronaldo et al. Maquete didática de um sistema trifásico de corrente alternada com Arduino: ensinando sobre a rede elétrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 856-869, dez. 2015.

VIVAS, Deise et al. Ensino de Física para surdos: um experimento mecânico e um eletrônico para o ensino de ondas sonoras. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 197-215, abr. 2017.