



UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

MARÍLIA DOS SANTOS MARINHO

**RELAÇÕES ENTRE A IMAGINAÇÃO E A ICONICIDADE TEXTUAL NA OBRA
ISAAC NO MUNDO DAS PARTÍCULAS: uma análise na construção de
significados sobre o conceito de átomo**

Caruaru

2024

MARÍLIA DOS SANTOS MARINHO

**RELAÇÕES ENTRE A IMAGINAÇÃO E A ICONICIDADE TEXTUAL NA OBRA
ISAAC NO MUNDO DAS PARTÍCULAS: uma análise na construção de
significados sobre o conceito de átomo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação em Ciências e Matemática.

Área de Concentração:
Educação em Ciências e Matemática.

Orientador(a): Prof. Dr. João Roberto Ratis Tenório da Silva

Caruaru

2024

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Nasaré Oliveira - CRB/4 - 2309

M338r Marinho, Marília dos Santos.
Relações entre a imaginação e a iconicidade textual na obra Isaac no mundo das partículas: uma análise na construção de significados sobre o conceito de átomo. / Marília dos Santos Marinho. – 2024.
141 f.; il.: 30 cm.

Orientador: João Roberto Ratis Tenório da Silva.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós- Graduação em Educação em Ciências e Matemática, 2024.
Inclui Referências.

1. Átomos. 2. Literatura fantástica. 3. Imaginação. 4. Educação científica. 5. Gegenstand. I. Silva, João Roberto Tenório Ratis da (Orientador). II. Título.

CDD 371.12 (23. ed.) UFPE (CAA 2024-010)

MARÍLIA DOS SANTOS MARINHO

**RELAÇÕES ENTRE A IMAGINAÇÃO E A ICONICIDADE TEXTUAL NA OBRA
ISAAC NO MUNDO DAS PARTÍCULAS: uma análise na construção de
significados sobre o conceito de átomo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação em Ciências e Matemática.

Área de Concentração:
Educação em Ciências e Matemática.

Aprovado em: 27/02/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr. João Roberto Ratis Tenório da Silva (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. João Eduardo Fernandes Ramos (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. Luca Tateo (Examinador Externo)
Universidade de Oslo - UiO

À minha grande amiga e vó, Zuca (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

A tarefa de desenvolver uma pesquisa de mestrado ao longo de dois anos é um trabalho de equipe. Mas não foram apenas dois anos; esse trabalho é fruto de idealizações de uma vida, que, mesmo diante de tantos “apesar de”, pôde se constituir com o apoio de muitos, em especial os que cito a seguir.

Primeiramente, agradeço ao Divino pelo dom da vida; por encontrar na existência de cada um que cruzou meu caminho a esperança de me tornar alguém melhor.

Tive o privilégio de trabalhar com muitos profissionais talentosos na Universidade Federal de Pernambuco – Campus Agreste. O apoio entusiasta do meu orientador, Prof. Dr. João Tenório, tem sido constante desde a graduação. O agradeço imensamente pelo seu profissionalismo e paciência em conduzir essa pesquisa com dedicação e desejo de evoluir.

Agradeço ao Prof. Dr. João Ramos e ao Prof. Dr. Luca Tateo por compor a banca de defesa, e pelas contribuições para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus pais, Beta e Ivo, à minha irmã, Mariany, e aos meus gatos, por serem a maior prova do divino em minha vida. Suas contribuições para esta pesquisa estão além de qualquer medida e eu agradeço a todos.

Ao meu melhor amigo e irmão que a vida me deu, Azael Neto, com quem divido as alegrias e obstáculos da vida (acadêmica) desde a graduação. Nossa amizade é um verdadeiro presente.

À minha terapeuta, Taísa Lima, que muitas vezes me ajudou a enxergar novos horizontes em dias nublados.

Agradeço também, imensamente, aos meus avós maternos, Josefa e Geraldo, por todo o incentivo aos meus estudos. Em especial, deixo meus agradecimentos a quem dedico este trabalho, minha vó paterna, Zuca (*in memoriam*), que foi alguém muito importante em minha vida, e a quem jamais esquecerei.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco, deixo meus agradecimentos pelo financiamento desta pesquisa.

“Lóri: uma das coisas que aprendi é que se deve viver apesar de. Apesar de, se deve comer. Apesar de, se deve amar. Apesar de, se deve morrer. Inclusive muitas vezes é o próprio apesar de que nos empurra para a frente” (Lispector, 2020, p. 23).

RESUMO

O uso de narrativas ficcionais na Educação Científica possibilita situações didáticas através de relações entre elementos narrativos e a aprendizagem de conceitos abstratos. Todavia, não se tem investigado o papel desses elementos na aprendizagem, em termos de como eles se associam aos processos cognitivos dos estudantes. Nesta pesquisa, realizamos uma intervenção em uma turma de História da Química de um curso de licenciatura em Química, para investigar o papel da narrativa de *Isaac no Mundo das Partículas* ao se associar a níveis de iconicidade e à imaginação na aprendizagem do conceito de átomo. Para isso, consideramos a aprendizagem como uma construção de significados, a partir da Psicologia Cultural Semiótica. Tratando-se de uma pesquisa descritiva que se aproxima de uma explicativa, realizada por meio de um estudo de caso e uma pesquisa participante, realizamos uma intervenção com a turma inteira, mas nossos dados foram construídos pela análise qualitativa dos discursos escrito e falado de três estudantes (E1, E2 e E3). Ao analisar os dados de discussões e questionários, através da Teoria da Iconicidade Verbal, observamos que os estudantes realizam transformações diagramáticas e imagéticas do conteúdo da obra para construir significados sobre o átomo. Isso aconteceu através de relações de semelhança entre signos que remetem a outros signos icônicos (imagens mentais) e elementos fantásticos na história. Essas relações alimentaram movimentos imaginativos na aprendizagem, os quais se associaram a caminhos subjetivos traçados pelos estudantes. Para investigar como esses caminhos foram construídos, realizamos uma entrevista semiestruturada com cada participante. Através do modelo do *Gegenstand*, percebemos que a leitura possibilitou a emergência de vetores de significação, novos significados prospectados, a partir de processos criados pela interação estudante-livro. A presença de marcadores nos discursos dos participantes demonstrou que tais processos contribuíram para os vetores de ampliação, à medida que os aspectos da narrativa foram selecionados pelos estudantes e intensificados ao serem associados ao cotidiano; adaptação, quando os estudantes incorporaram falas dos personagens literários para significar o átomo na realidade; e afetividade, observado no discurso de E2, quando a estudante associou elementos fantásticos da narrativa às suas memórias afetivas para significar o átomo. Nessa perspectiva, nossos achados apontam que a relação Ciência-Literatura em sala de

aula não só alimenta conexões entre fantasia e mundo real, mas, ao gerar movimentos imaginativos na aprendizagem, possibilita trocas e ações no mundo concreto para a construção de significados de conceitos abstratos.

Palavras-chave: átomo; literatura fantástica; construção de significados; Teoria da Iconicidade Verbal; imaginação; *Gegenstand*.

ABSTRACT

The use of fictional narratives in Science Education enables didactic situations through relationships between narrative elements and the learning of abstract concepts. However, the role of these elements in learning, in terms of how they are associated with students' cognitive processes, has not been thoroughly investigated. In this research, we conducted an intervention in a History of Chemistry class in a Chemistry teaching program to investigate the role of Isaac's narrative in the World of Particles in relation to levels of iconicity and imagination in learning the concept of the atom. To do so, we considered learning as a construction of meanings based on Cultural Semiotic Psychology. This descriptive, explanatory research, conducted through a case study and participant observation, involved an intervention with the entire class. However, our data were constructed through qualitative analysis of the written and spoken discourses of three students (E1, E2, and E3). Analyzing data from discussions and questionnaires using Verbal Iconicity Theory, we observed that students made diagrammatic and imagistic transformations of the content of the work to construct meanings about the atom. This occurred through relations of similarity between signs that referred to other iconic signs (mental images) and fantastical elements in the story. These relationships fueled imaginative movements in learning, which were associated with subjective paths traced by the students. To investigate how these paths were constructed, we conducted a semi-structured interview with each participant. Through the Gegenstand model, we noticed that reading allowed the emergence of vectors of meaning, new meanings anticipated, based on processes created by student-book interaction. The presence of markers in the participants' discourses demonstrated that these processes contributed to vectors of enlargement, as narrative aspects were selected by students and intensified when associated with everyday life; adaptation, as students incorporated literary character dialogues to signify the atom in reality; and affectivity, observed in E2's discourse, where the student associated fantastical elements of the narrative with her affective memories to signify the atom. From this perspective, our findings suggest that the Science-Literature relationship in the classroom not only fosters connections between fantasy and the real world but, by generating imaginative movements in learning, enables exchanges and actions in the concrete world for the construction of meanings of abstract concepts.

Keywords: atom; fantastic literature; meaning construction; Verbal Iconicity Theory; imagination; Gegenstand.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVO GERAL.....	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
3.1	PSICOLOGIA CULTURAL SEMIÓTICA (PCS)	21
3.1.1	A Semiótica de Charles Sanders Peirce e o Ensino de Química.....	26
3.2	A TEORIA DA ICONICIDADE VERBAL (TIV)	30
3.3	A IMAGINAÇÃO COMO FUNÇÃO MENTAL SUPERIOR	34
3.3.1	A imaginação no modelo do <i>Gegenstand</i> (GG)	37
3.4	PERCURSOS NA HISTÓRIA DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO: REFLEXÕES SOBRE OS MODELOS ATÔMICOS	41
3.5	TEXTOS DE FICÇÃO PARA O ENSINO E APRENDIZAGEM DE CONCEITOS CIENTÍFICOS.....	53
3.5.1	O átomo em Isaac no Mundo das Partículas.....	56
4	METODOLOGIA.....	60
4.1	LOCAL DE ESTUDO	60
4.2	PARTICIPANTES	60
4.2.1	Critérios de inclusão e exclusão	61
4.3	INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS	61
4.4	PROCEDIMENTOS PARA A COLETA DE DADOS	62
4.5	ANÁLISE DE DADOS.....	63
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
5.1	ANÁLISE GERAL DOS DADOS - ICONICIDADE	66
5.2	CAMINHOS INDIVIDUAIS DE APRENDIZAGEM	68
5.2.1	E1 – Ampliando e adaptando significados.....	69

5.2.1.1	Manipulação dos níveis de iconicidade	69
5.2.1.2	Imaginação: modelo do <i>Gegenstand</i>	76
5.2.2	E2 – Ampliando, adaptando e significando de forma afetiva	87
5.2.2.1	Manipulação dos níveis de iconicidade	87
5.2.2.2	Imaginação: modelo do <i>Gegenstand</i>	93
5.2.3	E3 – Ampliando e adaptando significados	103
5.2.3.1	Manipulação dos níveis de iconicidade	103
5.2.3.2	Imaginação: modelo do <i>Gegenstand</i>	107
5.3	AS DIFERENTES FORMAS DE RESISTÊNCIA/DIRECIONALIDADES	116
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	119
	REFERÊNCIAS	122
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PRÉVIO	131
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO EMERGÊNCIA DA ICONICIDADE	132
	APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO APLICADO APÓS A LEITURA	133
	APÊNDICE D – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	134
	APÊNDICE E – ROTEIRO PARA DISCUSSÃO DA LEITURA.....	136
	APÊNDICE F – ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA E1	137
	APÊNDICE G – ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA E2	138
	APÊNDICE H – ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA E3.....	139
	APÊNDICE I – PLANO DE AULA PARA A INTERVENÇÃO	140

1 INTRODUÇÃO

Textos de ficção carregam representações sobre o mundo que nos rodeia. Essas representações guardam potencialidades para construir relações com os conteúdos abstratos da Ciência. Durante a participação no Núcleo de Pesquisa em Aprendizagem de Conceitos Científicos (NUPACC), essas potencialidades começaram a ser investigadas, considerando a manipulação da iconicidade de signos a partir da interface Ciência-Literatura. Passamos a pensar, então, a influência dessa relação sígnica na construção de significados sobre um conceito científico.

Para investigar como a estrutura de um texto literário ficcional poderia dialogar com os processos cognitivos na construção de significados do conceito elétron, a partir da perspectiva da Mecânica Quântica, nós adotamos a Teoria da Iconicidade Verbal (TIV) (Simões, 2009). Por meio desse referencial, construímos categorias de análise para a construção dos dados no Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em Química. Observamos a presença de marcadores (signos mediadores) nos discursos dos estudantes, que, através da manipulação de níveis de iconicidade, estabeleceram relações entre a estrutura de um texto literário ficcional e movimentos imaginativos para a construção de significados do conceito elétron. Com isso, a imaginação se tornou um interesse de pesquisa a partir do seu papel quando do uso da literatura em sala de aula de Ciências.

Ao realizar um levantamento, nos últimos 10 anos (de 2012 a 2022), de trabalhos que investigaram o uso da literatura no ensino de Ciências, notamos que esta ferramenta é potencialmente didática quando dialoga o seu discurso com o discurso de assuntos da ciência. A busca foi feita no Google Acadêmico, no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES e nos anais das edições de dois eventos que julgamos importantes para a área: o Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC) e o Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ). As buscas foram realizadas a partir das seguintes palavras-chave: literatura e ensino de ciências.

Dessa maneira, encontramos um total de 44 trabalhos, sendo 13 dissertações na área de Química (2), Física (2), Biologia (2) e Ciências no geral (7); 2 teses, na área de Química (1) e Ciências (1); 15 trabalhos no ENPEC, na área de Ciências (11), Biologia (2) e Química (1), e nenhum trabalho no ENEQ. Encontramos também 2 trabalhos no Simpósio Nacional de Ensino de Física; e 12 trabalhos publicados em

revistas na área de Educação/Ensino de Ciências, direcionados à Física (5), à Química (2), à Biologia (1) e às Ciências (4).

De uma forma geral, alguns destes trabalhos observaram como a literatura fantástica apresenta potencialidades para refletir a realidade e tornar isso uma ponte para o questionamento de conceitos científicos em sala de aula (Ramos, 2012; Ramos; Piassi, 2017). A relação entre ciência e literatura também é objeto de estudo de alguns autores para: 1) proporcionar discussões acerca da natureza da ciência em sala de aula (Groto; Martins, 2015; Zilli, 2018; Leonardo Júnior; Massi, 2019; Nunes, 2019); 2) refletir a relação entre abstrações, metáforas e analogias na construção de conceitos científicos (Lima, 2014; Lima; Ricardo, 2015; Souza; Neves, 2016; Lima; Ricardo, 2019); 3) e pensar no desenvolvimento da imaginação, emoções e criticidade durante o processo de construção do conhecimento (Patriarcha-Graciolli, 2021). Diante desses aspectos, achamos relevante observar a contribuição deste tipo de instrumento em sala de aula para aprendizagem de conceitos científicos.

Para a Psicologia Cultural Semiótica (PCS), a aprendizagem é uma construção de significados. Os seres humanos aprendem por meio de processos de internalização e externalização, que se configuram mediante um movimento “de fora para dentro” e vice-versa, expressando como assimilamos o mundo exterior a partir dos materiais semióticos disponíveis no meio e a construção de novas sínteses a partir do que já está internalizado, podendo resultar na criação de novos signos e significados. Esta construção é permeada pelo funcionamento da cultura como artefato do meio e como função psicológica humana (Valsiner, 2012).

Os materiais semióticos a que nos referimos estão inseridos nas elaborações entre os indivíduos e o mundo, e se apresentam como complexos de *signos*, com funções de ícones (semelhança), que expressam ideias correspondentes ao que eles representam; índices, que correspondem a uma indicação em relação ao que estão associados; e símbolos, associados a um significado de uso de uma determinada coisa (Peirce, 1894). Assim, é pela funcionalidade dos signos nas construções de significados como ações interpretativas, segundo a PCS, que consideramos lançar luz sobre a função icônica dos signos ao se apresentar de maneira prevalente nos contextos.

Diante disso, a Teoria da Iconicidade Verbal (TIV) (Simões, 2009) nos oferece uma base teórica que observa os signos evocadores de imagens icônicas a partir da

manipulação de níveis de iconicidade. Neste estudo, os níveis de iconicidade analisados se trata da iconicidade lexical, diagramática e isotópica, que estão implicados a marcadores linguístico-icônicos na arquitetura de textos. Estes marcadores constituem a estruturação de um texto na elaboração de relações de semelhança e desenvolvimento de uma temática na comunicação de um gênero textual (Simões, 2009).

No quesito de gêneros textuais, entende-se que a organização de um texto carrega uma comunicabilidade, e que esta é extraída, manipulada e transformada pelo leitor. É importante considerar que, quando nos debruçamos sobre textos, entramos em um processo em que o escritor (enunciador) negocia com o leitor (coenunciador) imagens mentais, que foram construídas e põe-se, então, a serem reconstruídas na mente de quem interpreta, pois o leitor fará interpretações de acordo com as suas vivências (Simões, 2009). Essas interpretações são permeadas pela iconicidade como dimensão dos signos em ocupar na mente um espaço referente a um objeto concreto ou conceito abstrato, através de relações de analogia ou similaridade, que, segundo Simões (2009), podem se materializar tanto na fala quanto na escrita. As relações emergentes da iconicidade como função dos signos podem estimular uma importante função mental: a imaginação.

Nós imaginamos fenômenos que escapam de nossa realidade, mas também o que faz parte de nossa experiência real. Quando somos crianças, usamos a fantasia para idealizar situações hipotéticas em brincadeiras de faz de conta (Magid; Sheskin; Schulz, 2015), ou enquanto adultos, quando usamos a imaginação para embasar decisões em situações futuras (Nichols; Stich, 2000 *apud* Magid; Sheskin; Schulz, 2015). Sabemos a importância de considerar que adultos também podem imaginar cenários fantasiosos, no entanto, é importante destacar essa realidade na infância. Situações de faz de conta se constituem pertinentes ao sentimento, pensamento e vivência de novas realidades, proporcionando que a criança possa configurar um campo diverso de significados em seu imaginário (Almeida; Krüger-Fernandes; Borges, 2020).

Como uma atividade de experimentar, a Ciência também é permeada pela imaginação. Este campo de conhecimento, por meio de uma linguagem constituída em palavras, expressões e símbolos, faz destas ferramentas uma possibilidade de nos situarmos em circunstâncias hipotéticas. Isso acontece através da imaginação, enquanto imagens mentais atuam na criação e interpretação de teorias, uma vez

que “toda teoria projeta imaginativamente nossa experiência em campos que ainda não podemos experimentar” (Bronowski, 1998, p. 48) e que são permeados por sentidos e significados. Os *Gedankenexperiment*, ou experimentos mentais, por exemplo, se constituem importantes ferramentas para o desenvolvimento científico. Neles, a imaginação se caracteriza como parte de um esforço intelectual para se aproximar do que não está no plano concreto (Tateo, 2020).

No ensino das Ciências, a imaginação em sala de aula se constitui um processo de intercâmbio entre os conteúdos abstratos abordados e a realidade cotidiana dos estudantes. Para isso, algumas ferramentas didáticas para o ensino das Ciências podem fomentar movimentos imaginativos que direcionem para uma construção de significados sobre um conteúdo científico. Holanda, Cavalcanti e Guimarães (2022), por exemplo, desenvolveram um jogo de aventura de RPG que conta com desafios químicos envolvendo a acidez de compostos orgânicos, através da qual os jogadores se inserem no desenvolvimento de processos imaginativos constantes que corroboram para que as tentativas de solucionar os desafios sejam permeadas pela rememoração de conhecimentos prévios, a abstração de conceitos científicos e a possível construção de novos significados.

A partir do nosso entendimento sobre a imaginação como uma função mental superior (Vygotsky, 1991) e atuante na elaboração de significados ao longo da vida, fazemos uso do modelo do *Gegenstand* (GG) – orientado por questões afetivas, culturais e contextuais –, que se configura a partir da resistência às nossas interpretações, provocando vetores de significação, por meio da relação sujeito-objeto, que vão inibir ou promover a construção de novos significados (Tateo, 2017b). Podemos tomar como exemplos de *Gegenstand* um pedaço de tecido observado, que representa a bandeira de uma pátria e traz a ideia do dever de lutar em uma guerra, bem como um pedaço de madeira que, para uma criança, pode representar uma espada, mesmo que ela saiba que não o é (Tateo, 2016). De forma semelhante, um determinado recurso em sala de aula pode ser visto pelos estudantes como algo que potencialize a aprendizagem ou não, a partir dos possíveis vetores de significação que a relação estudante x recurso didático (sujeito x objeto) pode gerar.

Dentre os diversos recursos didáticos que podem potencializar o processo de aprendizagem, nesta dissertação destacamos a utilização de narrativas ficcionais. Para Piassi (2012), a literatura de ficção possui maneiras peculiares de trabalhar

assuntos da Ciência, que devem ser observadas e analisadas no que diz respeito a suscitar o interesse dos estudantes. Nesse sentido, a narrativa pode estabelecer relações de resistência/significação, conforme os estudantes interagem com ela. As características de uma narrativa do gênero fantástico (Todorov, 2010), por exemplo, podem constituir um cenário de estranhamento e/ou maravilhamento sobre fenômenos que nos parecem pertencem a uma outra realidade. Através desses aspectos, selecionamos a obra *Isaac no Mundo das Partículas* (Takimoto, 2018) para ser o nosso GG, considerando elementos semióticos presentes na obra, através dos quais o átomo é abordado pela narrativa fantástica.

Ante a abordagem do átomo, implicado às características do fantástico, destacamos a importância de levar em consideração pressupostos em torno da compreensão do que é o átomo. Este abrange as ideias do que é a construção de um modelo e a sua relação com a realidade, podendo levantar alguns obstáculos, quando professores e alunos não consideram as relações de diferença entre modelos teóricos e realidade (Moreira *et al.*, 2021). Nesse contexto, o referido conceito na obra literária em questão se constitui como um complexo sógnico que conta com a dimensão icônica de algo indivisível, cujo se relaciona com um todo que alicerça a produção de significados.

Dado o nosso interesse por processos semióticos, consideramos a construção de significados sobre um conceito científico entendendo este através de uma perspectiva psicológica, em que o conceito se dá como uma construção mental elaborada socioculturalmente por meio de uma interação dinâmica entre sistemas de conceitos (Schroeder, 2007), que podem ser reinterpretados através de operações mentais objetivas e subjetivas. Dessa maneira, a aprendizagem do conceito científico de nosso interesse se insere em um jogo interpretativo que o próprio conceito estabelece com o indivíduo e seu arcabouço de significados, construído ao longo da vida, bem como com os aspectos que contornam o conhecimento científico.

Ante o exposto, encontramos na TIV potencial para uma ferramenta de análise das relações entre a construção de significados sobre o conceito de átomo e um texto de ficção, considerando o papel da iconicidade dos signos na narrativa em gerar movimentos imaginativos que podem mediar o processo de aprendizagem. Acreditamos que textos de ficção, direcionados a trabalhar conceitos científicos sob uma ótica da fantasia, podem proporcionar aos estudantes movimentos imaginativos, a partir da iconicidade dos signos como função com potencial em criar

imagens mentais que podem levar a uma mediação do processo de aprendizagem.

Consideramos importante destacar que a Ciência e a Arte podem ser pensadas como muito distantes uma da outra, no entanto, as interfaces entre essas duas áreas possibilitam a emergência de aspectos que não são contemplados quando estabelecemos uma dicotomia entre elas, como a imaginação, a criatividade, a percepção, a afetividade e a experiência (Lima; Ramos; Piassi, 2020). Esses atributos são constituintes de nossa condição humana, e não devem ser esquecidos em situações educativas.

Ante isso, propomos o seguinte problema de pesquisa na área de Educação em Ciências: qual o papel da iconicidade presente no livro Isaac no Mundo das Partículas, em relação com a imaginação, na construção de significados sobre o conceito de átomo por estudantes de um curso de Licenciatura em Química?

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o processo de construção de significados do conceito de átomo, por um grupo de estudantes de um curso de Licenciatura em Química, a partir da relação entre os níveis de iconicidade no livro Isaac no Mundo das Partículas e a imaginação.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar a iconicidade de signos atuantes como mediadores do processo de aprendizagem;
- b) Categorizar os níveis de iconicidade de acordo com a Teoria da Iconicidade Verbal;
- c) Analisar diferentes vetores de significação a partir da relação sujeito/estudante – objeto/livro.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A literatura como ferramenta didática para o ensino das ciências se constitui sobre um solo de relações entre ciência e arte. Ramos (2012) discute a leitura de contos de literatura fantástica como um norte à exploração de aspectos semióticos que possibilitam a investigação e estabelecimento de analogias com conceitos da física. Nesse caminho, o pesquisador aponta como a exploração da linguagem literária pode permitir movimentos imaginativos em busca do que há para além do que é apresentado. Assim, a física e o fantástico se tornam parte da realidade.

Nessa mesma perspectiva, Ramos e Piassi (2017) lançam o olhar sobre como o questionamento da realidade ou não de fenômenos da física na literatura levam a um estranhamento que também é causado pelos elementos do gênero fantástico. Tal aspecto possibilita ir além da identificação de conceitos científicos, como, por exemplo, questionar o papel da ciência e a sua existência em um mundo fantástico.

Groto e Martins (2015) se debruçam sobre a literatura infantil de Monteiro Lobato e sua vertente científica, que pode proporcionar discussões problematizadoras acerca de visões da ciência no ensino fundamental. Zilli (2018) realiza discussões por caminhos semelhantes, mas olhando para o ensino superior, no sentido de pensar como a obra *Anjos e Demônios* pode ser veículo para proporcionar que estudantes debatam e expressem seus pensamentos sobre ciência, guiando um caminho à imaginação, e construindo ferramentas para as suas práticas docentes. Uma discussão da natureza da ciência e epistemológica também é interesse de Nunes (2019), que vê na ponte entre literatura e conhecimento científico possibilidades de explorar ideias distorcidas da ciência. Tais ideias podem se inserir nas relações que os indivíduos estabelecem com o conhecimento científico, sendo este produto das atividades humanas.

A relação ciência e arte nos leva a um lugar comum: um lugar de realizações humanas. A abordagem de textos literários em aulas de ciências abre espaço para explorar campos interdisciplinares e humanísticos, como processos de exclusão social, subjetividade, liberdade e universalidade do gênero humano (Leonardo Júnior; Massi, 2019). Assim, se estabelece relações com a realidade.

O caráter abstrato de conceitos na ciência ganha lugar de discussão quando se trata de pensar metodologias que possibilitem a construção desses conceitos. A leitura de capítulos do livro paradidático *Alice no País do Quantum* é refletida como uma metodologia que abre um caminho para trabalhar desafios encontrados ao

ensinar física quântica para estudantes do ensino médio. O uso de analogias e metáforas na linguagem fabular da obra possibilita a emergência de abstrações científicas que são necessárias para compreender os conceitos estudados (Lima, 2014; Lima; Ricardo, 2015; Souza; Neves, 2016), bem como configuram representações semióticas a serem manipuladas (Lima; Ricardo, 2019).

A interface ciência-arte constrói possibilidades para o trabalho docente ao entrelaçar a literatura infantil com a educação ambiental e científica. Patriarcha-Graciolli (2021) discute como a arte nos tira da realidade e nos faz pensar nela, corroborando para um encontro com a educação ambiental e científica à medida que a criança se descobre no mundo ao se identificar com as histórias e personagens, fazendo da fantasia uma possibilidade para a construção da criticidade.

A seguir, discutimos sobre a nossa base teórica. Buscamos estabelecer algumas reflexões acerca dos pressupostos da PCS, focando também na Semiótica de Peirce. A partir desta, damos destaque para a função icônica dos signos e o papel desta nos processos de semiose, segundo a TIV. Nessa perspectiva, refletimos o papel da imaginação como uma função mental superior e o seu entendimento no modelo do *Gegenstand*, para estabelecer reflexões sobre a aprendizagem de um conceito científico no campo da sala de aula de química/ciências. A partir disso, nos direcionamos ao conceito de átomo e suas implicações no campo epistemológico do conhecimento científico. Posteriormente, apresentamos potencialidades de textos de ficção para o ensino e aprendizagem de conceitos científicos, destacando o gênero fantástico e a presença de elementos de tal gênero na narrativa de *Isaac no Mundo das Partículas*.

3.1 PSICOLOGIA CULTURAL SEMIÓTICA (PCS)

O termo cultura atravessa as nossas experiências onde quer que estejamos. Nas relações familiares, de amizade, de trabalho, a cultura marca os intercâmbios que fazemos entre nós, os outros e os ambientes em que nos encontramos. Embora ela seja algo tão intrínseco às nossas vivências, não nos parece fácil definir o que é cultura. Podemos começar estabelecendo algumas breves reflexões sobre cultura, considerando mudanças que esse termo sofreu ao longo do tempo e enquanto inserido em contextos.

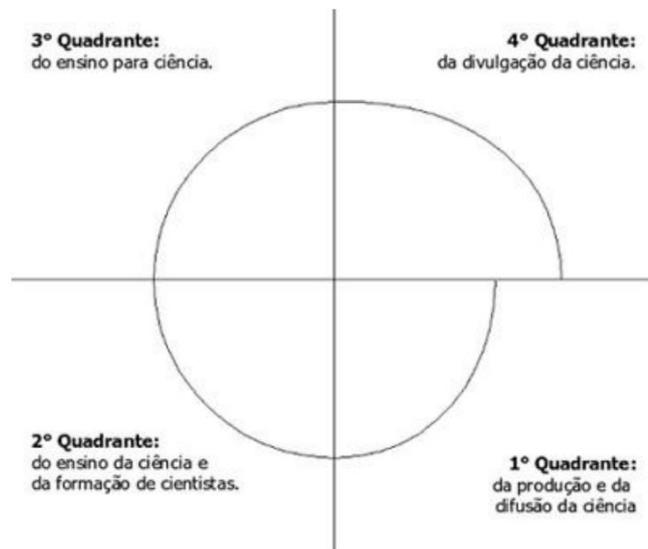
Para seguirmos por esse caminho, é importante sairmos de uma concepção singular para uma ideia mais plural: passemos a pensar não apenas em cultura, mas

sim em culturas. Diante disso, consideramos o contexto do século XVIII, em que as ideias do Iluminismo se alastravam pelo território europeu. Assim, indagações sobre a relação entre civilização e natureza abriam portas para a ascensão de discursos sobre 'cultura' (Valsiner, 2013, p. 49). No território francês, pensar uma civilização se atrelava à ideia de um modelo de comportamento ideal, logo, ele deveria ser o caminho para aqueles que se apresentassem distantes dele. Por outro lado, no entendimento das ideias alemãs, a *Kultur* estava entre uma esfera de individualidade, contando que o desenvolvimento humano se tratava de um caráter único (Vogt, 1996, p. 129 *apud* Valsiner, 2013, p. 49). Embora essas ideias fossem de encontro uma com a outra, podemos perceber que um cenário em comum se constitui, sendo este o de destaque às relações entre indivíduo-indivíduo e indivíduo-meio.

Podemos nos colocar, também, sobre o campo da história inglesa, onde práticas sociais refletiam a cultura ou civilização por meio de um conjunto de aspectos envolvendo conhecimento, crença, arte, moral, lei, costume, que faziam do indivíduo parte de um grupo (Tylor, 1971 *apud* Valsiner, 2013). No âmbito dessas esferas de saberes, podemos dar um destaque às nossas manifestações enquanto civilizações na criação e geração de conhecimento, considerando os traços atribuídos às culturas ao longo do tempo e da história.

Enquanto civilizações, nossos intervalos de desenvolvimento lançam luz sobre a ciência e a arte, com suas respectivas linguagens, na criação e geração de conhecimento como a intersecção entre essas áreas. Nesse cenário, Vogt (2003) argumenta como a produção, o ensino e a divulgação da ciência são emoldurados pelos cidadãos e os seus valores culturais, atribuindo ao desenvolvimento científico uma identidade de processo cultural, que nos possibilita pensar em uma *cultura científica*. Esta expressão designa um fenômeno na era contemporânea, que pode ser entendido a partir de uma espiral (Figura 1):

Figura 1 – A espiral da cultura científica



Fonte: Vogt (2003, p. 5).

A espiral da cultura científica se constitui gráfica e conceitualmente pelo cruzamento de um eixo temporal (horizontal) com um eixo espacial (vertical). Dessa maneira, a espiral perpassa por uma evolução da produção e difusão da ciência (1º quadrante); esta ocorrência possibilita que ela se torne ferramenta de cientistas e professores no trabalho de ensiná-la e formar novos cientistas (2º quadrante); estes, por sua vez, se tornarão atores de um ensino para a ciência (3º quadrante), construído nas universidades, por meio de feiras de ciências, nos museus etc.; que irá, assim, completar o ciclo com as atividades de divulgação científica (4º quadrante), podendo ser destinadas às revistas, páginas em redes sociais, programas de televisão etc. Essa configuração dos quadrantes e a passagem sobre eles representa uma dinâmica de constituição da ciência e das suas relações com a cultura, cujas são inerentes e necessárias (Vogt, 2003).

É importante destacar que essas ideias estão distantes de esgotar discussões importantes voltadas para o termo cultura em tais recortes da História. Mas, encontramos, até aqui, pontos a serem destacados e que podem nos guiar às discussões de nosso interesse.

No campo das relações estabelecidas com a cultura, existem formas de pensar essas relações. O desenvolvimento da psicologia transcultural questionou a criação de conhecimentos a partir da relação entre cultura e seres humanos, considerando que estes pertencem àquela (Valsiner, 2012), ou seja, a cultura, nesta perspectiva teórica, funciona como um enorme aquário em que os indivíduos estão

todos mergulhados, e que, por isso, há uma semelhança entre as pessoas que pertencem a uma cultura. Percebemos que há uma generalização do entendimento de cultura, contornando ideias que, por sua vez, são discutidas por Valsiner (2012) em uma perspectiva de se distanciarem de considerar características psicológicas das pessoas inseridas em diversas culturas. Assim, é de nosso interesse pensar em outras formas de relacionar pessoa e cultura, nos aproximando do lado pessoal das experiências vividas e da gênese de um outro entendimento sobre cultura.

No fim da década de 1980, se viu nascer uma ciência resultante da síntese entre psicologia, antropologia, sociologia, história e ciências médicas. Estamos falando da Psicologia Cultural. Esta perspectiva teórica teve contribuições da perspectiva sócio-histórica de Vygotsky, bem como de outras orientações teóricas e, por isso, se constitui em uma teia conceitual de ideias do âmbito social, cultural e histórico que se ligam à psicologia (Valsiner; Rosa, 2007). Segundo Valsiner (2012), na Psicologia Cultural, a cultura pertence à pessoa e faz parte da relação desta com o ambiente, se inserindo nas funções psicológicas humanas e desempenhando papel funcional nestas a partir de processos inseridos na participação social do indivíduo. Dessa forma, um cenário se constrói conforme se estabelece comunicações, a partir das quais a linguagem e a cultura se edificam, desenhando a pessoa como um sistema funcionando culturalmente (Valsiner, 2012; Brinkmann, 2016). Pretendemos lançar luz sobre este sistema com o intuito de pensar a natureza dinâmica e processual deste funcionamento.

A psicologia cultural contemporânea transita por perspectivas teórico-metodológicas que vão da Teoria da Atividade à Semiótica (Valsiner; Rosa, 2007). Nos guiamos, então, pela orientação que tem como eixo a mediação semiótica. Por isso, nossas reflexões contornam a cultura como um processo dinâmico, conectando às experiências humanas o diálogo entre processos intrapsicológicos e interpsicológicos que são mediados através de signos (Valsiner, 2012). Em outras palavras, a partir da Psicologia Cultural da Dinâmica Semiótica, doravante Psicologia Cultural Semiótica (PCS), nós, seres humanos, funcionamos culturalmente pelas relações que estabelecemos com nós mesmos e com o mundo que nos rodeia.

Para a PCS, construímos e reconstruímos o mundo por meio de signos. Dessa maneira, os signos se constituem e constituem tal relação de dinamicidade, tornando possível que se entrelacem com um *vir-a-ser*, pois são submetidos a um processo de transformação para um signo mediador, ou seja, se transformam em

substância para a significação de novas experiências (Valsiner, 2012). Nesse campo, entendemos a relação de interdependência entre os sistemas interno e externo da pessoa que constitui os sistemas de significados pessoal e coletivo.

A cultura (pessoal) como parte da *psiqué* humana – veículo através do qual a pessoa se mantém em movimento para construir sua existência e se manter a reconstruí-la – é subjetivamente constituída sob influência de valores e afeto, e, estando a pessoa dentro de seus papéis sociais assumidos, logo age sobre o meio e edifica a cultura coletiva (Valsiner; Rosa, 2007; Valsiner, 2001, 2007, 2012, 2013). Assim, o uso e produção de materiais semióticos pela pessoa como criadora e cocriadora da cultura constrói um ciclo produtor de significados. Esse ciclo, alimentado por processos construtivos e coconstrutivos, se dá por meio de associações paralelas e complementares, guiadas por relações dialógicas e dialéticas elaboradas.

A construção dos significados do mundo interno da pessoa acontece através de processos de internalização, guiados por análises e sínteses dos materiais semióticos do meio, contornados pela singularidade de cada um, se tornando, assim, parte do sistema intrapsíquico da pessoa. Os encontros ativos da pessoa com o mundo causam processos de externalização, que também passam por análises e sínteses, implicando na modificação do mundo externo. Este ambiente modificado irá alimentar prospectivamente novos processos de internalização e externalização sucessivos (Palmieri; Branco, 2004; Valsiner, 2012, 2013). Isto é, a construção de significados se configura mediante a busca dos indivíduos por significar a si mesmo e o mundo, o que concebe a via régia de construção da cultura pessoal e coletiva.

No âmbito da sala de aula de química, lançamos o olhar sobre essa perspectiva de elaboração de significados, enquanto um campo permeado por relações históricas, sociais e culturais. Sendo a cultura um processo de vertente pessoal e coletiva, construído e reconstruído por meio de signos internalizados e externalizados (Valério; Lyra, 2014), estes sofrem e provocam mudanças a partir das interações que os indivíduos estabelecem. Nesse contexto, achamos pertinente considerar que o ensino e a aprendizagem da área de conhecimento em questão não se trata de preencher a mente do estudante com novos significados, mas de possibilitar que os significados que já possuem passem por um processo de ressignificação.

Nesse sentido, ao interagirem e se comunicarem em sala de aula, os estudantes manipulam e utilizam signos contornados pelo seu arcabouço de significados, que entram em diálogo com os signos pertencentes à linguagem da ciência abordada. Dessa maneira, sistemas semióticos internalizados e externalizados constroem engrenagens que criam, comunicam e modificam signos e significados (Herrera, 2014).

Nesse campo de processos semióticos e psicológicos, alimentados pela manipulação de signos, como viemos discutindo, as ideias propostas pelo proponente da PCS, Jaan Valsiner, acerca da função dos signos, têm base nos estudos do lógico americano Charles Sanders Peirce, os quais serão, a seguir, apresentados e associados ao ensino de química.

3.1.1 A Semiótica de Charles Sanders Peirce e o Ensino de Química

Para pensarmos os processos de significação, precisamos considerar as formas como as pessoas regulam suas experiências consigo mesmo e com os demais seres humanos e coisas no mundo – a construção de suas comunicações. Nossas comunicações se constroem mediante as maneiras que experienciamos o mundo e pensamos sobre tais experiências. O estabelecimento de uma comunicação se encontra, então, na representação de enunciadores em um grupo e nas representações constituídas para o grupo. Nesse caminho, começaremos a refletir sobre os signos dentro da arquitetura da semiótica peirceana.

Charles Sanders Peirce (1839-1914) desenvolveu todo um sistema semiótico e filosófico, porém, iremos nos ater apenas a um recorte de sua teoria, a *Segunda Tricotomia*, que engloba uma relação lógica entre signos e objetos, constituindo os conceitos de ícone, índice e símbolo, que são tipos de signos (Peirce, 2005; D. Melo; V. Melo, [2015]; Innis, 2020). Segundo a semiótica peirceana, os *signos* são dispositivos mediadores entre os indivíduos e o mundo. Isso se dá por meio do desenvolvimento de níveis de consciência, dando destaque para um terceiro nível, através do qual a pessoa realiza sínteses (constrói significados) e constitui o pensamento (Peirce, 1894, 2005). Assim, os signos estão entre o indivíduo como ser ativo em suas comunicações e os contextos em que se insere.

Nas ideias de Simões (2009), os signos se fundamentam conforme ocupam o lugar de uma outra coisa – um objeto concreto ou um conceito abstrato – para alguém. Essa relação de representação (mediação) que o signo pode estabelecer se

dá através de processos de *semiose* (construção de significados), cujos desencadeiam relações que os signos podem estabelecer, criando *interpretantes* ou outros signos (Peirce, 1894). Estes, por sua vez, se constituem por uma série de operações mentais executadas pelos indivíduos. Essas operações mentais estão mergulhadas em associações estabelecidas a partir das experiências do próprio indivíduo (D. Melo; V. Melo, [2015]), representando ou significando algo para ele.

Podemos tomar um exemplo de nosso cotidiano para considerar como os signos estão inseridos em nossa vida. Imaginemos uma situação no trânsito, quando olhamos para um semáforo (Figura 2).

Figura 2 – As cores do semáforo como signos



Fonte: Fotografia feita por Kevin Burnell (2022)¹.

Ao nos sinalizar as cores vermelha e depois a verde, percebemos e captamos a mensagem de que devemos parar e, em seguida, podemos seguir em frente. Nessa situação, as luzes vermelha e verde são signos que desencadeiam associações mentais, através das quais elaboramos significações que nos permitem compreender o contexto em que estamos inseridos e nos relacionarmos com ele.

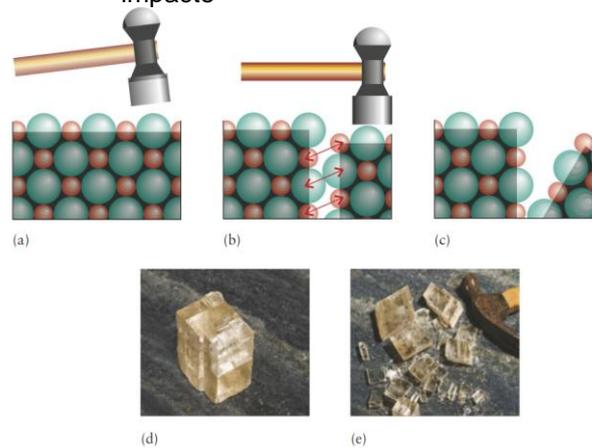
A apresentação e constituição de signos nas relações de mediação considera a possibilidade de coexistência de categorias, que podem emergir como similaridades com o que representam (ícones), indicações que estabeleçam conexões com algo (índices) e convenções estabelecidas nos contextos (símbolos)

¹ <<https://www.pexels.com/pt-br/foto/cidade-meio-urbano-luz-vermelha-parar-12122534/>>. Acessado em: 19 abril 2023.

(Peirce, 1894). Nesse âmbito, é por meio da linguagem que os signos exercem suas funções. Executadas nos contextos, as funções dos signos se fundamentam na linguagem à medida que esta funciona como sistemas de signos que nos permitem estabelecer comunicações com nós mesmos e com demais indivíduos (Peirce, 2005; D. Melo, V. Melo, [2015]). Diante disso, passamos a considerar as relações sógnicas a partir do Ensino de Química e sua respectiva linguagem (Figura 3):

Figura 3 – Relações sógnicas na representação do comportamento de um sólido iônico ao receber um impacto

FIGURA 2.5 Esta sequência de imagens mostra por que os sólidos iônicos são frágeis. (a) O sólido original é um arranjo ordenado de cátions e ânions. (b) Um golpe de martelo pode empurrar os íons para posições em que os cátions se aproximam de outros cátions e os ânions, de outros ânions. A proximidade de cargas de mesmo nome provoca fortes forças repulsivas (mostradas pelas setas duplas). (c) Como resultado dessas forças repulsivas, o sólido se fragmenta. (d) As faces lisas desta amostra de calcita são feitas pelo arranjo regular de íons cálcio e carbonato. (e) O golpe de um martelo fragmentou o cristal, deixando superfícies chatas e regulares formadas por planos de íons. Compare esta imagem com o resultado de golpear um cristal metálico (Fig. 6.2).



Fonte: Atkins e Jones (2012, p. 60).

As ilustrações acima, acompanhadas de um texto, funcionam como signos à medida que imprimem qualidades de um objeto a que se referem (comportamento de um sólido iônico ao receber um impacto). Neste contexto, se expressa relações sógnicas do tipo ícone na relação entre a ilustração e o modelo de comportamento dos átomos no sólido iônico (ilustrações (a), (b) e (c)), que se conecta às relações estruturais internas racionalmente estabelecidas; o índice aparece nas ilustrações (a), (b) e (c), indicando os movimentos e a organização dos átomos na relação com a sua existência no mundo concreto (d) e (e); as setas e os átomos como bolas em um arranjo se relacionam à convenções estabelecidas para se tentar explicar a estrutura de um material composto por um sólido iônico, remetendo, assim, ao signo do tipo símbolo.

Diante disso, observamos que as relações sógnicas se constituem em processos de semiose mediados pelo diálogo entre o signo, seu objeto referente e as significações emergentes. Nessa perspectiva, Wartha e Rezende (2017) argumentam como a representação é uma comunicação e mediação conforme signos são usados para apresentar a linguagem da ciência, que assim se torna

objeto da função de seus respectivos signos e constitui um espaço para a construção conceitual. Isso nos aponta ao que já discutimos mais acima, sobre como a relação entre signo e objeto concreto/conceito abstrato medeiam processos que podem desencadear a construção de interpretantes ou outros signos.

Nesse campo de mediação, os processos semióticos de nosso interesse permeiam um cenário em que os complexos de signos na linguagem química também se expressam nas representações dos entes/fenômenos químicos estudados através das relações dialéticas em sala de aula. Por meio disso, os interpretantes gerados na mente de professores e estudantes se tornam construtos teóricos ou linguísticos para representar e comunicar os processos de mediação desencadeados pelos signos percebidos e interpretados (Souza; Porto, 2013). Estes signos, além de estarem implicados às supracitadas relações de mediação, também se associam ao caráter abstrato do conhecimento científico – à sua própria natureza.

Souza e Porto (2013) discutem como o caráter proeminente da iconicidade dos signos pode destacar uma “realidade”, cuja pode levar à distância de uma mediação que deve considerar, por exemplo, o papel de modelos na construção e comunicação das ciências. Os autores também destacam que o caráter indexical de signos em evidências experimentais acabam se convertendo em índices do comportamento de partículas, ofuscando a construção e o papel dos construtos teóricos e linguísticos na ciência. Nesse sentido, julgamos importante considerar olhar para o uso e a função dos signos diante das relações e comunicações estabelecidas na sala de aula de ciências.

A configuração dos signos criados e usados pelos indivíduos dentro da cultura pessoal e coletiva, esferas de experiência as quais fazemos parte, se direciona às experiências futuras ao longo do desenvolvimento humano, à medida que signos constroem uma ponte entre os indivíduos e o mundo, criando, assim, uma cadeia subjetiva de significados (Valsiner, 2012; Innis, 2020) que estabelecem uma relação de dependência com os contextos. Nesse âmbito, é de nosso interesse olhar para a emergência desses significados a partir da funcionalidade do signo icônico como substância para outros signos, pois, nas ideias de Simões (2009), isso ocorre pela natureza sgnica da função icônica em implicar na produção de imagens mentais.

Para nos debruçarmos sobre essa discussão, consideramos um cenário de produção de imagens mentais como parte do campo da sala de aula, conforme professores e estudantes realizam movimentos entre as ideias discutidas e as suas

compreensões a respeito. Diante disso, no próximo tópico, apresentamos como a Teoria da Iconicidade Verbal nos mostra a iconicidade dos signos enquanto ferramenta nos processos de semiose. Destacamos que o foco do presente trabalho não é na existência concreta ou classificação dos signos de acordo com Peirce. Mas, com base na PCS, apresentar a dinâmica da relação dos seres humanos com os signos, a partir da iconicidade como propriedade sógnica que pode nos dar indícios de como a imaginação se relaciona com a aprendizagem.

3.2 A TEORIA DA ICONICIDADE VERBAL (TIV)

Para estabelecermos discussões em torno da relação sógnica do ícone na TIV, consideramos importante retomar algumas breves reflexões sobre o uso de representações no contexto da sala de aula de química. Wartha e Rezende (2011) discutem como as representações tangenciam os conhecimentos abstratos em Química, apresentados para estudantes, e os movimentos imaginativos que estes fazem para captar o que é apresentado. Dessa forma, as representações se tornam ferramentas importantes quando falamos de um conhecimento mergulhado na necessidade do desenvolvimento de operações mentais para se tornar parte do sistema de significados intra e interpessoal da pessoa. Ou seja, entendemos que o conhecimento não se torna parte do sistema de significados próprio da pessoa exatamente como é apresentado; ele passa por um processo de manipulação.

Tais representações se configuram no âmbito externo e interno conforme representações semióticas – aquelas contornadas por fórmulas, conceitos, teorias científicas – são apresentadas em sala e se associam às representações mentais construídas pelos estudantes (Wartha; Rezende, 2011). Por exemplo, no caso de estudantes usarem imagens mentais (estabelecem relações de similaridade com o que representam) do átomo para refletir sobre a construção e aplicação de modelos atômicos, desenvolvidos ao longo da História da Química/Ciência (HdQ/HdC), presentes nos livros didáticos. Nesse contexto, consideramos a necessidade de pensar a iconicidade dos signos a partir da TIV.

Voltamos nosso olhar para a iconicidade como função dos signos e sua característica em carregar similaridades com relação ao outro signo (real ou abstrato) que se associa. Uma das potencialidades do ícone está naquilo que parecia ser irreal poder se transformar, através de processos de abstração/generalização, em um objeto real, desenhado pela sua apresentação

sígnica à mente (Valsiner, 2012; Martins, 2015). Essa apresentação está no âmbito da mediação, por isso, não se trata de uma elaboração mental que se constitui como uma cópia ao que se refere, mas que estabelece relações de troca, apoiadas em uma subjetividade, para tornar algo como parte de um corpo de significados próprio da pessoa.

Considerando a natureza heterogênea dos signos mentais nos processos de semiose, como discutido na seção anterior, destacamos, nos apoiando em Simões (2009), que o ícone é fonte primária do signo a partir do seu entendimento como a imagem mental de algo que pode fundamentar qualquer outro signo. Nesse horizonte, apontamos que as imagens mentais fazem parte do processo em que os indivíduos se inserem ao longo da vida em tentar compreender o mundo ao seu redor.

No domínio desse processo dinâmico, Simões (2009), ao trabalhar com alfabetização, considerando a pertinência de imagens em livros de literatura (sem texto verbal) para crianças, toma nota da relevância da iconicidade dos signos, sobretudo o verbal, a partir de quando as crianças buscavam estabelecer analogias entre fala e escrita e escrita e desenho. A estudiosa aponta aos diálogos estabelecidos entre a organização verbal-material do raciocínio a partir de um texto organizado como uma imagem visual. Com isso, sob uma visão semiótica do processo de comunicação, consideramos que um texto, como projeto comunicativo, se edifica pelo uso de palavras e expressões que assumem o papel de carregar semelhanças em sua estrutura (signos que remetem a outros signos), ascendendo à mente leitora a possibilidade de criação de imagens mentais inteligíveis (Simões, 2007). Lançamos luz, então, sobre um processo de semiose textual e as interações e relações que o indivíduo pode estabelecer a partir disso.

Alinhando estudos linguísticos aos semióticos, a função lexicológica-semiótica de um texto considera que este nunca está totalmente pronto, pois o leitor é também construtor, conforme está diante de palavras como signos atualizados em contextos frasais, desencadeando signos referentes (imagens mentais) que se materializam no pensamento (Simões, 2004, 2009). Assim sendo, os códigos linguísticos dispostos são submetidos às negociações envolvidas pela subjetividade dos indivíduos e por interações em um sistema histórico-cultural, levando em consideração construções icônicas no texto que são contornadas por relações de verossimilhança com o que buscam representar (Simões, 2007). Ou seja, a realidade presente na

organização do texto se entrelaça com a imagem e a ideia construída pela pessoa por meio de processos cognitivos, considerando que os signos não existem de forma isolada, mas em um complexo semiótico em que um signo se relaciona com outros, além do seu interpretante.

Nessa perspectiva, a TIV, desenvolvida a partir dos estudos da professora e pesquisadora Darcilia Simões, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), nos oferece um arcabouço de ideias para pensarmos a relação entre os léxicos no corpo de um texto e os processos de semiose, à medida que este diálogo nos aponta a uma perspectiva imagética e diagramática por meio da iconicidade constituída na comunicação textual (Simões, 2007, 2009; Assis, 2021). Entendemos essa iconicidade a partir da arquitetura do texto, interpretada pela manipulação de níveis ou tipos de iconicidade.

Os níveis de iconicidade, sendo ferramentas que auxiliam na aplicação da TIV, se trata da iconicidade diagramática, lexical, isotópica, alta ou baixa iconicidade e eleição de signos orientadores e desorientadores (Simões, 2009). Neste estudo, damos destaque para os três primeiros níveis. Com isso, diante de alguns exemplos, apresentamos características de tais tipos de iconicidade:

1) Iconicidade diagramática: a partir da organização das ideias no texto, por meio de palavras e expressões que constituem o projeto diagramático/visual do que está escrito, construindo uma comunicação textual que se conecta com uma produção imagética no indivíduo (Simões, 2009). Podemos explorar essas características em um recorte de uma coluna do jornal O Globo, em 10/03/2005, apresentado e analisado por Simões (2009, p. 109): *‘dólar baixo não derruba balança; Brasil vai exportar mais este ano’*. As expressões *dólar baixo* e *exportar mais* se organizam e estruturam uma comunicação textual, considerando a presença de uma relação de similaridade entre os signos usados e os objetos a que se associam. Ou seja, para a compreensão da frase, a imagem icônica da balança se faz como uma metáfora, de forma que permita que o sujeito compreenda o enunciado;

2) Iconicidade lexical: ao se associar com a diagramática, é característica da escolha dos léxicos dispostos no texto com potencial de desencadear imagens mentais (Simões, 2009). Em Simões (2004, p. 132), encontramos um trecho de uma música de Zeca Baleiro, *Samba do Approach*, para ilustrar a produção deste tipo de iconicidade:

Venha provar meu brunch // Saiba que eu tenho approach // Na hora do lunch // Eu ando de ferryboat // Eu tenho savoir-faire // Meu temperamento é light // Minha casa é hi-tech // Toda hora rola um insight // Já fui fã do Jethro Tull // Hoje me amarro no Slash // Minha vida agora é cool // Meu passado é que foi trash // Fica ligada no link // Que eu vou confessar, my love // Depois do décimo drink // Só um bom e velho engov // Eu tirei meu green card // E fui pra Miami Beach // Posso não ser um pop star // Mas já fui um nouveau riche.

A disposição de palavras na letra da música, como *brunch*, *approach*, *lunch*, é usada intencionalmente pelo artista para construir um sentido na letra da canção que relaciona a fala nacional e estrangeira, construindo uma ironia sobre o tema abordado. Tais palavras, ao serem ouvidas, carregam em sua pronúncia associação com o sotaque '*chiante*' do cidadão carioca, possibilitando a emergência de imagens mentais e/ou sonoras de pessoas falando e emitindo tais sons que se assemelham ao sotaque, levando o ouvinte à tendência de perceber no contraste das falas uma crítica à imitação de comportamentos e artefatos de uma cultura;

3) Iconicidade isotópica: é construída a partir das outras duas iconicidades, está implicada às palavras e expressões que podem atuar como âncoras textuais, à medida que constroem uma trilha temática sobre o que está sendo abordado no texto (Simões, 2009). Simões (2004, p. 133) nos apresenta a um pequeno trecho de um conto, *Conto em Letras Garrafais*, de Marina Colasanti, como exemplo desta iconicidade: '*Todos os dias esvaziava uma garrafa, colocava dentro sua mensagem, e a entregava ao mar. // Nunca recebeu resposta. // Mas tornou-se alcólatra*'. Podemos perceber que os léxicos como *esvaziava*, *garrafa*, *mensagem* e *mar* funcionam como marcadores de uma narrativa que se associa a uma busca por ajuda (soluções/sentidos para a vida), por intermédio de perguntas e respostas associadas ao mar, se relacionando às lendas de naufrago que conhecemos.

Nesse caminho linguístico-semiótico, os níveis de iconicidade, manipulados na construção de raciocínios pelos leitores, encontram a sua gênese no desenvolvimento da imaginação. Na seção a seguir, discutiremos alguns aspectos associados a essa importante função mental.

3.3 A IMAGINAÇÃO COMO FUNÇÃO MENTAL SUPERIOR

Imaginar é algo que fazemos a todo o momento, todos os dias de nossa vida. Estejamos no trabalho, na rua, na escola ou entre amigos, usamos a imaginação para nos relacionar com nós mesmos e com os ambientes. Embora a imaginação muitas vezes seja associada a cenários fantasiosos, olhar para a imaginação no curso do desenvolvimento humano nos oferece um panorama de ideias para pensar que tal função mental ocupa uma posição muito além de cenários entendidos como “irreais”.

A imaginação foi objeto de interesse de muitas mentes ao longo do tempo. Na obra de Platão, filósofo pré-socrático, conhecemos o mito da caverna, que nos conta que não experimentamos os objetos reais, mas apenas os reflexos deles. Platão construiu tal argumento através da *eikhasia* como o mundo das ideias construído por ícones (representações) dos objetos. Em contrapartida, Aristóteles argumentava que as imagens alimentavam a existência do pensamento, e elas se originavam através do que ele chamava de *phantasia* – algo que era parte de todos os seres vivos (Tateo, 2017a). Na perspectiva deste último filósofo, podemos começar a pensar o lugar da imaginação no diálogo entre o mundo externo e o nosso mundo interno.

Para chegarmos às ideias contemporâneas sobre a imaginação, achamos importante destacar a influência do filósofo Giambattista Vico (1668-1744), que foi fundamental para a construção de uma unidade de conhecimento sobre a mente e a cultura humana. Inserido em uma época de desenvolvimento de modos racionais de pensamento, a qual personalidades como René Descartes fazia parte – a mente era vista como um sistema que não poderia estabelecer trocas com o meio –, Vico considerava que havia uma teia de relações entre as formas de conhecimento, o desenvolvimento da pessoa ao longo do tempo, a linguagem e as práticas sociais. Isso possibilitou um afastamento de status de senso comum que era atribuído aos assuntos da mente, localizando nesta um destaque à capacidade de imaginar como a principal capacidade simbólica (Tateo, 2015a, 2017a). Assim, percebemos um cenário em que a imaginação passa a ser via de construção de significados.

A partir da teoria da imaginação de Vico, se viu ascender os principais pressupostos da Psicologia Cultural (Tateo, 2015a, 2017a). No âmbito desta como arsenal teórico adotado para o presente estudo, nos apoiamos em Tateo (2016), que reconhece a imaginação como uma função mental superior, presente no curso da vida e elaboradora de resultados no mundo cultural e social.

A partir da PCS, como viemos discutindo, consideramos as dimensões culturais, sociais, histórias e semióticas da pessoa para entendermos esta como ser ativo nas suas relações, executando processos de internalização e externalização ao longo do seu desenvolvimento por meio da manipulação de signos. Nesse campo, pretendemos pensar a participação da imaginação na construção de significados ao longo da vida humana.

A natureza do processo imaginativo inserido no espaço-tempo, contornada pela singularidade de cada ser humano, alimenta o movimento que os materiais do mundo externo fazem ao mundo interno da pessoa e vice-versa. Esse movimento é abastecido por meio da operação de signos promotores (abstratos) que constroem sistemas de suporte de significação ao longo da vida, apontando ao indivíduo a característica de possuir agência no mundo (Valsiner, 2004). Dessa forma, a imaginação constrói um palco para uma dinâmica semiótica, à medida que a pessoa usa intencionalmente as suas ferramentas semióticas, ou cria novas ferramentas, para prospectar mudanças futuras e possibilitar ações no presente.

Tomando base nas ideias vygotskianas sobre a imaginação, consideramos que a pessoa, enquanto ser que interage com o meio, se constitui a partir do desenvolvimento de funções psicológicas elementares (origem biológica) e superiores (origem sociocultural). Aquelas são características da relação entre estímulos e respostas, sendo um determinado no outro a partir de uma relação direta, enquanto as funções psicológicas superiores apontam à capacidade de criar estímulos artificiais que constituem novas configurações de comportamento no meio (Vygotsky, 1991). Para Vygotsky (1931), a socialização da linguagem constrói um campo para a formação de uma linguagem interna, que, mais tarde, ao longo do desenvolvimento cultural da pessoa, se configura em meios de comunicação. Nesse sentido, entendemos a imaginação como uma função mental superior essencial à elaboração de significados na extensão temporal do indivíduo.

Tateo (2015b, 2016), se baseando nas ideias de Vygotsky, destaca a imaginação como uma das funções mentais superiores mais importantes para a humanidade. Para o estudioso, que herdou as ideias do filósofo Vico, não há que opor imaginação e racionalidade, pois aquela pode desempenhar um papel significativo nesta (Tateo, 2016). Nessa perspectiva, a imaginação é vista sob uma forma específica de adaptação e pré-adaptação ao ambiente, se orientando para o futuro, ao longo da vida, não apenas de maneira individual, mas também coletiva

(Tateo, 2015b). Ou seja, os produtos da imaginação acabam marcando posições nas relações humanas à medida que são contornados por traços semióticos.

A imaginação alimenta a orientação para um futuro conforme coloca os objetos e conceitos abstratos em uma troca com coisas concretas e reais – o real pode ser abstraído e o abstrato se tornar concreto (Tateo, 2015b). Essa relação de dupla troca pode ser pensada no campo da Ciência. No trabalho científico, por exemplo, os experimentos mentais se constituem como esforços intelectuais entre trabalhos imaginativos e não imaginativos. A partir do que se conhece, operações mentais de análise e síntese direcionam-se a produzir novas ideias para aumentar o universo de conhecimento, preencher lacunas, que entra em diálogo com analogias e memórias, proporcionando o desenvolvimento científico (Tateo, 2020).

Produzir algo que ainda não foi encontrado empiricamente é um processo que aproxima o objeto de interesse para o plano concreto, e o que está nesse plano pode vir a orientar a construção de conceitos abstratos. Esse processo carrega uma característica produtiva da imaginação, conforme o abstrato e o concreto se alimentam mutuamente. Um exemplo dessa relação pode ser tomado a partir do modelo atômico de Rutherford, em que a imagem do sistema planetário como um objeto concreto funciona como uma representação (analogia) do comportamento do átomo. Nesse sentido, a imaginação na construção e compreensão do conhecimento se orienta como uma atividade mediadora, à medida que põe formas estruturadas de representação em uma relação dialética com um objetivo (Tateo, 2020).

Formas de representações abstratas e universais da vida se criam, transformam coisas em objetos semióticos, que constituem um papel autorregulador ao longo da existência, por meio da elaboração semiótica de formas linguísticas e icônicas (Tateo, 2016). Nesse sentido, a iconicidade pode desempenhar um papel significativo enquanto parte dos processos imaginativos, que, por sua vez, se inserem em um processo dinâmico no desenvolvimento e comunicação humana, desenhando cenários para a construção de significados.

À vista disso, considerando as potencialidades para o processo de semiose na relação indivíduo-objeto, na próxima seção, apresentamos discussões sobre as emergências que podem se configurar do ato imaginativo na referida relação. Para isso, discutimos a noção de imaginação a partir do modelo do *Gegenstand*.

3.3.1 A imaginação no modelo do *Gegenstand* (GG)

Como viemos discutindo, tomando base na PCS: o ser humano possui agência no mundo. Quando agimos, condições são estabelecidas para que configurações de comportamento sejam mantidas ou transformadas. Nesse sentido, consideramos as transformações que as coisas ao nosso redor podem sofrer mediante nossas ações, e como elas podem configurar possíveis futuras relações.

Valsiner (2014b, p. 288) retoma ideias da tradição teórica *Gegenstandstheorie*, embasada nas ideias de Alexius Meinong (1853-1920) – deu importantes contribuições à psicologia europeia –, e traz ao campo da psicologia cultural contemporânea um olhar para a relevância da natureza de fenômenos psicológicos. A partir disso, nos direcionamos às reflexões sobre as relações humanas no mundo e a criação de objetos.

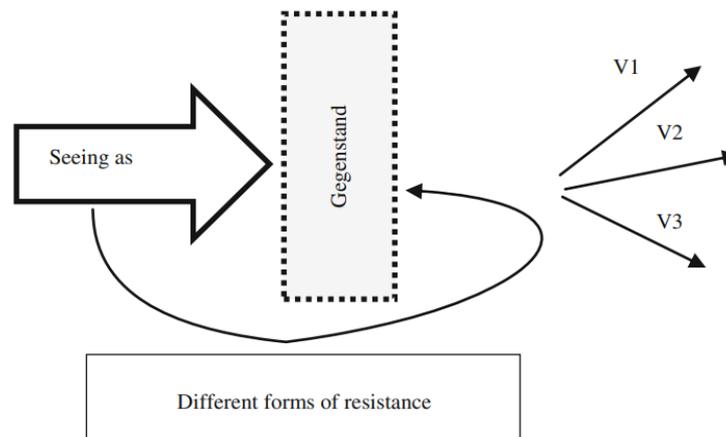
Adotamos a perspectiva de Tateo (2015b, 2017b), apoiada nos estudos de Valsiner, para considerarmos as implicações em torno das nossas ações aos objetos inseridos nos contextos. Nossas interações com as coisas no mundo são alimentadas pelas intencionalidades que direcionamos a elas. Assim se constitui nosso ato de vontade em objetar algo – torná-lo um objeto – nos processos de semiose. Segundo Valsiner (2016), um *Gegenstand* é um objeto significativo; um veículo para a construção de sentidos e significados na linha do tempo dos indivíduos. Ao criarmos *Gegenstandem* em nossas experiências não só transformamos as coisas, como também transformamos a nós e às nossas relações com elas.

Conforme as pessoas se relacionam com os objetos, eles podem resistir às suas ações. Nessa perspectiva, os objetos (concretos ou abstratos) – ou as pessoas com quem interagimos – se constituem como GG (ficar contra – *Gegen* + *stand*) (Valsiner, 2014a, p. 289). O GG, nesse processo, não existe em si mesmo; ele se fundamenta pela seleção de características do objeto, que é submetida a uma construção de significados/sentidos, emergindo como resultado dessa relação. Dessa maneira, o GG é um fenômeno psicológico (Tateo, 2017b), embasado em um objeto inexistente, mas que existe na psique humana, conforme nos relacionamos com ele.

Há uma relação dinâmica que alimenta a existência do GG nas construções de significados: a dinâmica de direcionalidades-resistência. Essa relação constitui o processo semiótico de ‘*ver-como*’ (Wittgenstein, 1958, p. 206 *apud* Tateo, 2017b, p.

234), característico do ato de ver os objetos no mundo, contornados pela cultura, e submetê-los a um processo de significação, para que eles possam ganhar um lugar em nossa existência. Para ilustrar esse cenário, na Figura 4, apresentamos um modelo para pensar a dinâmica de resistência e direcionalidades na construção de significados a partir do GG.

Figura 4 – Processo semiótico de ‘ver-como’ através da dinâmica de resistência e direcionalidades com o *Gegenstand*



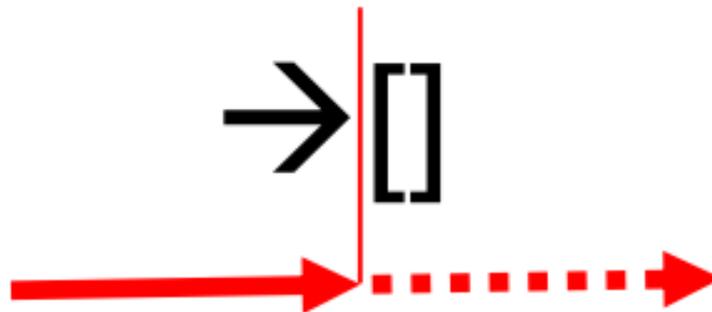
Fonte: Valsiner (2014a, p. 154 *apud* Tateo, 2017b, p. 240).

Tateo (2017b) nos apresenta um exemplo de uma situação em que ver um homem negro na rua, tarde da noite, pode implicar na categorização dessa situação, como, por exemplo, um policial pode ter uma percepção errônea de que o homem está sacando uma arma (vendo como), quando na verdade trata-se de sua carteira (forma de resistência). Essa situação se configura como uma atitude racista, em que um significado é construído em torno da figura de uma pessoa negra, estruturada na sociedade. Neste exemplo, a resistência do GG (neste caso, o homem negro sacando a carteira), ao tocar às nossas interpretações de mundo, implica na seleção de outras qualidades do objeto para a construção de significados diversos (afetivos, culturais e contextuais). A dinamicidade (resistência-direcionalidades) desse processo engloba o conjunto de vetores (v1, v2 e v3), possíveis significados emergentes, a partir de processos na relação com o GG, e entrelaçados à criação e intencionalidade que atribuímos aos objetos em nossa experiência.

As transformações que envolve o agente, o objeto e a relação entre eles se configuram na experiência temporal do indivíduo. A dinâmica de resistência-

direcionalidades constitui o GG como uma fronteira (Valsiner, 2019). As formas de resistência do GG como um objeto significativo se associam ao movimento de atravessar a fronteira para mover o presente em direção ao futuro. Nas ideias de Valsiner (2016), os processos psicológicos que alimentam a relação com o GG permitem um movimento constante em direção ao futuro (Figura 5), que é alimentado pelo trabalho da imaginação. Podemos introduzir a noção de tempo irreversível (Valsiner, 2016, 2019), que nos diz que os movimentos que a pessoa faz entre passado, presente e futuro não se fundem; ao cruzar a fronteira, os horizontes significativos (possíveis vetores de significação) criados já se tornaram passado e assim a pessoa alimenta novos movimentos para o futuro, permitindo movimentos constantes através da zona fronteira. Dessa maneira, as regulações semióticas que são configuradas a partir do cruzamento da fronteira implicam que um estado psicológico não retorna a um ponto anterior (Valsiner, 2016).

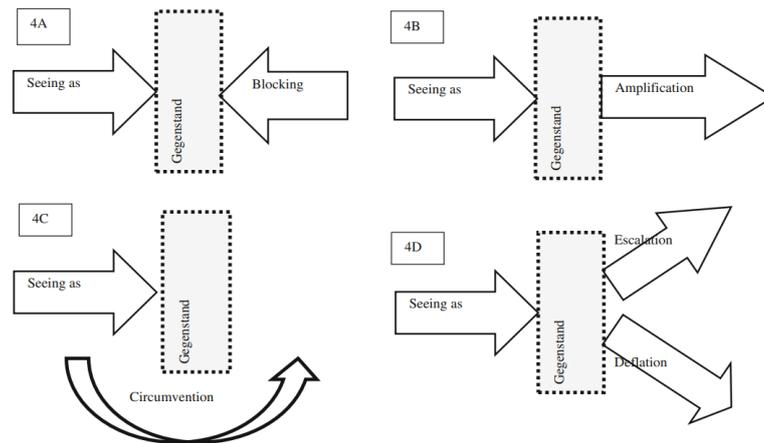
Figura 5 – Relação com o GG na experiência temporal



Fonte: Valsiner (2016, p. 8).

Assumindo que os seres humanos são ativos nas construções de significados, eles selecionam aspectos específicos dos objetos de acordo com suas experiências e intenções guardadas (Tateo, 2015b). A partir disso, podemos pensar alguns exemplos de vetores discutidos por Tateo (2017b), ilustrados na Figura 6.

Figura 6 – Exemplos de formas de direcionalidades-resistência com o GG



Fonte: Tateo (2017b, p. 241).

Partindo do exemplo do grafite como arte urbana, consideramos que o processo criativo do artista é alimentado pela imaginação; as maneiras de *ver-cómo* antecipam movimentos (direcionalidades) que regulam a relação do artista com os muros, por exemplo. Segundo Tateo (2017b), a própria superfície do muro pode resistir às ações do artista e bloquear a construção de sentidos/significados (4a); pode se constituir um intensificador da sua arte, ampliando os sentidos/significados do desenho (4b); a pessoa pode significar a sua arte ultrapassando a própria barreira, como se ela não fosse mais visível (4c); ou o muro pode se constituir como um espaço de diálogo entre diversos artistas, quando os desenhos podem se apoiar uns nos outros (construir uma escalada) (4d). Essas configurações semióticas não são apenas realizadas a partir de questões sociais e culturais, mas também por questões afetivas (Tateo, 2017b).

Quando usamos nosso sistema de signos já internalizados (passado) para expandir nossa experiência ao futuro (Valsiner, 2016), contamos com a imaginação como uma importante função mental superior em qualquer processo de desenvolvimento (Tateo, 2015c, 2017b). A nossa experiência afetiva, cultural, contextual e sígnica com o mundo lança luz à construção de um solo para as prospecções de nossa experiência, através de nossa atividade no mundo, provocando direcionalidades imaginativas para a construção de significados. Nesta pesquisa, também entendemos essa construção como uma apropriação de significados, pois os signos manipulados pelos indivíduos tornando-se também parte da sua identidade.

Diante disso, olhamos para o campo da sala de aula de química, considerando que os estudantes podem estabelecer relações com objetos inseridos nesse contexto, e que irão implicar na emergência de relações inibidoras ou promotoras de construção de significados. Por exemplo, assuntos que englobam aspectos da ciência como teorias, leis, fórmulas, onde estão os conceitos científicos, são ouvidos e manipulados pelos estudantes, a fim de torná-los parte de seu corpo de conhecimento, sendo submetidos às intencionalidades nos contextos em que os indivíduos se inserem.

Nesta pesquisa, lançamos o olhar sobre uma obra de literatura fantástica como o nosso *Gegenstand*, através da qual trabalharemos a construção de significados sobre o conceito de átomo. Para pensarmos a aprendizagem desse conceito a partir da relação estudante-livro, estabelecemos algumas reflexões sobre aspectos epistemológicos entorno do átomo ao longo da HdC/HdQ.

3.4 PERCURSOS NA HISTÓRIA DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO: REFLEXÕES SOBRE OS MODELOS ATÔMICOS

A nossa história é uma história de construção de conhecimentos. Dentre estes, o conhecimento científico é contornado pela sua essência, que reflete a sua forma de ser construído e reconstruído ao longo do tempo. Nesse sentido, a natureza desse tipo de conhecimento aponta a um horizonte de potencialidades e obstáculos no que diz respeito às nossas formas de se relacionar com ele.

Desde os primórdios da humanidade, o ser humano busca formas de se relacionar com a realidade. Esta relação sofreu mudanças ao longo do tempo, que se constituíram pela cultura de diversos povos. Na pré-história, por exemplo, a forma de se relacionar com a natureza era um precedente para a sobrevivência. A descoberta do fogo é um dos exemplos que confirma esta sentença (Lindberg, 1992). O modo de usar artefatos e eventos naturais, e torná-los parte de uma visão de mundo, reflete uma cultura que edifica e atravessa a história de comunidades ao longo do tempo. Isso nos põe a pensar sobre visões de mundo que estabeleceram influências ao longo da história do conhecimento.

Maneiras de significar as coisas e eventos naturais sempre foram interesse de povos espalhados por toda a Terra. Existem cenários em que traços humanos e biológicos contornavam a interpretação das experiências com o mundo, o que nos guia a pensar o papel dos mitos nas visões de mundo – cosmologias. Os mitos

sobre a origem do universo são diversos, e se fizeram presentes em sociedades como os maias, babilônios, egípcios, indianos e chineses, além do mito bíblico. Tomamos um exemplo de um mito egípcio sobre a criação, que diz que, no início, Atum cuspiu Shu, o deus do ar, e Tefnut, a deusa da umidade, que deram origem ao deus terra, Geb, e à deusa do céu, Nut. Shu, ao erguer Nut para o alto, formou o céu, e ao prender Geb para baixo, formou a terra. A partir desse exemplo, julgamos importante considerar que essas formas antecessoras de olhar o universo guardam traços que transcenderam seus mundos linguísticos e conceituais com seus propósitos (Lindberg, 1992; Skolimowski; Zanetti, 2012).

Indagações sobre a constituição de nós e do mundo atravessaram diversas civilizações, dentre elas, objetivamos direcionar o olhar para os filósofos gregos pré-socráticos. Na história do conhecimento científico, os gregos constituíram suas perguntas e respostas não mais as associando a mitos, magias e superstições; suas objeções eram contornadas por uma busca em compreender racionalmente o mundo natural (Peduzzi, 2015). Vale salientar que as indagações dos pensamentos egípcios e mesopotâmicos contribuíram para moldar a filosofia natural grega (Lindberg, 1992).

Na tentativa de compreender o visível a partir do invisível, destacamos algumas personalidades gregas que marcaram o desenvolvimento da teoria atômica da matéria. O termo *átomo*, caracterizado como a menor partícula indivisível da matéria, foi estabelecido por Leucipo de Mileto (460-370 a.C.) e desenvolvido por Demócrito de Abdera (470-380 a.C.). Eles declararam que a matéria não era contínua, a existência do vazio e as partículas minúsculas, indestrutíveis, justificavam a composição e comportamento da matéria (inorgânica e orgânica) pelo tamanho, forma, movimentos e arranjos geométricos que poderiam assumir (Peduzzi, 2015).

Peduzzi (2015) apresenta como o filósofo Aristóteles via contradição na noção de átomo com a ideia de a matéria poder ser dividida em quantidades cada vez menores. Além disso, a filosofia aristotélica não admitia a existência do vazio. Essas ideias também circulavam pelas ambições intelectuais de outros filósofos, tendo alguns destes concordado ou discordado do que estava sendo dito. Ainda assim, o atomismo foi imortalizado na poética do romano Tito Lucrecio Caro (95-55 a.C.), que, em seu *De rerum natura*, fez elucubrações sobre a vida e a morte e argumentou como todas as coisas são constituídas por átomos, dispostos no vazio,

inclusive a alma (Lucrecio Caro, 1962, p. 102 *apud* Peduzzi, 2015, p. 19). Essas objeções filosóficas na história do pensamento científico não permaneceram intactas ao longo do tempo, mas, é importante destacar como elas deixaram suas marcas para uma época em que pareciam alimentar os anseios da razão.

No campo da ciência, o diálogo entre teoria e realidade abre espaço para o uso de ferramentas que constituem a gênese dessa esfera de conhecimento. Justi e Gilbert (2000) argumentam como sistemas de pensamento filosófico, científico, tecnológico e social alimentam a construção de um modelo científico, implicado à conexão entre teorias desenvolvidas e modos de experimentar o mundo. Dessa maneira, consideramos os modelos científicos como uma ponte entre teoria e realidade, que, por certo, aponta à relevância dos modelos para a ciência no caminho de um desenvolvimento contextual.

O entendimento do que é um modelo implica pensarmos outros termos envolvidos por ele. Moreira *et al.* (2021) discutem como a essência do conhecimento demanda considerarmos aspectos epistemológicos relativos a este. Ou seja, como o conhecimento é construído e quais as implicações que ele reflete em nossa realidade. A construção do conhecimento se liga à nossa capacidade de raciocinar à medida que esta se insere em um processo de troca com aquilo que é real e o que é idealizado, construindo uma teia de conexões entre o mundo concreto e a sua possibilidade de se tornar inteligível (Moreira *et al.*, 2021). É nessa relação que se encontra o papel dos objetos-modelo e das teorias gerais na construção dos modelos teóricos.

Objetos-modelo são criados a partir de ponderações de aspectos importantes em um fenômeno, contando com esquematizações e criação de hipóteses (Bunge, 1974 *apud* Moreira *et al.*, 2021) – uma aproximação da realidade através de processos imaginativos articulados com uma linguagem científica. O fazer científico engloba fundamentalmente a existência de teorias gerais, que se trata de um conjunto de ideias lógicas para interpretar a realidade, mas que não se aplicam diretamente às coisas reais. Diante disso, os objetos-modelo como parte de um sistema são submetidos às possibilidades de interpretação pelas teorias gerais. Por consequência do diálogo entre essas ferramentas, temos a construção de um modelo teórico, sistema de cunho hipotético-dedutivo, através do qual, se relacionando a um objeto-modelo, é possível interpretar sistemas físicos (Pietrocola, 1999). Como exemplo podemos considerar a ideia de átomo como o objeto-modelo,

a mecânica clássica e a quântica como teorias gerais e o desenvolvimento de modelos atômicos como modelos teóricos para interpretar sistemas físicos ao longo da HdC.

Nesse cenário reside a natureza da ciência em ser submetida à experiência, podendo evoluir através da construção de novas ideias e problemas para um campo de conhecimento, conforme o abstrato e o concreto se encontram para construir a ciência como o meio de conhecer e apreender a realidade. Isto posto, nos direcionamos a olhar para o conceito de átomo através da lente da HdQ/HdC que, assim como qualquer história, estas possuem começo, meio e “fim”, mas não se trata de uma narrativa linear, se apresentando, muitas vezes, com a necessidade de visitar o passado para se direcionar ao futuro.

A indivisibilidade da matéria despertou o interesse de muitas mentes ao longo do tempo; portanto o conceito de átomo passou a ganhar novos significados, sobretudo no fim do século XIX para o início do século XX, considerando a efervescência de investigações empíricas e teóricas nessa época (Lopes, 2009). O desenvolvimento de modelos atômicos foi atravessado por diversos contextos, implicados pelos interesses do trabalho intelectual de muitos indivíduos.

Por uma ótica contextual, consideramos que o atomismo se desenvolveu sobre um eixo científico, técnico e cultural, nos direcionando a olhar para a ciência como um produto do pensar coletivo (Moura; Guerra, 2016). Nesse sentido, o átomo se constituiu como produto intelectual emoldurado por cenários de diversas épocas.

Julgamos importante destacar que, embora não seja o foco dessa discussão, a história que iremos apresentar aqui omite a contribuição das figuras femininas para a evolução da ciência moderna. Sabemos que isso é uma questão crucial a ser abordada na Educação Científica, considerando as inúmeras pesquisas contemporâneas que enfatizam o papel das mulheres na construção do conhecimento ao longo da História.

Modelo atômico de Dalton

John Dalton (1766-1844), embora não tivesse uma formação em química, possuía interesse pelo conhecimento das leis que regiam a formação de compostos químicos. Este era um dos assuntos contornados pela ciência de seu tempo, e corroborava para interpretar a descontinuidade da matéria por meio dos átomos como entidades indivisíveis. Apesar de ser possível perceber uma base nas ideias

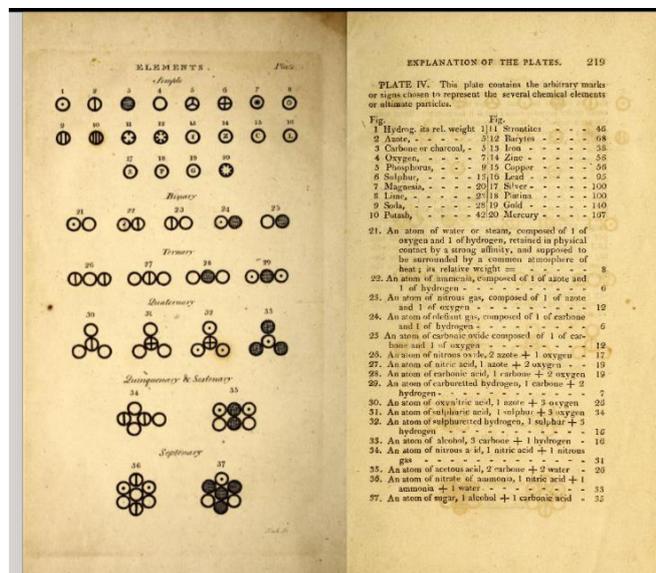
propostas pelos filósofos gregos, o atomismo de Dalton estava implicado à temporariedade de hipóteses na ciência (Peduzzi, 2015).

Em 1808, em seu '*Um novo sistema de filosofia química*', Dalton desenvolveu suas concepções sobre a constituição da matéria, baseadas nos seguintes princípios (Peduzzi, 2015, p. 43):

1. Os átomos são corpúsculos materiais indivisíveis e indestrutíveis; 2. Os átomos de um mesmo elemento são idênticos em todos os aspectos; 3. Os átomos de diferentes elementos possuem propriedades distintas quanto ao peso, tamanho, afinidade etc.; 4. Os compostos são formados pela reunião de átomos de diferentes elementos, segundo proporções numéricas simples, tais como: 1:1, 1:2, 2:3, etc.

Estas ideias foram provenientes do seu interesse pela composição da atmosfera e as relações estequiométricas que poderiam ser estabelecidas para as reações gasosas (Ferreira, 2013). Sob influência das ideias de Isaac Newton, Dalton considerava que os gases eram compostos por diversos corpúsculos (átomos), que, sendo os últimos da matéria, poderiam se juntar para formar átomos compostos – o que hoje nós entendemos por moléculas. Outrossim, vale considerar a pertinência, na sua teoria, em buscar determinar os pesos relativos dos constituintes da matéria e o desenvolvimento de uma notação original para representar os átomos e seus possíveis agrupamentos (Figura 7) (Peduzzi, 2015). Essas relações, sobre o campo de construção da ciência, dialogam com as tentativas do cientista em acessar a realidade concreta dos átomos.

Figura 7 – Os símbolos para os átomos elementares e compostos de Dalton



Fonte: Dalton (1808, p. 218-219)².

A história do átomo, contada sob um olhar da HdC, não se resume a narrar descobertas de cientistas que se destacaram pelos seus feitos ao longo do tempo. No palco onde a ciência se apresenta, o átomo é um ator inserido em um contexto sociocultural, ao qual sua explicação é via para refletir implicações culturais e interpretações que nascem destas (Ferreira, 2013).

O átomo indivisível de Dalton se inseriu nas diversas mudanças elaboradas durante o século XIX, que contaram com debates científicos, filosóficos, ideológicos, políticos etc. Na Europa, um sistema filosófico – o positivismo de Auguste Comte (1798-1857) –, que tinha como uma de suas premissas a percepção dos sentidos como caminho para o trabalho intelectual, contornou um cenário que alimentava controvérsias em relação à teoria atômica (Giannotti, 1996 *apud* Chagas, 2011). Ante isso, o átomo, esta entidade manifesta em um mundo invisível, era considerado por alguns cientistas como não sendo real (Chagas, 2011), entretanto, ele permaneceu despertando o interesse de muitos intelectuais.

Modelo atômico de Jean Perrin

Jean Perrin (1870-1942) foi um físico francês contemporâneo de importantes objeções feitas às evidências experimentais que se destacaram na história do conhecimento científico. Experiências com descargas elétricas em gases rarefeitos se constituiu um assunto de interesse para Perrin, que, ao seu apoiar no trabalho de outros cientistas, concluiu que as partículas constituintes dos raios catódicos possuíam carga elétrica negativa (Moreira, 1997 *apud* Ferreira, 2013). O cientista também foi despertado pelo que se chamou de movimento browniano, que se trata de um fenômeno físico-químico que acontece pela colisão de partículas microscópicas com moléculas de um fluido (Chagas, 2011). No âmbito contextual ao qual viemos destacando, os questionamentos de uma época nortearam os produtos intelectuais que foram gerados em futuros próximos.

Em 1903, Perrin propôs um modelo atômico em analogia com um modelo planetário que incluía os elétrons. Sendo assim, ele considerava que o átomo seria constituído por um sol positivo, com carga muito maior que a de um corpúsculo. Este

² <<https://library.si.edu/digital-library/book/newssystemofchemi11dalt>>. Acessado em: 25 jan. 2024.

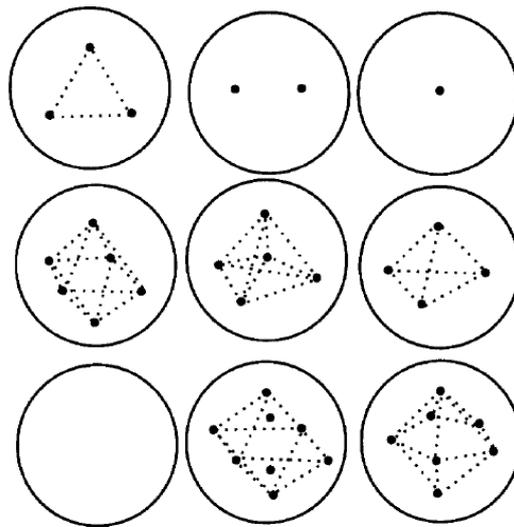
estaria no átomo como um conjunto de pequenos planetas circundantes de carga negativa, e a soma total deles seria igual ao total de carga positiva, deixando o átomo eletricamente neutro (Perrin, 1901 *apud* Kragh, 2010). Embora o elétron seja comumente apresentado em outros contextos da história dos modelos atômicos, Kragh (2010) afirma que Perrin foi o primeiro a apresentá-lo em um modelo.

Modelo atômico de Thomson

Joseph John Thomson (1856-1940) foi um cientista que se destacou na história do átomo, e deu importantes contribuições para a área da física e da química, considerando observações às descargas elétricas em gases e experiências com eletricidade nos tubos de Faraday. As realizações desse cientista tiveram influência de diversas personalidades, como, por exemplo, seu professor de física, Balfour Stewart, que o colocou diante de possibilidades sobre uma teoria especulativa da matéria (Navarro, 2012; Chayut, 2006). Por volta de 1897, Thomson anunciou a descoberta do elétron, que não era chamado por ele dessa maneira (Kragh, 1997), e, mais tarde, foi incluído na sua teoria atômica.

A teoria atômica de J. J. Thomson atravessou momentos envolvendo a realização de diversos estudos que mostraram ponderações às concepções outrora adotadas para pensar a estrutura atômica. Em 1904, Thomson desenvolveu seu modelo de átomo, que, para a comunidade científica, trazia a novidade de explicar as propriedades químicas do átomo, considerando uma análise matemática da sua estabilidade (Hon; Goldstein, 2013). O átomo desse cientista teve influência de modelos e experimentos discutidos na época, como o átomo vórtex de Lord Kelvin e os ímãs flutuantes de Alfred Marshal Mayer, que consideravam ideias sobre a arquitetura dos átomos e o seu equilíbrio cinético (Lopes, 2009). Para Thomson, o átomo era constituído de um corpo rígido eletricamente uniforme, onde os corpúsculos negativos estariam se movimentando em órbitas. Sobre essas órbitas, haveria uma força sendo exercida e, assim, o átomo seria um agregado de órbitas que ocupariam posições invariáveis (Figura 8) (Thomson, 1903 *apud* Hon; Goldstein, 2013).

Figura 8 – Modelo atômico de Thomson em três dimensões



Fonte: Kragh (1997, p. 330).

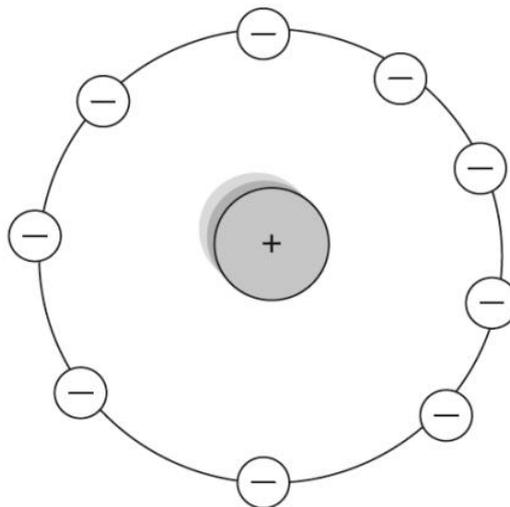
Discussões sobre a estrutura da matéria mobilizaram o imaginário de gerações. O trabalho dos cientistas era acompanhado pela sociedade, que encontrava uma forma de conhecimento mais acessível sobre o que era discutido na física moderna. Isso foi um aspecto que levou a um entendimento errôneo da teoria de Thomson, que foi introduzida como o modelo do “pudim de passas”, pelo *Merck's Report*, um jornal de sua época. Adotada pela literatura acadêmica, essa analogia se distancia de aspectos técnicos da teoria, pois os elétrons não estavam dispostos por todo o ‘pudim’, mas giravam em anéis em torno do centro do átomo. Além disso, a teoria foi desenvolvida em um contexto em que o átomo ainda não tinha uma estrutura – os estudos se relacionavam à matéria em geral (Hon; Goldstein, 2013, p. 131).

Modelo atômico de Nagaoka

O estabelecimento de analogias ao longo da história dos modelos atômicos atravessou diversas teorias construídas. Os modelos planetários foram analogias que repercutiram bastante na HdC. Um outro cientista que baseou seu modelo de átomo em um modelo planetário foi Hantaro Nagaoka (1865-1950). Como físico japonês, foi influenciado pelos trabalhos de Maxwell e Boltzmann, que envolveram estudos da estabilidade mecânica do sistema de anéis de Saturno e a explicação de fenômenos físicos por meio de um modelo mecânico (Kragh, 2010; Yagi, 1972). Esses estudos circundaram o pensamento e o trabalho científico de Nagaoka, que implicaram na analogia do modelo saturniano para o seu modelo atômico.

O positivismo recorrente no Japão, durante a Restauração Meiji (1868), teve forte influência sobre as ideias de Nagaoka. Este foi um período de incorporação de tecnologias e ideias do Ocidente ao Oriente. Dessa maneira, compreender a natureza passou a ser uma atividade ulterior ao estudo racional da matéria (Yagi, 1972; Benedetti Filho; Matsumoto, 2022). Foi, então, em 1904, em um artigo publicado na *Philosophical Magazine*, que Nagaoka declarou que o átomo seria constituído de um centro de grande massa positiva que poderia atrair partículas negativas circundantes, dispostas em um círculo com intervalos angulares iguais e que poderiam se repelir entre si. A estabilidade do átomo estaria no equilíbrio da velocidade de giro entre as partículas circundantes e na intensidade da força de atração do centro (Figura 9) (Nagaoka, 1904, p. 445 *apud* Kragh, 2010, p. 37).

Figura 9 – Modelo saturniano de Nagaoka



Fonte: Hentschel (2009)³.

As concepções em torno do modelo atômico de Nagaoka eram implicadas a uma visão materialista da eletricidade. Esse foi um dos fatores que fez com que esse modelo tivesse uma certa independência para a época, e se distanciasse do modelo do seu contemporâneo J. J. Thomson, que acreditava que os elétrons giravam livremente dentro do corpo positivo (Yagi, 1972). Diante disso, consideramos como o empenho de estudiosos em compreender a estrutura e o

³ <[https://www.researchgate.net/publication/251136420 Atomic Models Nagaoka%27s Saturnian Model](https://www.researchgate.net/publication/251136420_Atomic_Models_Nagaoka%27s_Saturnian_Model)>.

Acessado em: 10 maio 2023.

comportamento da matéria, ao longo do tempo, se constituiu como estopins na construção da ciência e na sua contribuição para o desenvolvimento das sociedades.

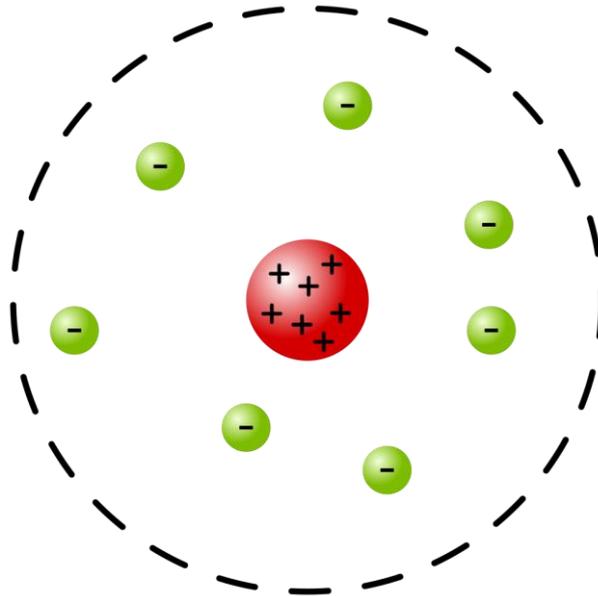
Modelo atômico de Rutherford

Ernest Rutherford (1871-1937) foi um físico e químico que deixou importantes marcas na HdQ; em 1908, recebeu um Prêmio Nobel pelo seu trabalho com decaimento radioativo. Por volta do fim do século XIX, ele teve Thomson como seu colega de trabalho no Laboratório Cavendish. Embora Rutherford fosse a favor do modelo atômico proposto por J. J. Thomson, o seu interesse por experimentos realizados com partículas alfa construiu uma outra ótica para a sua teoria atômica (Kragh, 2010; Lopes, 2009).

Hans Geiger e Ernest Marsden, que colaboraram para as investigações de Rutherford, investigaram o espalhamento de partículas alfa em folhas metálicas. Os cientistas notaram que, com uma folha de platina, uma em cada 8.000 das partículas que atravessavam a folha se refletiam em ângulos maiores que 90° . Esta informação foi pertinente a Rutherford, que executou várias vezes tal experimento com uma folha de ouro, para chegar à ideia de que as partículas alfa colidiam com uma massa altamente carregada e concentrada (Kragh, 2010). Inicialmente, por volta de 1911, o cientista não admitiu que tal região centrada no átomo tivesse carga positiva – ela poderia assumir uma carga negativa. Ou seja, suas constatações eram de que o centro do átomo e os elétrons teriam cargas opostas (Lopes, 2009).

O modelo nuclear de Rutherford (Figura 10) trouxe novas perspectivas para a comunidade científica. No entanto, a natureza desse modelo também apresentou inconsistências com os interesses da época. A teoria atômica de Rutherford teve base em uma teoria de espalhamento, fruto dos seus trabalhos com radioatividade, não mostrando preocupação com o arranjo dos elétrons, que era algo muito importante para uma teoria atômica do início do século XX (Kragh, 2010; Lopes, 2009).

Figura 10 – Modelo atômico de Rutherford



Fonte: Wikipedia (2024)⁴.

Modelo atômico de Bohr

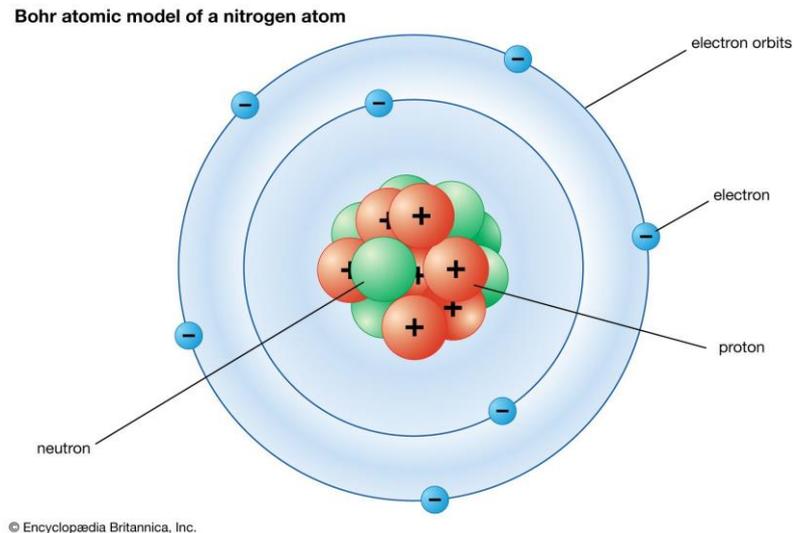
Ainda no século XIX, outros cientistas se envolveram com investigações sobre a estrutura atômica, um deles foi Niels Bohr (1885-1962). Este teve uma estreita relação de amizade e colaboração com Rutherford, o que emoldurou a sua teoria atômica e desencadeou discussões na academia, que repercutem até os dias atuais (Melzer; Aires, 2015). Embora ele tenha concordado com os argumentos de Rutherford a respeito da estrutura do átomo, considerou a dinâmica dos elétrons em sua teoria atômica. Isso atraiu o olhar de outros estudiosos, que também tinham o interesse em compreender essas partículas no átomo (Lopes, 2009).

A base da teoria atômica de Bohr foi sustentada por pressupostos teóricos e dados experimentais, chegando até a academia por meio de uma trilogia de artigos, em torno de 1913. O contexto foi imperativo para a sua visão de átomo, pois as interpretações da física clássica não pareciam mais serem coerentes para analisar sistemas atômicos. Porém, o cientista não abandonou completamente as ideias da física clássica (Lopes, 2009). A sua teoria consistia em considerar o átomo como um sistema constituído de um núcleo carregado positivamente, ocupando uma menor extensão no átomo e guardando a sua massa. Em torno deste núcleo, estão os elétrons, dispostos em anéis circulatorios (Figura 11). Os elétrons são compreendidos a partir de momentos angulares, calculados pelo valor universal

⁴ <https://en.wikipedia.org/wiki/Rutherford_model>. Acessado em: 25 jan. 2024.

$h/2\pi$, em que h corresponde à constante de Planck (Bohr, 1963, p. 133 *apud* Melzer; Aires, 2015, p. 75).

Figura 11 – Modelo atômico Rutherford-Bohr



Fonte: Enciclopédia Britânica (2023)⁵.

A introdução da constante de Planck nos estudos da matéria foi contornada por um cenário em que a física quântica dava seus primeiros passos, e apresentava como, a nível atômico, o comportamento de partículas necessitava de conceitos que não podiam ser aplicados ao mundo macroscópico. Nesse sentido, um elétron, ao absorver ou emitir energia, não poderia fazê-lo de maneira contínua, como descrevia a física clássica. No contexto de um sistema quântico, isso acontece a partir de valores discretos de energia, ou seja, a energia é quantizada – o *quantum* de energia se tornou um dos conceitos imprescindíveis para compreender tal fenômeno (Silva; Cunha, 2009).

Como podemos observar, o conceito de átomo sofreu muitas mudanças, ao longo dos séculos, em contextos e lugares diferentes. A conexão entre diversos cientistas – que não se limitam aos citados neste trabalho –, se reflete nas políticas científicas e relações pessoais que construíram um solo fértil para a evolução da compreensão sobre o átomo.

Modelo padrão das partículas elementares

⁵ <<https://www.britannica.com/science/Bohr-model>>. Acessado em: 15 maio 2023.

Nos dias atuais, o que temos de mais sofisticado para explicar a natureza da matéria e os seus fenômenos é a teoria matemática do *Modelo Padrão das partículas elementares*. Esta se relaciona às partículas básicas encontradas na natureza, cujas são ulteriores ao que se acreditava ser indivisível, como prótons, elétrons e nêutrons, e as interações fundamentais que advém do comportamento dessas partículas na natureza. O Modelo Padrão, como qualquer outra teoria científica, guarda a possibilidade de dar lugar a uma nova teoria, modificando, complementando ou extrapolando o que se sabe, para que possa melhor servir às indagações ascendentes daqui a alguns anos (Moreira, 2009). Assim é que funciona a dinâmica de relações do conceito de átomo na HdC/HdQ. Este, como um conceito que atravessou diversos horizontes, faz parte de uma história que se mantém sendo edificada, uma vez que “a ciência é construída pelas pedras tomadas de suas ruínas” (Peduzzi, 2015, p. 48).

A relação entre as dimensões conhecimento científico e mundo nos apontam à importância pensarmos as discussões dos aspectos da ciência no campo da sala de aula de química/ciências. Neste cenário, a história dos modelos atômicos é atravessada pela pertinência de considerar a ideia de linearidade e o progresso da ciência, bem como a relação entre produção científica e contexto sociocultural (Moura; Guerra, 2014). Essas questões se inserem na educação científica, que não deve deixar de lado a natureza dos modelos e as relações com problemáticas em torno do desenvolvimento de um realismo ingênuo e a importância das discussões sobre teoria e realidade (Justi; Gilbert, 2000; Moreira *et al.*, 2021).

Partindo da perspectiva que consideramos a aprendizagem de conceitos científicos como um processo ativo do estudante, que engloba a sua subjetividade, entendemos a importância de discutirmos as potencialidades do ensino e aprendizagem de conceitos científicos inseridos em configurações semióticas, dispostas em contextos, como, por exemplo, em textos de ficção.

3.5 TEXTOS DE FICÇÃO PARA O ENSINO E APRENDIZAGEM DE CONCEITOS CIENTÍFICOS

Para refletirmos sobre o uso de textos de ficção na educação científica, julgamos importante estabelecermos algumas reflexões sobre a interface ciência-arte. Olhando de uma forma breve, a Ciência e a Arte – dando destaque para a Literatura – não parecem passíveis de se misturar. Afinal, esses campos do

conhecimento se mostram sendo construídos por caminhos muito distintos – a Ciência com seu método e a Literatura com sua liberdade nos contos, romances, poesias etc. Mas, se olharmos mais de perto, veremos que essas esferas do saber traçam muitos caminhos ao encontro uma da outra.

A tese do professor João Zanetic, intitulada *Física também é cultura* (1989), nos faz pensar “fora da caixa” e olhar para a construção das ciências como parte de um contexto cultural, apontando à potencialidade de abordar a filosofia e história da ciência para apresentar a Física entre uma série de interrelações. Nesse sentido, o pesquisador aponta como a construção desse cenário mostra o círculo da técnica experimental e matemática, necessárias para a construção das ciências, em uma intersecção com o círculo do imaginário (Zanetic, 1989). Assim sendo, a Ciência e a Arte, mesmo com suas peculiaridades, como atividades humanas têm a imaginação como um dos pontos de encontro que ofusca a barreira instalada entre essas áreas do conhecimento.

O cientista e divulgador científico Jacob Bronowski (1908-1979) já nos apontou como a imaginação é o ponto de encontro entre as experiências artísticas e científicas, pois nossa condição humana nos faz produzir manipulações mentais daquilo que se afasta de nossa realidade imediata, apontando a ciência e a arte como parte de um trabalho criativo (Bronowski, 1998). Mas, como já discutimos anteriormente, consideramos que a imaginação na ciência se constitui em um pensar coletivo, diferindo da imaginação inserida nas realizações artísticas. Ainda assim, queremos argumentar como a imaginação nos aponta a um horizonte de potencialidades educacionais quando nos debruçamos sobre a interface entre essas áreas do conhecimento.

Dando alguns passos para trás na linha do tempo, o físico e escritor inglês Charles Percy Snow (1905-1980), em sua obra *As Duas Culturas* (1959), propõe reflexões sobre o mundo das ciências e das humanidades, apontando dificuldades de comunicação entre eles e em como isso acaba repercutindo no esquecimento de questões psicológicas, sociais e éticas na cultura científica, em paralelo com o esquecimento de conceitos básicos da ciência entre a esfera da cultura humanística (Snow, 1995). Para o autor, é pertinente olharmos para esta dicotomia e como ela pode refletir em consequências educacionais.

Enquanto seres socioculturais, os produtos de nossas práticas são dispostos ao longo da história e refletem os interesses, as angústias, os desenvolvimentos

científicos e tecnológicos de diferentes épocas. No âmbito dessas relações, a ciência e a ficção se encontram para construir um lugar que veicula preocupações e questões de contextos socioculturais (Piassi, 2015). Em outras palavras, embora se trate de tipos de conhecimento distintos, a ciência e a ficção refletem seus atributos como produtos da mente humana.

Piassi (2015) argumenta como o conhecido livro *Alice no País das Maravilhas* (1864), do matemático e escritor Lewis Carroll, conecta enigmas matemáticos e lógicos à viagens fantasiosas, construindo uma narrativa permeada pela imaginação e fantasia. O estudioso ainda apresenta uma outra obra inspirada nesta última, *Alice no País do Quantum* (1998), de Robert Gilmore. Esta, por sua vez, se trata de um livro de divulgação científica de conceitos da física quântica, que, a partir de analogias, carrega o potencial de apresentar fenômenos de um mundo que nos escapa da realidade imediata (Gilmore, 1998). No âmbito de fazermos comparações da nossa realidade com a natureza dessa ciência, a característica absurda da narrativa ficcional da obra constrói uma ligação com o estranhamento associado aos conteúdos da teoria quântica, abrindo espaço para que estes sejam apropriados pelo(a) leitor(a) (Piassi, 2015). Dessa forma, consideramos pertinente olharmos para essas produções literárias como veículo para formas de pensar importantes à educação científica.

O filósofo e linguista búlgaro, Tzvetan Todorov (1939-2017), discute o fantástico através de alguns caminhos. Na narrativa, pode haver a constituição da dúvida entre algo ser estranho, porém real, ou envolver fenômenos que escapam das nossas concepções sobre a realidade. Isso pode desencadear um estranhamento diante de um conflito com os acontecimentos percebidos e um maravilhamento com um mundo que carrega suas próprias regras (Todorov, 2010).

A estrutura narrativa pode nos apresentar uma mudança inesperada, implicada nas reações dos personagens, nas declarações do narrador, na própria estrutura do texto, que, conseqüentemente, pode provocar reações de espanto no(a) leitor(a). Esse tipo de reação contorna a possibilidade de uma situação educativa, conforme cenários novos e fantasiosos são criados mentalmente (Rabkin, 1977 *apud* Ramos; Piassi, 2017).

Dessa maneira, buscamos olhar para uma obra de literatura fantástica, enquanto construída a partir de elementos que dão suporte para os desdobramentos da sua narrativa com potencial educativo.

3.5.1 O átomo em Isaac no Mundo das Partículas

Isaac no Mundo das Partículas (2018) foi escrito por Erika Takimoto, escritora, pesquisadora e professora de física no Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET), do Rio de Janeiro. O protagonista Isaac foi inspirado no filho caçula da escritora, que destinou as melhores perguntas à sua mãe sobre o mundo e a sua constituição, conforme ela retornou de um curso de Física de Partículas, no CERN (Centro Europeu de Pesquisa Nuclear).

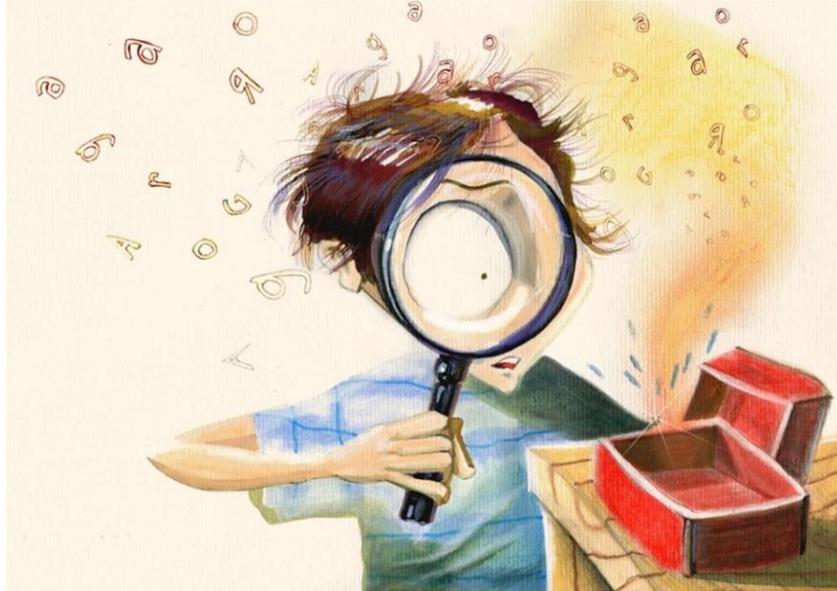
A obra foi escrita para o público infanto-juvenil, mas, segundo a autora, é uma obra para crianças de 6 a 106 anos. Isso está nítido quando percebemos que as perguntas que podem surgir da curiosidade de uma criança são as mesmas perguntas que vagueiam pelas mentes de cientistas e nos possibilitam conhecer mais a fundo a natureza. Nessa perspectiva, a narrativa da obra é contornada por uma linguagem recheada de elementos fantásticos, e diversas questões filosóficas acerca do conhecimento, questões essas que são imperativas quando nos colocamos no campo da natureza da ciência⁶.

A narrativa construída, como um livro para ensinar Física de Partículas, a torna uma obra de divulgação científica. Os elementos usados por Erika, para apresentar um assunto tão complexo a um público, também torna a obra um romance literário de fantasia. Dessa forma, entendemos que o livro está em uma interface entre esses gêneros. Conforme consideramos a trajetória da professora e o seu empenho em produzir uma obra literária fantástica e de divulgação científica, a caracterizamos como uma cientista de veia literária (Zanetic, 2006).

Um mundo construído entre dúvidas e maravilhamentos talvez seja uma boa síntese para o mundo que o menino Isaac viaja através da imaginação. Este é o mundo das partículas – um mundo imaginário, mas que existe. A jornada de Isaac, na maior parte do tempo, é acompanhada por um grão de areia falante, Argo. Eles partem da imensidão da areia de uma praia e seguem até o quarto de Isaac, onde o grãozinho trazido para casa parece, para o garoto, uma fonte de questionamentos sobre o universo e as suas dimensões (Figura 12).

Figura 12 – Isaac surpreso observando o grão de areia falar

⁶ < <https://elikatakimoto.com/isaac-no-mundos-das-particulas/>>. Acessado em: 07 fev. 2023.



Fonte: Takimoto (2018, p. 12).

Sob o olhar de um narrador onisciente, que divide as páginas com diálogos entre os personagens, somos colocados, a cada capítulo, em um embarque nas aventuras de Isaac e Argo. Eles vão da Grécia Antiga até o CERN, em busca de respostas para as perguntas do protagonista. Essas perguntas são abastecidas, cada vez mais, pela dúvida se aquela minúscula *partícula* de areia poderia ser dividida em partes menores (Takimoto, 2018). Dessa maneira, a história do átomo é contada sob uma perspectiva da HdC. O complexo de signos através do qual o livro é construído apresenta a iconicidade, por vezes dialogada com analogias e metáforas, em torno de indagações sobre um mundo macro e microscópico.

Em um diálogo entre Isaac e Argo, após passarem pela Grécia Antiga, Isaac se sente inquieto ao descobrir que Argo não representa a menor partícula do universo. Para convencer Isaac de que isso é verdade, pois é possível ‘ver’ essas partículas menores, Argo faz uma analogia com o morcego. Apesar de ser um bicho cego, o morcego consegue ‘enxergar’ pela sua capacidade de emitir sinais sonoros com a boca, que o impede de colidir com obstáculos à sua frente. A partir disso, encontramos na narrativa a possibilidade de estabelecer uma relação com o papel da imaginação na ciência e a evolução desse conhecimento, levando em consideração o desenvolvimento da tecnologia. Por conseguinte, Takimoto (2018, p. 33) elabora: “[...] acho que você entende que podemos ver muita coisa através da mente, ou melhor, das ideias. E se juntarmos essas abstrações com equipamentos, formamos imagens que só a mente talvez não conseguisse formar”.

A relação entre um mundo visível e invisível nos desperta, muitas vezes, as mesmas reações que o personagem principal, Isaac, acaba tendo, conforme vai conhecendo as coisas que fazem parte de um universo que nos rodeia, mas que escapam de nossa experiência imediata. Nesse sentido, algumas cenas são pautadas em colocar o observador externo – nós – lado a lado com o observador interno da narrativa. Por exemplo, ao chegarem à maior máquina já idealizada pelo ser humano – o CERN –, Isaac e Argo, ao entrarem em um detector de partículas, encontram a ‘coisa’ (Figura 13).

Figura 13 – Isaac e Argo encontram Bóson de Higgs em um acelerador de partículas



Fonte: Takimoto (2018, p. 38).

Os personagens entram em um diálogo com o Bóson de Higgs. Como uma partícula com habilidade de fala, Bóson representa um dos elementos fantásticos na obra. Ele conta para os outros dois personagens como está se escondendo, para que não o encontrem e o façam se chocar com outras partículas. Se isso acontecer, ele e suas colegas vão virar partículas atômicas que, na obra, são chamadas de farelos de *quarks* (Takimoto, 2018, p. 39):

– Farelos de quê? Por que eles fazem seus amigos confrontarem uns com os outros? – perguntou Argo, que se sentia um gigante enquanto andava

bem depressa atrás daquela minúscula partícula. Bóson sequer lhe respondeu, tão preocupado estava em se esconder.

Na área da ficção, não é impossível considerar caminhar e conversar com partículas dotadas de sentimentos, como sentir-se em perigo. Os diálogos e as interações postas na narrativa desempenham o papel de relacionar elementos fantásticos com a realidade. Conforme Takimoto (2018, p. 48-49), “o problema é que essas partículas não podem ser comparadas a grãos pequenos. Por menores que elas sejam, [...] nada do seu comportamento tem a ver com o de uma poeira”. Nesse contexto, as descrições metafóricas e ficcionais na obra dão suporte para uma interpretação do empenho de cientistas em compreender mais profundamente a natureza da matéria e os seus fenômenos, resultando no *Modelo Padrão das partículas elementares*, que representa o que possuímos de mais sofisticado, até os dias atuais, para interpretar esses fenômenos. As descrições que representam relações do fantástico com a realidade, conforme os parâmetros da Ciência, constroem um espaço em que o impossível se constitui como parte do real (Ramos; Piassi, 2017).

4 METODOLOGIA

Para a realização desta pesquisa, adotamos uma abordagem qualitativa, considerando uma ótica de tratamento aos dados que não se traduzem puramente em aspectos numéricos, e que, segundo Gil (2008), os processos de análise e interpretação dos dados, nesta abordagem, estão intimamente relacionados. A partir da nossa questão de pesquisa, entendemos o nosso anseio por novas formas de enxergar e mergulhar no mundo de significados que é o ambiente da sala de aula, mediante a realização de uma intervenção com uma obra de literatura fantástica. Por isso, esta pesquisa é de natureza aplicada (Gil, 2008).

O delineamento desta pesquisa está sob uma ótica mais abrangente acerca de fenômenos inseridos em um determinado contexto, por isso, se trata de um estudo de caso (Yin, 2001). Com este tipo de investigação, a presente pesquisa esteve sobre a orientação de estratégias descritivas que se aproximam das explicativas, lançando o olhar sobre o fenômeno de interesse a fim de descrever características e observar tais fenômenos a partir de quais fatores podem contribuir ou determinar a ocorrência deles, respectivamente. Dado o envolvimento da pesquisadora e dos pesquisados no processo de pesquisa, esta se trata também de uma pesquisa participante (Gil, 2008).

4.1 LOCAL DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada no âmbito de uma instituição de ensino superior pública federal brasileira, situada no interior do Estado de Pernambuco. Escolhemos esse local de estudo considerando a possibilidade de contribuir para a interiorização das atividades de pesquisa, bem como devido à faixa etária dos participantes, pois, de acordo com Vygotsky, a fase adulta possibilita operações formais com o pensamento, o que reflete a construção do pensamento conceitual que tem base na manipulação mental de signos (Schroeder, 2007), nos favorecendo para observação do fenômeno estudado.

4.2 PARTICIPANTES

Os participantes foram selecionados em uma turma de História da Química, de um curso de Licenciatura em Química – onde a intervenção foi realizada. Esta foi feita com a turma inteira, no entanto, realizamos, em um momento da intervenção, uma organização da sala em duplas. Através disso, dado o caráter qualitativo desta

pesquisa, selecionamos três participantes para compor a coleta e construção dos dados.

A escolha da referida turma foi considerada a partir da possibilidade de uma abordagem histórica/epistemológica do conceito de átomo por meio da utilização do livro *Isaac no Mundo das Partículas*, além de considerarmos a importância de os participantes possuírem um conhecimento prévio necessário para participação da intervenção, que foi elaborada em conjunto com o docente da disciplina.

Esta pesquisa prosseguiu com todas as diretrizes do Comitê de Ética, aprovada sob o Número do Parecer 6.108.237 e CAAE 68712523.4.0000.5208.

4.2.1 Critérios de inclusão e exclusão

Foram incluídos na pesquisa participantes que estavam matriculados na disciplina de História da Química. Consideramos que pelo menos um dos estudantes gostasse de fazer leituras em geral e apresentasse alguma dificuldade em conceitualizar o que é um modelo atômico. Não foram incluídos estudantes que não tinham cursado as disciplinas de Química Geral I e II.

Entre os participantes selecionados, além do cumprimento com os critérios estabelecidos, consideramos a frequência de participação nos momentos da intervenção. Alguns estudantes, embora estivessem dentro dos critérios de inclusão, não participaram de todos os momentos. Sendo assim, através de um questionário prévio, o primeiro estudante selecionado foi um homem (E1), que declarou gostar de fazer leituras dos gêneros ficção científica, ficção e fantasia, e disse não ter dúvidas sobre o que é um modelo atômico. Selecionamos uma mulher (E2) que também não possuía dúvidas em conceituar o que é um modelo atômico, mas não costumava fazer leituras. Por último, escolhemos outro homem (E3), o qual afirmou tanto gostar de leituras como possuir dúvidas sobre modelo atômico.

4.3 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

1) Questionário prévio (Apêndice A) para sondar informações que foram úteis na seleção dos três participantes para compor os dados da pesquisa;

2) Primeiro questionário com perguntas abertas (Apêndice B) contendo questionamentos sobre o átomo e as suas relações com a construção do conhecimento científico;

3) Segundo questionário com perguntas abertas (Apêndice C), que

possibilitaram a emergência dos entendimentos e argumentos dos participantes (Fontana; Rosa, 2021) a partir da manipulação de níveis de iconicidade expressos nos signos usados para representar ideias sobre o átomo;

4) Videogravação realizada para captar as falas e as interações dos participantes, uma vez que a iconicidade dos signos também pode se materializar na fala, permitindo assim identificar e analisar a manipulação de níveis de iconicidade (Simões, 2009). Também foi feito o uso de gravadores de voz para captar discussões nas duplas formadas;

5) Entrevista semiestruturada para sondar aspectos de nosso interesse (Fontana; Rosa, 2021) no que diz respeito aos vetores de significação que emergiram da relação dos participantes com o *Gegenstand*.

4.4 PROCEDIMENTOS PARA A COLETA DE DADOS

Para a coleta de dados, realizamos uma intervenção que durou três encontros. Os dados foram construídos durante momentos de debate sobre o átomo, e a partir do uso de três trechos pré-selecionados da obra *Isaac no Mundo das Partículas* como recurso principal. Os trechos foram selecionados a partir de uma abordagem histórica/epistemológica do átomo. Dessa forma, apresentamos recortes da história em que o personagem principal, Isaac, viaja, através da imaginação, por lugares onde o átomo é significado junto a outros personagens, por exemplo, da areia de uma praia, passando pela Grécia Antiga e indo até um acelerador de partículas.

Tivemos as seguintes etapas para a coleta de dados:

1) Apresentação da pesquisadora e da pesquisa para a turma, informando as etapas a serem realizadas. O termo de consentimento livre e esclarecido (Apêndice D) para participação na pesquisa foi lido e, posteriormente, entregue aos estudantes para ser assinado. Fizemos a aplicação do questionário prévio logo após.

2) Realização de um debate a partir de discussões voltadas para aspectos históricos e epistemológicos do conceito de átomo na História da Ciência/Química. Buscamos envolver os estudantes no debate a partir de perguntas norteadoras (Quadro 1), que deram suporte às discussões a serem desenvolvidas.

A partir do seu entendimento, como os filósofos da Grécia Antiga conseguiram propor a existência de um constituinte básico da matéria?
Nós podemos ver o átomo?
O que são os modelos atômicos propostos ao longo do desenvolvimento da ciência?
Qual a relação entre realidade, teoria e modelo?
Como vocês entendem a relação entre novas e antigas propostas sobre a estrutura da matéria?
Como os novos equipamentos científicos mudaram a relação com a ciência ao longo do século XIX?

Fonte: A autora (2023).

As discussões foram captadas por uma videogravação. Logo em seguida, aplicamos o primeiro questionário com perguntas abertas.

3) Realização de momentos de leitura, que se tratou de dois focos de vinte minutos de leitura, intercalados com tempos de dez minutos de discussão. Solicitamos que a turma se organizasse em duplas para a realização desse momento. Fizemos uso de um roteiro de discussão com algumas perguntas norteadoras (Apêndice E) para o debate. Os momentos em que os participantes se envolveram em discussões, tanto com o grupo maior como com sua dupla, foram registrados pela videogravação e pelos gravadores de voz dispostos em cada dupla. Após esse momento, foi feita a aplicação do segundo questionário com perguntas abertas.

4) Realização de uma entrevista semiestruturada que foi gravada por meio de gravadores de voz. Foram feitas algumas perguntas aos participantes, com base na experiência com a obra literária usada e as reflexões geradas sobre o conceito de átomo. Dado o caráter da entrevista, alguns entrevistados tiveram perguntas diferentes, pois elas se basearam nas discussões dos estudantes sobre os momentos de leitura. As transcrições das gravações foram feitas de maneira literal, preservando os erros gramaticais que surgiram. Nos Apêndices F, G e H, apresentamos os roteiros das entrevistas dos participantes.

No Apêndice I, apresentamos o planejamento da intervenção a partir de um plano de aula.

4.5 ANÁLISE DE DADOS

Para a realização da análise, atentamos que os participantes da pesquisa foram a fonte dos dados construídos, considerando a necessidade de um olhar

crítico e de estabelecimento de relações a estes. A partir de nosso arcabouço teórico, investigamos o diálogo entre processos cognitivos e estrutura textual, partindo de pressupostos que envolvem a materialidade da função icônica dos signos como mediadora do processo de aprendizagem, a formação de imagens mentais a partir da manipulação de níveis de iconicidade e a construção de vetores de significação diante da relação dos indivíduos com a obra de ficção usada neste estudo.

A partir da discussão teórica aqui apresentada, propomos critérios de análise nos apoiando na iconicidade como propriedade dos signos, na Teoria da Iconicidade Verbal e no processo de significação via o GG.

Considerando os dois primeiros objetivos específicos desta pesquisa, em termos das ideias de Simões (2009), traçamos os seguintes critérios de análise para identificar a iconicidade nos complexos de signos:

1) Para análise do primeiro questionário e da videogravação transcrita:

- Iconicidade: esta função dos signos se deu por meio do estabelecimento de uma relação de representação com um objeto. Assim, ao longo da intervenção, identificamos signos, atuando como mediadores do processo de aprendizagem, que remeteram a uma representação do átomo como constituinte da matéria e inserido na História da Ciência/Química.

Diante das ideias de Simões (2009), construímos os seguintes critérios de análise para identificação dos níveis de iconicidade:

2) Para análise do segundo questionário, da videogravação transcrita e das gravações das duplas:

- Iconicidade diagramática: as representações são construídas por meio da combinação de itens léxicos na arquitetura do texto. Por exemplo, quando o(a) estudante selecionou signos presentes na obra que, quando organizados, representaram uma ideia sobre o átomo e suas respectivas relações para explicar a realidade. Os momentos da intervenção demandaram dos participantes que estes construíssem ideias que estabeleceram relações com o que estava sendo imaginado por eles.

- Iconicidade lexical: este nível de iconicidade considera a seleção de léxicos como marcas representativas para uma mensagem que se busca comunicar. Assim, identificamos expressões escolhidas pelos participantes, mediante a interação com a

obra, para evocar raciocínios acerca da compreensão do átomo como um conceito envolvido pela concepção do que é um modelo-teórico.

- Iconicidade isotópica: as palavras e expressões selecionadas constroem a trilha temática. Desta forma, nos dados, identificamos signos usados para ancorar ideias sobre o átomo na História da Química.

Considerando o terceiro objetivo específico desta pesquisa, segundo as ideias de Tateo (2017b), traçamos os seguintes critérios de análise para identificar a emergência dos vetores de significação na relação estudante-livro na entrevista semiestruturada:

- Vetor ampliação (Tateo, 2017b): a forma com que o átomo é abordado na história pode ser intensificada pela interação estudante-livro. Por exemplo, quando o estudante selecionar recortes da obra e extrapolá-los até exemplos do seu cotidiano, possibilitando a emergência de possíveis novos significados.

- Vetor adaptação: as perspectivas dos personagens na obra tornam-se veículo para o estudante significar o átomo na sua realidade. As falas dos estudantes, na construção de significados, partem de uma adaptação ou incorporação dos diálogos e falas dos personagens literários, como se o estudante pudesse enxergar/significar o átomo na realidade sob uma ótica dos personagens.

- Vetor afetividade: há a introdução de materiais semióticos afetivamente conotados no processo de construção de significados. Os elementos fantásticos na narrativa, como um objeto inanimado poder falar com uma criança, ganham um lugar de valor afetivo, ao se relacionarem com memórias, possibilitando a emergência de novos significados.

O vetor ampliação foi proposto a partir da discussão apresentada por Tateo (2017b). Já os vetores adaptação e afetividade foram propostos a partir da análise a posteriori, em que identificamos caminhos de aprendizagem específicos em relação a como cada participante significou o livro (GG).

A identificação dos vetores de significação foi possível com a utilização do *software*, Voyant Tools⁷. A funcionalidade deste nos possibilitou identificar a frequência com que alguns léxicos apareceram nos discursos dos participantes durante a entrevista. Assim, identificamos os vetores ao associar os léxicos com os processos emergentes da relação com o GG.

⁷ <<https://voyant-tools.org/>>. Acessado em: 9 jan. 2024.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, apresentaremos a análise e discussão dos dados por meio de cada participante da pesquisa, para apresentar os caminhos de aprendizagem individuais. No entanto, inicialmente, apresentaremos uma análise geral dos dados focando na emergência da iconicidade, sendo entendida aqui como uma propriedade geral dos signos relativa à formação de imagens icônicas em função de outros tipos de signos, em alguns momentos da intervenção.

Não foi possível identificar a iconicidade em todos os momentos e em todos os participantes. Contudo, destacamos que quando identificada, ela refletiu momentos em que representações icônicas desempenharam um papel importante na construção de significados, transcendendo as barreiras da verbalização. Tal resultado reforça a ideia de que a presença de elementos icônicos em narrativas pode enriquecer a compreensão de conceitos abstratos, a partir da emergência de imagens icônicas que medeiam o processo de aprendizagem em sua forma verbalizada.

5.1 ANÁLISE GERAL DOS DADOS - ICONICIDADE

Para iniciar a construção dos nossos dados, a discussão em torno de um questionamento feito pela pesquisadora (PQ) possibilitou que os estudantes refletissem sobre o que são os modelos atômicos e quais os seus papéis ao longo do desenvolvimento da ciência. A discussão caminhou, então, para que eles debatessem qual a relação existente entre teoria, realidade e modelo. Esse foi o momento em que identificamos a iconicidade no discurso da participante E2 (Quadro 2).

Quadro 2 – Identificação da iconicidade na fala dos participantes durante o debate

PQ	Nós nos relacionamos com o mundo concreto e fazemos com que ele se torne inteligível. Isso era o que os filósofos faziam; o que nós também continuamos a fazer enquanto ser humano. Justamente pela nossa capacidade de refletir, de modificar a natureza. Então interagimos com o meio e temos a capacidade de tornar ele inteligível; de fazer com que ele possa ser interpretado. E aí eu vou fazer uma pergunta que vai tocar muito no que vocês estavam discutindo. Qual seria a relação entre teoria, realidade e modelo?	Iconicidade	
		Sim	Não

E1	<i>A partir da realidade a gente consegue modelos de representação, e aí depois a gente começa a testar para ver se a teoria está certa.</i>		X
E2	<i>Na época da Grécia Antiga, eles traziam as ideias e aí eles percebiam uma certa relação com o âmbar e o algodão, aí então... eles lembravam essas teorias que já tinham sido vistas por esses filósofos e aí eles tentavam aprimorar o que já existia na realidade. Porque quando os filósofos falam que tem uma pedra e se você quebrar aquela pedra em cada vez partes menores, você vai encontrar um único grão de areia, que ali seria a parte indivisível da matéria. E aí o que eles tentam representar sobre outros estudos como o de Dalton, que já vinham estudando os gases, estudando toda essa questão, ele vai formular algo a partir do que já existia na realidade antiga da Grécia, que aí é que vem as teorias e os modelos, mas eu não sei realmente o que vem primeiro.</i>	X	
E3		X	X

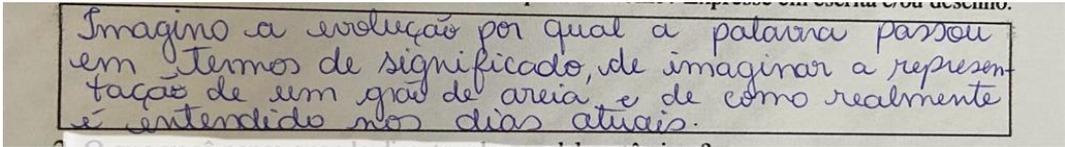
Fonte: A autora (2023).

No discurso de E1, percebemos que o estudante elabora uma resposta apenas a partir de palavras que remetem às definições apresentadas em sala durante a intervenção, enquanto E2 elabora representações para o átomo na HdQ. Embora a estudante E2 afirme não compreender a relação lógica entre teorias e modelos, ela usa representações através de algumas palavras, como “âmbar”, “algodão”, “pedra” e “único grão de areia”, que assumem a função icônica de mobilizar imagens mentais para construção de relações sobre como as ideias dos gregos foram aprimoradas por cientistas ao longo do tempo. A função icônica dos signos verbalizados estabelece relações de semelhança que se constituem como ferramentas para a construção de significados.

Para analisar a materialização da iconicidade nos signos escritos pelos estudantes, nós aplicamos um primeiro questionário com perguntas abertas. Mais uma vez, não observamos a iconicidade em todos os participantes, esta permanecendo na comunicação de E2 (Quadro 3).

Quadro 3 – Perguntas e respostas que observamos o aparecimento da iconicidade

O que você imagina quando escuta/vê a palavra átomo? Expresse em escrita e/ou desenho.

E2	
----	--

Fonte: A autora (2023).

Através dos questionamentos apresentados, em E2, a expressão “grão de areia” apareceu novamente, para significar o átomo através de um contexto em que as ideias sobre a constituição da matéria começaram a ser exploradas. Outros trabalhos apresentaram discussões que corroboram com esses resultados (Wartha; Rezende, 2017; Souza; Porto, 2013). Os signos verbais usados por E2 se relacionam com a natureza abstrata do átomo. Isso acontece pela natureza sígnica da função icônica, que produz imagens mentais contornadas por similaridades com os signos referentes. Nessa perspectiva, argumentamos sobre a dinâmica da iconicidade como fonte primária de outros signos (Simões, 2009), através da linguagem, para mediar a construção de significados sobre o conceito de átomo.

5.2 CAMINHOS INDIVIDUAIS DE APRENDIZAGEM

Ao considerarmos a aprendizagem como um processo dinâmico e ativo, embasado em uma cultura pessoal e coletiva, entendemos a subjetividade dos indivíduos como geradora desse processo. Dessa forma, nosso objetivo de analisar a aprendizagem do conceito de átomo sob a influência da narrativa de *Isaac*, esteve alinhado com a observação da maneira como cada participante construiu seus respectivos processos de significação. Nossos resultados mostraram que, do momento de leitura e discussão da obra à entrevista, os estudantes apresentaram em seus discursos elementos contextuais (enredo da obra) e, em destaque, uma estudante apoiou esses elementos em questões afetivas. Assim, realizamos inferências sobre o papel da iconicidade e da imaginação na aprendizagem, que discutiremos a seguir.

No segundo encontro da intervenção, durante a leitura e discussão dos trechos pré-selecionados da obra, as duplas não debateram entre si, mas com toda a turma. Com isso, nós analisamos de que maneira a iconicidade textual se constituiu como ferramenta na construção de significados sobre o átomo, a partir da

narrativa do livro. Para isso, observamos a manipulação dos níveis de iconicidade na fala de cada participante, segundo a Teoria da Iconicidade Verbal.

5.2.1 E1 – Ampliando e adaptando significados

5.2.1.1 Manipulação dos níveis de iconicidade

No primeiro bloco de discussão, destacamos um trecho em que o personagem Isaac indaga o grão de areia, Argo, sobre se existe algo menor que o grão neste universo. Questionamos a respeito do que os participantes pensaram sobre este diálogo (Quadro 4).

Quadro 4 – Resposta de E1 durante a discussão sobre o diálogo entre Isaac e Argo

PQ	Argo e Isaac estão em um diálogo: “Mas me diga, Argo, há algo menor do que você neste universo? – Claro que sim, Isaac! Eu mesmo sou constituído de milhões dessas menores partes! – E nós conseguimos vê-las? – indagou Isaac. – Depende do que você chama de ‘ver’ – retrucou Argo. [...]” (Takimoto, 2018, p. 15). O que vocês pensaram a respeito?
E1	<i>[...] a analogia que ele faz de ver se associa com o sanar do morcego [...] Foi muito interessante, porque <u>quando ele fala do sanar é como se fosse a maneira de como a gente algumas vezes analisa partículas em si, coloca alguns feixes e aquelas brechas vão desenhando um formato e <u>aquele formato é o que a gente consegue ver como analogia.</u></u></i>

Fonte: A autora (2023).

Para E1, a analogia do sanar do morcego é uma ponte para pensar o trabalho de estudar aquilo que não podemos ver – as partículas. A partir da manipulação da iconicidade diagramática, apresentada pelos trechos “quando ele fala do sanar é como se fosse a maneira de como a gente algumas vezes analisa partículas” e “aquele formato é o que a gente consegue ver como analogia”, o estudante desenha iconicamente suas ideias sobre o papel da ciência e tecnologia em investigar aquilo que não podemos enxergar. Tais trechos apoiam a manipulação da iconicidade lexical, expressa pelas palavras “sanar do morcego”, “partículas”, “feixes”, “brechas” e “desenhando um formato”, que assumem o papel de potencializar imagens mentais icônicas de partículas atômicas no mundo concreto. A expressão “sanar do morcego” é usada pelo participante sob influência da obra (Figura 14), que discute como “imagens” do átomo podem ser formadas mesmo se não podemos vê-lo. A

intenção do livro é conduzir as ideias a respeito de nossa capacidade de “ver” aquilo que nossos sentidos não podem acessar, demonstrando, assim, uma manipulação da iconicidade isotópica pelo estudante E1.

Figura 14 – Diálogo entre Argo e Isaac sobre a capacidade do morcego de “ver” com os ouvidos

por exemplo, mas que voa sem colidir com nada! Como pode? Eles emitem um sinal com a boca, fazem um barulho em uma frequência que os ouvidos humanos não captam. Então o som que eles fazem e que só eles conseguem ouvir bate no obstáculo e volta. Pelo tempo que isso leva, o bicho faz um cálculo muito rápido, mas bem rápido mesmo, quase na velocidade da luz, e descobre a distância.

— Então ele vê com os ouvidos, Argo? É isso que você tá me dizendo? – perguntou Isaac perplexo.

— Isso, Isaac. E dito isto, acho que você entende que podemos ver muita coisa através da mente, ou melhor, das ideias. E se juntarmos essas abstrações com equipamentos, formamos imagens que só a mente talvez não conseguisse formar. Então podemos dizer que vemos, sim, já que temos imagens, não? Mesmo que elas sejam formadas por ideias e máquinas.

— Mas peralá, Argo! Se sem as máquinas construídas pelas pessoas nós não conseguimos ver nada, quem me garante que estamos vendo o que, de fato, existe? Não poderíamos estar inventando tudo isso?

— Alguns cientistas garantem.

Fonte: Takimoto (2018, p. 33).

A fim de analisar como a ideia de modelo atômico estava sendo significada a partir da leitura, realizamos um questionamento sobre um trecho envolvendo a estrutura do átomo (Quadro 5).

Quadro 5 – Discussão sobre modelos atômicos a partir da obra

PQ	E aí eu destaquei, lá na página 32... Tem um trecho que diz assim: “Mas como eles sabem que tem mais coisa dentro do átomo? Dá pra ver?...” (Takimoto, 2018, p. 32). Daí eu pergunto pra vocês, de que maneira esse diálogo se relaciona com os modelos atômicos?
-----------	---

E1	<p><i>Eu acho que... <u>Uma boa referência que ele diz é na parte de imaginar, que ele começa pensar... Imagine! E... Na parte que ele faz... Você consegue me ver? O Bóson, e ele diz: consigo ver claramente com os olhos fechados. Aí ele pergunta se essa sugestão não seria pertinente para... Seria suficiente para os cientistas. Ele diz: não, a gente quer ver de verdade [...]. Eu acho interessante porque essa é uma maneira representacional da gente conseguir ver com o modelo atômico. Primeiro o que se imagina, e depois a imagem da imaginação [...] criar o modelo pra gente tomar como base, como uma imagem [...] relacionar, digamos assim. [...] E as <u>referências com determinados pensamentos da época</u>. Dalton com a bola de bilhar, Thomson com o pudim de passas... Tá sempre relacionando com alguma coisa do dia a dia.</u></i></p>
----	--

Fonte: A autora (2023).

A relação entre imaginação e os modelos na ciência é o fio condutor para organizar palavras e expressões que contornam a dimensão icônica do discurso de E1. Este manipula a iconicidade diagramática através das expressões “uma boa referência que ele diz é na parte de imaginar”, “maneira representacional da gente conseguir ver com o modelo atômico” e “referências com determinados pensamentos da época”. A diagramaticidade é identificada pela forma com que as expressões se organizam para representar uma relação de semelhança com as imagens do texto. Os trechos em destaque guiam o uso dos léxicos “imagine”, “você consegue me ver”, “Bóson”, “ver claramente com os olhos fechados”, “não, a gente quer ver de verdade”, “maneira representacional” e “modelo atômico”, que funcionam como marcadores linguístico-icônicos referentes ao papel da imaginação na construção dos modelos atômicos. Os léxicos manipulados a partir da narrativa, como “imagine”, “você consegue me ver”, “Bóson”, corroboram para a manutenção da temática abordada, por meio da iconicidade isotópica.

Durante o segundo bloco de discussão da leitura, debatemos sobre um trecho que discutia as propriedades de uma dimensão microscópica a partir de um experimento de pensamento (Figura 15). Questionamos aos estudantes como eles relacionariam o trecho com o átomo (Quadro 6).

Figura 15 – Bóson de Higgs pede para Argo e Isaac imaginarem um copo

Capítulo 8



ou contar pra vocês uma experiência bacana que se pode fazer sem ter um laboratório sofisticado – começou Bóson a explicar como da junção de coisas invisíveis forma-se algo que conseguimos ver. – Imaginem um copo. Argo e Isaac imaginaram um copo.

— Muito bem. Agora coloquem água nesse copo até que ele fique completamente cheio.

Argo e Isaac imaginaram um copo completamente cheio de água.

— Pois agora coloquem o dobro da quantidade de água nele.

Nenhum dos dois conseguiu colocar dentro do copo uma quantidade de água que fosse o dobro da sua capacidade. Quando colocavam mais água, ela sempre transbordava do copo. Nem na imaginação deu certo.

— Pois então. Difícil, não? Mas não impossível! Se o copo tiver três milímetros de diâmetro e quase isso de altura e colocarmos nesse copinho pequenininho uma gota d'água com muito cuidado e depois mais uma, teremos o que queremos! Um copo com o dobro da quantidade de água que cabe no seu volume!

Fonte: Takimoto (2018, p. 47).

Quadro 6 – Discussão sobre a dimensão microscópica a partir do experimento de pensamento na obra

PQ	Lá na página 47, tem um trecho que diz assim: “[...] basta que um copo seja minúsculo para modificarmos as propriedades dele.” (Takimoto, 2018, p. 47). Como vocês relacionariam esse trecho com o átomo?
E1	<i>Eu acho que é muito interessante <u>essa parte que ele fala sobre o copo</u> [...] Porque [...] É uma relação muito interessante, porque normalmente a gente vai ver a água como um fluido, então se você colocar ela pra [...] Normalmente ela vai descer pro chão, ela vai ocupar o espaço. <u>Se for um copo grande</u>, ela vai [se tornar algo positivo]. Mas a gente sabe que <u>a superficialidade da água</u> dependendo de quanto menor ela fica [...] Se você coloca uma gotinha ali, não cai, ela não vira fluido assim tão facilmente. Então essa analogia que ele fez... Perfeito! Olhe, <u>quanto menor for, ela vai reagir mais diferente</u>. Então ela não vai agir como se fosse a parte maior.</i>

Fonte: A autora (2023).

E1 articula significados construídos a partir das suas experiências em sala de aula com a analogia do copo na obra. Embora o conceito de átomo não seja mencionado, a organização das expressões “essa parte que ele fala sobre o copo”, “se for um copo grande”, “a superficialidade da água” e “quanto menor for, ela vai reagir mais diferente” constitui manipulação da iconicidade diagramática, pois

demonstra iconicamente a construção do raciocínio sobre o comportamento de fenômenos em uma realidade microscópica. As expressões “o copo”, “a água como um fluido”, “copo grande”, “superficialidade da água” e “uma gotinha ali, não cai” se relacionam à manipulação da iconicidade lexical para construir relações de similaridade entre o comportamento de uma gota d’água no mundo concreto e as propriedades de partículas microscópicas. Além disso, a iconicidade isotópica aparece na manipulação das palavras “copo” e “uma gotinha ali, não cai”, para ancorar as discrepâncias entre o mundo macro e o microscópico segundo a narrativa.

Este caminho de aprendizagem já nos mostra que a leitura dos trechos se relaciona com a aprendizagem por meio da função lexicológica-semiótica da narrativa. Esta função se torna ferramenta na aprendizagem através da iconicidade dos complexos de signos verbais, à medida que E1 se torna também construtor do texto (Simões, 2009), pelas relações de verossimilhança dos léxicos ao que se referem (Simões, 2007). O estudante extrapola as analogias da obra criando as suas próprias analogias sobre o papel da imaginação na ciência, por exemplo. Assim, reforçamos que, segundo a Psicologia Cultural Semiótica, os processos de externalização e internalização de novos signos e significados se retroalimentam para (re)construir a cultura pessoal e coletiva (Valsiner, 2012; Valério; Lyra, 2014) na sala de aula.

Nós aplicamos um segundo questionário com perguntas abertas (Quadro 7) para analisar a materialização dos níveis de iconicidade na escrita dos participantes. Nosso intuito foi o de continuar investigando os processos de semiose a respeito do conceito de átomo sob influência da mediação lexicológica-semiótica de *Isaac*. Observamos que os elementos da narrativa ficcional foram retomados durante as significações sobre o conceito de átomo, como vem sendo apresentado neste caminho de aprendizagem. Os signos verbais escritos pelo estudante apontaram às relações de verossimilhança que os léxicos usados na obra estabelecem com as partículas atômicas e seus fenômenos.

Quadro 7 – Perguntas em que observamos os níveis de iconicidade na escrita de E1

1. “Argo, se os átomos não podem ser vistos, como Demócrito pode afirmar que eles existem? Se os átomos não podem ser nem tocados e tudo é feito deles, como enxergamos o mundo?”. Qual a sua opinião sobre esta citação?

<i>Assim como o oxigênio que respiramos e não podemos ver, tocar ou sentir, <u>da mesma forma é o átomo</u>. Podemos imaginá-lo ou usar um “sanar” para identificá-lo.</i>
2. Durante a leitura, quais as relações e dificuldades você encontrou ao pensar sobre a natureza do átomo?
<i>Sobre <u>a existência das subpartículas e suas quebras</u>, (como a analogia da quebra da panela), que ficou <u>confuso até para os cientistas</u>.</i>
3. “— [...] não é fácil! Só mesmo com essas técnicas extremamente sofisticadas e com essa quantidade exorbitante de computadores pra eles conseguirem ver essas partículas. Ou então, nem precisa de nada disso. Basta usar a imaginação, como vocês estão fazendo agora olhando para mim. — Eu estou te vendo super bem! – afirmou Argo. — Isaac, você está vendo o Bóson? — Como se fosse real – respondeu Isaac de olhos fechados.”. Quais reflexões você consegue estabelecer a partir desse diálogo entre Isaac e Argo?
<i>Que muitos modelos se baseiam na imaginação e <u>comparações com o real</u> para melhor compreensão.</i>
4. A partir das discussões sobre a leitura, como você compreendeu a relação entre átomo e modelo atômico?
<i>Átomo é a <u>partícula real, existente</u>, porém não conseguimos visualizar; <u>os modelos entram como forma de explicar fenômenos vivenciados</u>.</i>
5. Ao final da leitura, você acha que temos uma explicação correta para a estrutura da matéria? Justifique usando um exemplo do texto.
<i>Não por existir muitas <u>lacunas e perguntas a serem respondidas</u>, como a quebra do átomo.</i>

Fonte: A autora (2023).

Para externalizar seu raciocínio, na pergunta 1, E1 organiza palavras que contornam uma relação entre a realidade concreta e a dimensão icônica de signos na obra. Isso acontece a partir da manipulação da iconicidade diagramática, pelas expressões “assim como o oxigênio” e “da mesma forma é o átomo”, que representam de forma icônico-imagética a construção de significados sobre o átomo a partir de uma experiência ordinária. Essa organização de ideias guia a manipulação das iconicidades lexical e isotópica, considerando que os léxicos “oxigênio”, “átomo”, “imaginá-lo” e “usar um ‘sanar’” se constituem como pistas icônicas da intencionalidade de estabelecer relações de semelhança entre o oxigênio como entidade química real e o átomo, através da perspectiva da obra.

Na pergunta 2, os níveis de iconicidade apareceram de forma semelhante com a anterior. A resposta de E1 se organiza a partir das expressões “a existência

das subpartículas e suas quebras” e “confuso até para os cientistas”, que emolduram a dimensão icônica (iconicidade diagramática) da relação entre a “quebra da panela”, apresentada na obra, e a lógica de fenômenos associados às partículas microscópicas. A partir dessas expressões, os vocábulos “subpartículas”, “quebras” e “analogia da quebra da panela” guiam as relações de semelhança entre as dificuldades que o estudante encontrou na construção de significados sobre partículas atômicas e os questionamentos levantados na obra através da analogia (iconicidades lexical e isotópica).

Na pergunta 3, pelas expressões “modelos se baseiam na imaginação” e “comparações com o real”, E1 interliga relações de semelhança entre o papel da imaginação na narrativa e na ciência (iconicidade diagramática). Isso corrobora para a manipulação dos léxicos “modelos”, “imaginação” e “real”, que funcionam como uma ponte para a representação icônica (iconicidade lexical) da relação entre processos imaginativos e o trabalho científico. Além disso, as palavras “imaginação” e “real” se constituem como recortes isotópicos (iconicidade isotópica) da história. A resposta da pergunta 4 segue uma perspectiva semelhante. As expressões “átomo é a partícula real, existente” e “os modelos entram como forma de explicar fenômenos vivenciados” demonstram iconicamente (diagramática) a intenção de estabelecer uma relação lógica entre átomo e modelo atômico. As palavras “átomo”, “partícula real” e “modelos” apoiam essa intenção ao funcionarem como marcadores linguístico-icônicos (lexical) de como os modelos podem explicar a existência daquilo que existe (o átomo), mas não podemos ver.

A iconicidade textual em *Isaac* foi uma ferramenta na construção de significados sobre o conceito de átomo e modelo atômico. Essa construção é pautada em uma transformação diagramática e imagética (Assis, 2021; Simões, 2009), a partir do enredo. As ideias fundamentadas na história pela intencionalidade com que as palavras são dispostas, desencadeiam a manipulação de imagens mentais icônicas, comunicadas pela manipulação dos níveis de iconicidade. Estes, criam uma rede de relações com a iconicidade de signos que o estudante já dispõe. Por exemplo, E1, nas perguntas 3 e 4, significa o átomo por meio da relação que o modelo e a realidade podem estabelecer, sendo o modelo uma ferramenta que nos possibilita compreender fenômenos reais – tornar o mundo inteligível (Moreira *et al.*, 2021). Destacamos que este processo dinâmico é realizado por meio de trocas que a iconicidade textual estabelece com os interpretantes na mente do estudante e

outros signos icônicos que são criados. Pela natureza deste processo, os interpretantes ou outros signos icônicos estão emaranhados em uma teia subjetiva de significados (Valsiner, 2012, 2014a).

Na última pergunta do questionário, E1 manipula a iconicidade diagramática através da organização da expressão “lacunas e perguntas a serem respondidas”, que se relaciona com as dúvidas levantadas pelos personagens na obra. A expressão “a quebra do átomo” é manipulada por uma influência do contexto da obra, corroborando para que o estudante estabeleça relações de similaridade entre o exemplo da narrativa e os fenômenos a nível atômico, por meio da manipulação das iconicidades lexical e isotópica.

As relações que E1 estabelece entre a manipulação dos níveis de iconicidade para os processos de semiose e a narrativa ficcional são dirigidas por negociações subjetivas e interrelações histórico-culturais (Simões, 2007, 2009), como vimos argumentando. Essas conexões encontram sua gênese no desenvolvimento da imaginação. Para investigarmos como esta função mental se relacionou à construção de significados sobre o conceito de átomo, a partir da relação com o livro, nós realizamos uma entrevista com cada participante. Nossa hipótese foi a de que os elementos fantasiosos na narrativa pudessem proporcionar movimentos imaginativos para a mediação do processo de aprendizagem. O estudo do discurso de E1 nos possibilitou perceber, pela análise da prospecção de significados, que estes são construídos pela retomada de recortes (contextuais, culturais) da obra. Discutiremos esses aspectos em mais detalhes, a partir do modelo do *Gegenstand*.

5.2.1.2 Imaginação: modelo do *Gegenstand*

O *Gegenstand*, como um fenômeno psicológico, se baseia em um objeto inexistente (Valsiner, 2014b). Por ser ativa nos processos de semiose, a pessoa seleciona aspectos do GG, transformando-o em um objeto, para que ele possa ser guiado à engrenagem de significados do seu mundo real. Isso acontece através de um processo de resistência à vontade da pessoa, construindo uma dinâmica com direcionalidades (vetores) de significados, através do processo semiótico de *ver-cómo* (Tateo, 2017b). Nessa perspectiva, questionamos aos estudantes de que maneira eles viram os trechos do livro, considerando a obra como o GG a fim de identificar os possíveis vetores de significação que se relacionariam com o processo de aprendizagem. Fizemos isso por meio de uma pergunta deflagradora (Quadro 8)

que foi feita à parte, antes do início da entrevista. Em E1, identificamos os seguintes vetores de significação: ampliação e adaptação.

Quadro 8 – Pergunta deflagradora feita para E1

PQ	Eu gostaria de saber como foi que você viu os trechos do livro. Por exemplo, você viu como um material didático, um material paradidático? Como uma leitura de ficção, como algo informativo, como uma leitura casual, entende? Então, eu gostaria que você me falasse de que maneira você viu a leitura dos trechos do livro.
E1	<i>Assim... Minha noção, por gostar muito de filmes, de histórias, de livros, quadrinhos, coisas do tipo, eu tenho uma visão um pouco diferente. O livro vai trazer o tanto que você tá interessado em determinados assuntos e curiosidades. Eu acho que o livro é muito didático. Ele traz muitas perspectivas de maneira mais simples de trazer, de fazer. Porém, se não tiver um orientador, feito você fez na aula, dependendo da pessoa, vai ser um mero livro de história, com informação e ficção. Como tem vários outros filmes de história e ficção. Dá um exemplo que tem, vamos dizer, alguns filmes de ficção científica, mesmo que muitos detalhes só quem pega é quem conhece um pouco de ficção. E, às vezes, quando a pessoa conhece, explica, tipo: 'olha, isso aqui tá relacionado a isso'. Se a gente não fizer esse viés, a pessoa [...]: 'beleza, um átomo e tal, coisa outra'. Mas vai levar muito na parte fictícia. Cabe até um mediador de fazer essa parte, tipo: 'olha, ele tá falando de fenômenos, sei lá, químicos, físicos, que acontece no dia a dia, tudo mais'. Mas ele tem uma perspectiva muito construtiva, e... Trazendo ele em um viés mais didático... É... De formação também, ele é um ótimo livro de formação. Foi assim que eu vi ele, pela sua maneira de trazer e pela maneira de você abordar também, ajudou muito, contribuiu muito. Porque senão a gente ia tá: 'ah, beleza, é um átomo e tal'... E ele não ia passar muito disso, não ia refletir sobre isso tanto. E é meio que absorver e formar algumas informações, como a gente faz com algumas outras obras e não tem um pensamento tão crítico. Então, tem o peso mediador também, mas o livro, ele tem... Cumpre várias funções que quem consegue determinar é o mediador, né? Trazer essa parte mais profunda ou não é o mediador.</i>

Fonte: A autora (2023).

E1 enxergou o livro como um material didático, como destacado no Quadro 8. Mas esse potencial só pode existir a partir de um mediador. Para o estudante, essa relação pode tornar o livro contribuinte na formação. Considerando esses aspectos, ao longo da nossa investigação, observamos como formas de resistência, exercidas pela relação com o GG, criaram processos que levaram à emergência de vetores de significação sobre o conceito de átomo. Esses processos se trataram da troca entre o fantástico na obra e a realidade concreta do estudante. Ao investigarmos, com o

auxílio do *software* Voyant, a frequência com que alguns marcadores apareceram na fala de E1, percebemos prospecções (vetores) de significados construídas por processos de ampliação, conforme o estudante significou o átomo a partir de recortes da obra, extrapolando-os ao seu cotidiano; e adaptação, identificada pela incorporação de diálogos e falas dos personagens na significação do átomo.

Fizemos a primeira pergunta da entrevista com E1, a fim de compreendermos melhor como a leitura poderia ter contornado relações e dificuldades sobre a natureza do átomo (Quadro 9):

Quadro 9 – Primeira pergunta da entrevista com E1

PQ	A primeira pergunta é sobre uma resposta que você deu lá no questionário 2. Na pergunta 2, eu te perguntei assim: durante a leitura, quais as relações e dificuldades você encontrou ao pensar sobre a natureza do átomo? E aí você respondeu: "sobre a existência das subpartículas e suas quebras, como a analogia da quebra da panela, que ficou confuso até para os cientistas". E aí eu queria que você me falasse um pouco mais a respeito.
E1	<i>Sim. Éééé... Quando a gente tem essa analogia, que é até pouco significativa da parte científica, é que... Quando ele fez essa analogia, é como se fosse uma quebra de panela se transformando em 3 coisas diferentes. Tipo, ele dá o exemplo de um gato, um vidro e outra coisa assim do tipo. Então essas partes subatômicas é complexa até pros cientistas, como ele até fala no texto, porque elas dão materiais diferentes, não padrões. Porque normalmente quando a gente trabalha utilizando a química em si ou o estudo científico em si, a gente analisa padrões específicos. Então, beleza, a gente só quer, vamos dizer assim, um átomo... Quando a gente choca um átomo com outro átomo, é... Um hidrogênio com outro hidrogênio, vai formar um hélio. Tipo, não vai formar um lítio, um oxigênio. Não vai ter uma variação. É sempre algo meio que assim padrão, né? Não pode formar outra coisa. E já nas subpartículas, uma coisa às vezes não dá outra, e dá uma coisa totalmente diferente. E assim a analogia da panela foi boa pra mostrar que essa dualidade é bem complexa e que até os cientistas não conseguem entender esses padrões, mesmo assim ainda fica complexo. Especificamente, se você colocar uma pessoa que está começando agora a estudar um pouco de ciência, de química, você coloca uma analogia assim, tipo, assim: 'ah, como assim uma coisa vai dar totalmente diferente?'. Então eu acho que essa parte, eu mesmo, em uma aula, não abordaria tanto essa parte, porque eu acharia que ficaria muito complexo. Mas na parte do modelo atômico ficou muito bom.</i>

Fonte: A autora (2023).

Na próxima pergunta da entrevista (Quadro 10), o marcador predominante foi reflexão (3). Dessa vez, a leitura impulsionou a construção de significados através dos vetores de ampliação e adaptação (Figura 17).

Quadro 10 – Segunda pergunta da entrevista com E1

PQ	Entendi. Daí, teve uma coisa também que eu achei interessante, comparando com duas respostas que você deu. Lá no questionário 1, na pergunta 2, dizia assim: O que você pensa quando discute sobre modelos atômicos? Aí você respondeu: "os principais constituintes da matéria". No questionário 2, na pergunta 4, eu perguntei assim: a partir das discussões sobre a leitura, como você compreendeu a relação entre átomo e modelo atômico? E aí você respondeu: "átomo é a partícula real, existente, porém não conseguimos visualizar. Os modelos entram como forma de explicar fenômenos vivenciados". E aí eu queria saber o que foi que mudou pra você nessas duas respostas.
E1	<i>O que mudou mais foi as discussões que a gente teve na própria sala de aula mesmo. Porque a gente acaba tendo muito essa parte de conhecimento e não reflexão. Então eu achei muito importante também de trazer essa parte na aula de um pouco de reflexão, e até pela visão de Isaac, e até a visão de algumas perguntas que a gente fez que trouxe essa percepção, tipo: 'não, mas isso aqui é relacionado a quê? E pra quê cada coisa funciona?' Então aí veio o estalo maior de mudança, né? Tipo, ah não, o átomo sabe que tá ali, mas que a gente principalmente não consegue ver a olho nu, não consegue às vezes distinguir alguns padrões. Tipo, o elétron mesmo, as nuvens eletrônicas que a gente não consegue determinar, então fica bem mais complexo. Mas os modelos vêm muito pra trazer essas explicações pra gente ter esse conhecimento. E era uma coisa que tava tão explícito na nossa frente, mas a gente não percebe até fazer essa reflexão.</i>

Fonte: A autora (2023).

Figura 17 – Nuvem de palavras referente aos vetores de ampliação e adaptação na fala de

E1



Fonte: Voyant Tools (2023).

Os significados emergentes na fala do estudante partem da perspectiva de refletir sobre o conhecimento apresentado em sala de aula. Nesse sentido, as indagações que o personagem Isaac faz ao longo da sua viagem imaginativa acabam impulsionando E1 a ampliar significados sobre os modelos atômicos, estes como ferramentas para tornar a realidade inteligível e construir conhecimento acerca dela. O papel da obra na prospecção de significados também se relaciona a uma adaptação que o estudante faz da visão de Isaac. Isso ocorre pela incorporação da perspectiva do personagem, como, por exemplo, mover-se através de diversos porquês diante das questões da estrutura da matéria.

Na terceira pergunta (Quadro 11), buscamos compreender se a relação com a leitura poderia ter provocado alguma mudança na forma de compreender o átomo.

Quadro 11 – Terceira pergunta da entrevista com E1

PQ	O livro provocou alguma mudança na sua forma de entender o átomo?
E1	<i>Provocou algumas. É... A parte da interação e do... O que seria essa parte mesmo do modelo, de consentimento, de pensamento mesmo em si crítico de como reage numa reação. Porque a gente é muito mecânico, então a gente pega uma coisa e vai trabalhando... Isso, isso e isso, e a gente nunca para pra refletir: não, por que isso acontece? A gente é muito decora, usa na prática, como funciona, como é comportamento e tá bom. Quando a gente começa a refletir sobre determinadas coisas é que muda mais um pouco.</i>

Fonte: A autora (2023).

A predominância do marcador refletir (2) (Figura 18) nos possibilitou observar como, mais uma vez, a obra impulsionou uma ressignificação sobre os modelos através do vetor de ampliação.

Figura 18 – Nuvem de palavras referentes ao vetor ampliação na fala de E1



Fonte: Voyant Tools (2023).

O estudante amplia significados sobre os modelos atômicos – associando-os à ocorrência de uma reação –, considerando que eles devem estar sob uma perspectiva crítica; pensar o modelo não como algo apenas a ser aplicado, mas sobretudo como uma ferramenta que nos ajude a pensar por que determinadas coisas acontecem. Isso nos possibilita estabelecer relações com a problemática em torno de um realismo ingênuo que os modelos podem desencadear na educação científica (Moreira *et al.*, 2021). Diante disso, percebemos que o modelo é significado pelo estudante a partir de relações que essa ferramenta pode estabelecer com a realidade. Essas relações, quando exploradas em sala de aula, podem ser potenciais para compreender aspectos acerca da natureza da ciência, e assim contribuir na aprendizagem.

Ao analisarmos a resposta da quarta pergunta (Quadro 12), os marcadores visão (3) e modelo (3) (Figura 19) demonstraram como o estudante passou a imaginar o átomo, a partir dos vetores de ampliação e adaptação.

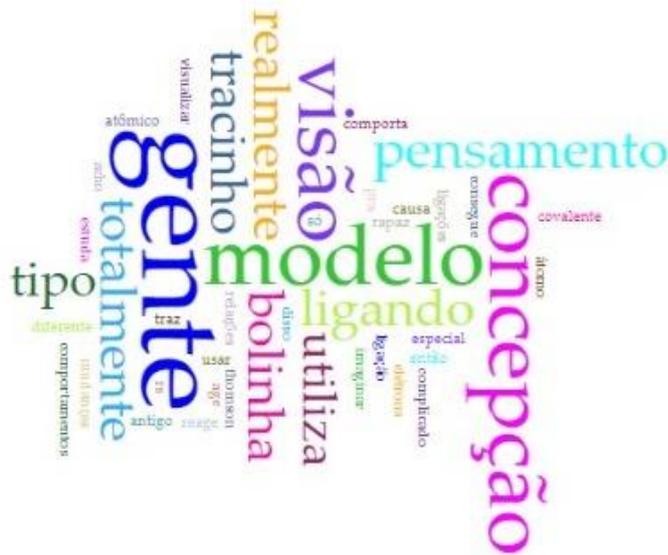
Quadro 12 – Quarta pergunta da entrevista com E1

PQ	Agora, como você imagina o átomo?
----	-----------------------------------

E1	<i>Rapaz... (rs), porque imaginar o átomo é complicado, porque... Ele traz uma concepção totalmente assim diferente, e a gente não consegue visualizar muito bem. Eu tenho uma concepção mais de pensamento hoje em dia do que de visão. Então o pensamento de como ele é mais ou menos, reage, como ele mais ou menos se comporta. Não realmente uma visão do que ele é. Porque até por causa das mudanças de modelo atômico e tudo mais e das relações que a gente faz pra usar ela em cada momento especial. Tipo, um exemplo disso é quando a gente estuda ligação covalente, ligações, que a gente utiliza muito o modelo de Thomson, que é só a bolinha e o tracinho ligando, tipo bolinha ali e um tracinho ligando, que é os elétrons. É um modelo totalmente antigo e tudo mais, mas a gente utiliza. Acho que vai mais na concepção de como ele age e seus comportamentos, hoje em dia, não uma visão do que ele é realmente.</i>
-----------	---

Fonte: A autora (2023).

Figura 19 – Nuvem de palavras referentes aos vetores de ampliação e adaptação na fala de E1

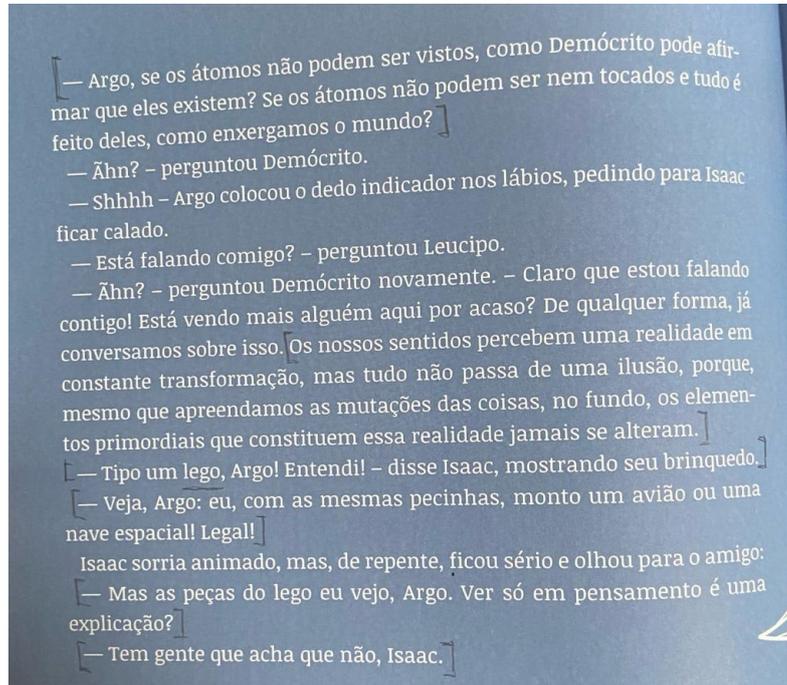


Fonte: Voyant Tools (2023).

Os marcadores evidenciados na fala de E1 ilustram a influência que a obra exerceu quando o estudante tentou imaginar o átomo. E1 amplia significados sobre o átomo, elaborando que este não pode ser ligado a uma visão única. Não há uma visão exata associada ao átomo, e os modelos corroboram com essa ideia, considerando as mudanças que estes sofreram ao longo do tempo. Há uma adaptação de significados, conforme o estudante se apropria da perspectiva de que o pensamento é uma forma de enxergar a realidade. Essa é uma perspectiva

presente no enredo da obra (Figura 20), à medida que Takimoto (2018) insere a história da ciência como um cenário que instiga a dúvida e a curiosidade dos personagens.

Figura 20 – Cenário em que Isaac e Argo estão passando pela Grécia Antiga



Fonte: Takimoto (2018, p. 20).

A interface Ciência-Arte constrói uma atmosfera em que a pessoa transita entre fantasias e mundo real, sob uma perspectiva crítica deste. Para Patriarcha-Gracioli (2021), a arte possibilita que as crianças descubram o mundo ao se identificar com as histórias e os personagens. Argumentamos que isso permanece acontecendo na fase adulta, pois as simbologias por trás das letras e palavras criam um cenário em que a pessoa (re)descobre e (re)significa as suas vivências no mundo sob uma ótica da narrativa ficcional. Embora não esteja explícito em Takimoto (2018) discussões sobre a natureza da ciência, percebemos na fala do estudante elementos que nos dão indícios sobre como a ideia de modelo se entrelaçou a necessidade de pensar as suas implicações na construção do conhecimento científico.

Na última pergunta da entrevista com E1 (Quadro 13), buscamos compreender como o estudante, enquanto futuro docente, poderia prospectar significados, a partir da relação com o livro.

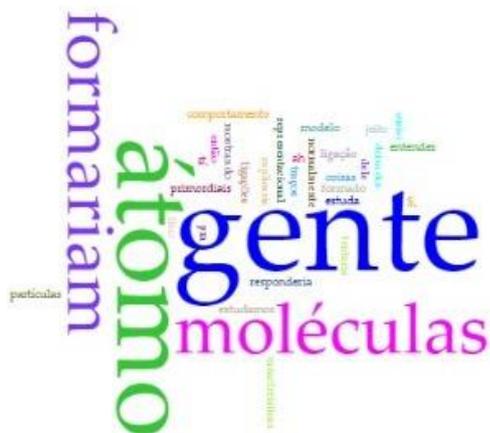
Quadro 13 – Última pergunta da entrevista com E1

PQ	E se você fosse professor, hoje, no ensino fundamental, e um aluno chegasse para você e perguntasse: professor, o que é o átomo? O que você responderia pra ele?
E1	<i>Eu responderia que o átomo é as partículas primordiais onde tudo é formado. É... Onde... Cada um tem suas características e seus traços de onde são deixados, e por meio das ligações formariam moléculas e das moléculas formariam as coisas que a gente vê. E a gente estuda o que normalmente estudamos sobre o átomo pra gente entender o comportamento dele, e não a visão. Então eu explicaria que aquele modelo que a gente tá mostrando é representacional e não fixo. Não é uma coisa que, ah... O átomo é desse jeito. Tentaria fazer essa ligação.</i>

Fonte: A autora (2023).

Ao analisarmos a resposta dada pelo estudante, identificamos a predominância dos marcadores átomo (3) e moléculas (2) (Figura 21). Eles indicaram os processos de significação a partir dos vetores de ampliação e adaptação.

Figura 21 – Nuvem de palavras referente aos vetores de ampliação e adaptação na fala de E1



Fonte: Voyant Tools (2023).

Em relação aos marcadores identificados, o estudante apresenta elementos em sua fala que estão imbricados à narrativa ficcional. Nesse sentido, a obra contribuiu para uma ampliação de significados sobre a relação entre átomo e modelo

atômico, sendo este uma ferramenta representacional, e não uma cópia da realidade. A isso, o estudante, mais uma vez, associa a ideia de visão, apresentada na pergunta anterior. O termo “traços” pode ter se associado ao termo “rastros” na obra (Figura 22), e nos dá indícios de como o estudante pode ter adaptado um cenário da história ao seu processo de significação sobre o átomo em uma realidade concreta. Nesse âmbito, a obra acaba se constituindo como um material didático na perspectiva profissional do estudante, que, como apresentamos na pergunta deflagrada, não viu o livro apenas como uma história, mas um meio para contribuir na formação.

Figura 22 – Argo e Isaac conversam com o Bóson de Higgs sobre as partículas elementares

— ãhn!? – Argo e Isaac protestaram em uníssono.
 — Eu já sei o que vocês vão me perguntar. Vocês agora querem saber como descobrimos que as partículas elementares existem se ninguém nunca as viu, certo? Muito simples. Respondam a essa pergunta: como as pessoas sabem que entrou um rato em uma casa mesmo sem tê-lo visto?
 — Bom... Acho que ele deve deixar rastro, né? Tipo farelos, sujeiras...
 — Justamente! Os cientistas sabem que as partículas existem porque detectam os seus rastros! Daí os enooooooooormes detectores que existem aqui! Eles registram uma quantidade enooooooooorme de rastros deixados pelas partículas, que surgem de uma colisão entre os prótons ou entre os elétrons, por exemplo.
 — Nossa! Quanta coisa pra aprender, né, Argo? Quanta coisa pra assimilar... – maravilhou-se Isaac enquanto cutucava o pequeno amigo.
 — Mas, Bóson, tenho mais uma pergunta. Como da combinação dessas coisas que nunca ninguém viu surge tudo o que vemos?
 — Agora vocês vão entender porque vivo fugindo tanto...

Fonte: Takimoto (2018, p. 45).

Para o estudante, o livro, como um material didático, que pode contribuir para a formação, tornou-se um objeto significativo através de processos imaginativos (Tateo, 2017b). Esses processos são abastecidos por relações culturais e contextuais (Valsiner, 2014a): os novos significados emergentes baseiam-se nas próprias expectativas da pessoa, que diz respeito a um conjunto de significados pertencentes à cultura (pessoal e coletiva); o contexto coloca o objeto sobre um prisma de negociações, que o torne significativo naquele ambiente. Conforme o livro (GG) resiste à ação da pessoa, ela seleciona aspectos do objeto para que este se enquadre dentro do seu ato de vontade. Em relação a isso, destacamos a interface Literatura-Ciência, nesta pesquisa, que, com suas metáforas e analogias por entre elementos ficcionais, possibilita formas de pensar o conteúdo (Piassi, 2015). Um

grão de areia e uma partícula falarem com um garoto, no *Mundo das Partículas*, é algo impossível. Mas as dúvidas e ocorrências em volta desses personagens são uma ponte através da qual o estudante pôde pensar processos e fenômenos de um mundo que, embora esteja sob uma ótica da fantasia, ele é real.

5.2.2 E2 – Ampliando, adaptando e significando de forma afetiva

5.2.2.1 Manipulação dos níveis de iconicidade

Durante a discussão sobre o trecho envolvendo um diálogo entre Isaac e Argo, o grão de areia, E2 manipulou níveis de iconicidade (diagramática, lexical e isotópica) para comunicar novas funções icônicas a partir das que estão na obra (Quadro 14).

Quadro 14 – Resposta de E2 durante a discussão sobre o diálogo entre Isaac e Argo

PQ	Argo e Isaac estão em um diálogo: “Mas me diga, Argo, há algo menor do que você neste universo? – Claro que sim, Isaac! Eu mesmo sou constituído de milhões dessas menores partes! – E nós conseguimos vê-las? – indagou Isaac. – Depende do que você chama de ‘ver’ – retrucou Argo. [...]” (Takimoto, 2018, p. 15). O que vocês pensaram a respeito?
E2	<i>Quando ele fala que depende muito do que se ver, <u>eu acho que vai muito mais além do que realmente se ver</u>. Porque ele tava vendo aquela partícula e a princípio ali... Ele não sabia na verdade se aquilo ali poderia realmente ser um todo, está só a menor parte, ou <u>se ele partisse ela ao meio</u> ela poderia se dividir em mais duas e depois em mais duas... Ele não sabia, ele tinha indagações e ele não sabia a respeito. Mesmo se ele partisse o grãozinho de areia ia chegar uma hora que ele não ia conseguir mais ver. <u>Mas será que aquilo que ele não conseguia mais ver era o átomo ou ainda era algo menor?</u>...</i>

Fonte: A autora (2023).

As palavras e expressões organizadas por E2 contornam a imagem icônica do seu discurso sobre a estrutura mínima de um grão de areia (um átomo). Ao manipular a iconicidade diagramática, pelas expressões “eu acho que vai muito mais além do que realmente se ver”, “se ele partisse ela ao meio” e “mas será que aquilo que ele não conseguia mais ver era o átomo ou ainda era algo menor”, a estudante representa uma relação de semelhança entre a cena da obra e o que ela está imaginando. A partir disso, ela manipula a iconicidade lexical, através do conjunto de

léxicos “partícula”, “um todo”, “a menor parte”, “partisse ela ao meio”, “dividir em mais duas”, “depois em mais duas” e “grãozinho de areia”, que funcionam como marcadores linguístico-icônicos das indagações entorno da estrutura do átomo. A manipulação da iconicidade isotópica se dá pela expressão “grãozinho de areia”, que demonstra a intenção de conduzir o tema abordado, a partir da história - em referência ao personagem Argo.

No segundo momento da discussão, E2 estabeleceu relações de semelhança entre a analogia do copo na obra e o que acontece dentro do acelerador de partículas (Quadro 15), lugar por onde Argo e Isaac passam.

Quadro 15 – Resposta de E2 ao iniciarmos o segundo momento da discussão

PQ	Lá na página 47, tem um trecho que diz assim: “[...] basta que um copo seja minúsculo para modificarmos as propriedades dele.” (Takimoto, 2018, p. 47). Como vocês relacionariam esse trecho com o átomo?
E2	<i>Na verdade, a partir do entendimento de quando a gente vai lendo, fica complicado pra gente conseguir relacionar, porque <u>eu acho que ele vai tratando de comparações...</u> E quando ele fala que basta que um copo seja minúsculo para modificarmos as propriedades dele... E se esse copo for maior, por que não conseguir modificá-las? <u>Aí é que vem a associação do átomo.</u> Eu imagino que tá nessa parte, quando ele fala exatamente a palavra "minúsculo". Se ele for muito pequeno pra modificar realmente as propriedades dele. E aí eu acho que parte desse princípio, <u>que aí vem toda aquela questão do local onde tava...</u> Pra medir as colisões e identificar quais são as outras partículas. Isso! O acelerador de partículas! Definir quais são as outras partículas que existem a partir do átomo.</i>

Fonte: A autora (2023).

A estudante se apoia na iconicidade dos complexos de signos da obra para comunicar as imagens mentais icônicas relacionadas ao átomo e ao seu universo microscópico. As expressões “eu acho que ele vai tratando de comparações”, “aí é que vem a associação do átomo” e “que aí vem toda aquela questão do local onde tava” guiam uma relação icônico-imagética (iconicidade diagramática) entre o universo figurado na obra e a construção de significados sobre o conceito de átomo. Conforme E2 apresenta vocábulos como “um copo seja minúsculo”, “se esse copo for maior”, “átomo”, ‘minúsculo’, “colisões” e “outras partículas” em seu discurso, observamos relações de similaridade sendo manipuladas (lexical) para construir significados acerca da estrutura atômica e suas implicações na investigação de

fenômenos microscópicos. O “acelerador de partículas” demonstra a tentativa de ancorar a temática discutida (isotópica) a partir do contexto da obra.

Nos últimos minutos da discussão, questionamos sobre a relação entre a experiência com a leitura e o debate sobre o átomo na HdQ. Para E2, esses dois momentos se relacionaram sob uma perspectiva de que a trajetória dos personagens se entrelaça com a própria história do átomo (Quadro 16).

Quadro 16 – Resposta de E2 nos últimos minutos da discussão

PQ	Para vocês, como a experiência com a leitura se relaciona com as discussões que nós fizemos sobre o átomo na História da Química?
E2	<i>Essa questão de que tem muitas coisas aqui que a gente pode já ter ouvido e pode já ter visto em algum outro local, só que <u>quando a gente começa a ler, tudo faz sentido</u>, vai se encaixando. E trazendo um pouco da ficção, da literatura, que <u>um grão de areia falar, o Bóson tá ali interagindo</u>, mas ele tá explicando <u>a história por qual tá se passando</u>. Então fica muito mais claro da gente entender. Essa questão quando vai pra parte mais dividida do átomo, que são as partículas, faz a gente pensar realmente que vem pros modelos atômicos atuais, que é o que a gente tem de estudo mais sofisticado, e isso tá dentro da história da química.</i>

Fonte: A autora (2023).

E2, ao organizar as expressões “quando a gente começa a ler, tudo faz sentido”, “um grão de areia falar, o Bóson tá ali interagindo” e “a história por qual tá se passando”, constrói uma imagem do seu raciocínio (iconicidade diagramática). Os léxicos “grão de areia”, “Bóson”, “história”, “partículas”, “modelos atômicos atuais” e “história da química” corroboram com essa imagem. Isso acontece devido às relações de semelhança entre a trajetória do grão de areia e o Bóson no *Mundo das Partículas* e o conhecimento construído ao longo da HdQ, até chegarmos aos modelos atômicos atuais (iconicidade lexical). As palavras “grão de areia”, “Bóson” e “história” são funções icônicas dos signos na narrativa de *Isaac*, funcionando como uma trilha da temática discutida (iconicidade isotópica).

Nossas análises, sob uma ótica da Teoria da Iconicidade Verbal, constroem possibilidades para descrever e entender o signo verbal na expressão do pensamento (Simões, 2009). Reforçamos que a iconicidade dos signos materializados na fala e escrita não são cópias do pensamento. Segundo a PCS, a aprendizagem é um processo de construção de significados, mediado por signos.

Dessa forma, uma das nossas contribuições aponta que o que é externalizado pelos estudantes é um material modificado por processos de análise e síntese de materiais semióticos já internalizados. Esses processos criam novos ciclos de internalização e externalização, que desenvolvem a emergência de novos signos e significados (Valsiner, 2012). Consideramos a iconicidade (imagens mentais) dos signos na obra como potenciais ferramentas retomadas na aprendizagem, a partir das relações de semelhança nos signos que remetem a outros signos (Simões, 2007, 2009). Ao serem manipulados nos níveis de iconicidade nos discursos dos estudantes, a iconicidade é mediadora desse processo, e assim pode propiciar a elaboração de novos signos e significados.

No segundo questionário de E2, a manipulação dos níveis de iconicidade na escrita também aconteceu por relações de verossimilhança entre imagens retomadas da narrativa ficcional e o átomo na HdQ (Quadro 17).

Quadro 17 – Perguntas em que observamos os níveis de iconicidade na escrita de E2

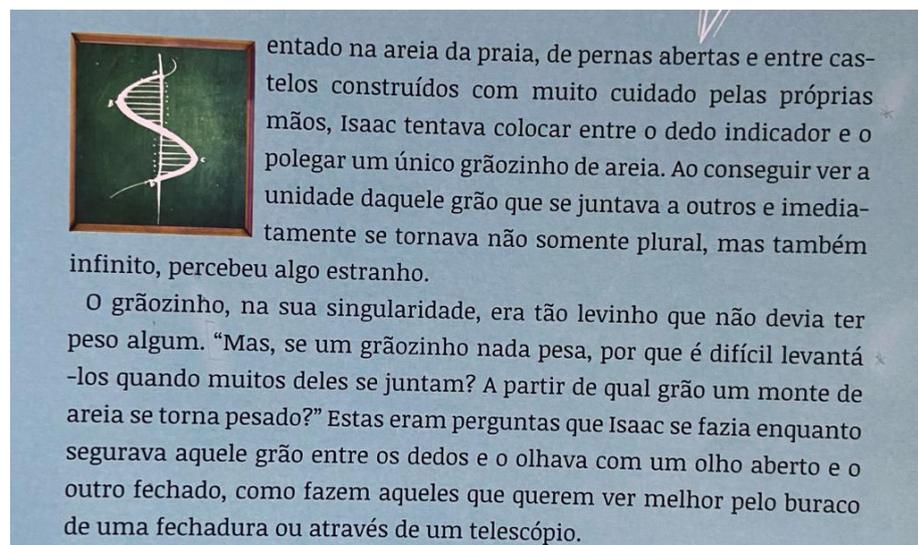
<p>1. “Argo, se os átomos não podem ser vistos, como Demócrito pode afirmar que eles existem? Se os átomos não podem ser nem tocados e tudo é feito deles, como enxergamos o mundo?”. Qual a sua opinião sobre esta citação?</p>
<p><i>Demócrito afirmava a <u>existência do átomo</u> pelo que ele acreditava ser a <u>menor partícula que ele poderia ver</u>, e com o desenvolvimento da ciência passamos a entender sua dimensão e ainda sim compreender que <u>tudo ao nosso redor está repleto por milhares de átomos</u>.</i></p>
<p>2. Durante a leitura, quais as relações e dificuldades você encontrou ao pensar sobre a natureza do átomo?</p>
<p><i>O entendimento sobre o <u>átomo</u> se baseia em entender que <u>hoje existem partículas ainda menores</u> mas também o mesmo continua existindo.</i></p>
<p>3. “— [...] não é fácil! Só mesmo com essas técnicas extremamente sofisticadas e com essa quantidade exorbitante de computadores pra eles conseguirem ver essas partículas. Ou então, nem precisa de nada disso. Basta usar a imaginação, como vocês estão fazendo agora olhando para mim. — Eu estou te vendo super bem! – afirmou Argo. — Isaac, você está vendo o Bóson? — Como se fosse real – respondeu Isaac de olhos fechados.”. Quais reflexões você consegue estabelecer a partir desse diálogo entre Isaac e Argo?</p>
<p><i>As <u>partículas são extremamente pequenas</u> e com isso eles <u>usam a imaginação para conseguir visualizar</u> o que poderia vir a ser a <u>representação</u> destas <u>partículas</u>.</i></p>
<p>4. Ao final da leitura, você acha que temos uma explicação correta para a estrutura da matéria? Justifique usando um exemplo do texto.</p>

*Sim, pode surgir uma nova teoria a qualquer momento mas até então temos a representação das partículas por imagens extraídas dos computadores tão imensos que são mencionados no texto. A **estrutura das partículas dos átomos** são mencionadas como **quarks e leptons**.*

Fonte: A autora (2023).

Na pergunta 1, E2 parece se apoiar na imagem através da qual Takimoto (2018) começa a sua história: o garoto Isaac, sentado na areia da praia, tentando colocar em suas mãos um único grão de areia (Figura 23). Ao manipular a iconicidade diagramática, pelas expressões “existência do átomo”, “menor partícula que ele poderia ver” e “tudo ao nosso redor está repleto por milhares de átomos”, a estudante representa relações de semelhança entre o que é apresentado na obra e os primórdios do desenvolvimento da ciência – as indagações dos filósofos gregos. A iconicidade lexical é manipulada pelos léxicos “átomo”, “menor partícula”, “ver”, “nosso redor” e “milhares de átomos” como uma tentativa de se aproximar de uma representação icônica do átomo no mundo concreto macroscópico. A manipulação da iconicidade isotópica está nas palavras “ver” e “nosso redor”, que se ligam à nossa experiência com o mundo, contribuindo para ancorar a temática abordada.

Figura 23 – Isaac tentando colocar entre seus dedos um grão de areia da praia



Fonte: Takimoto (2018, p. 7).

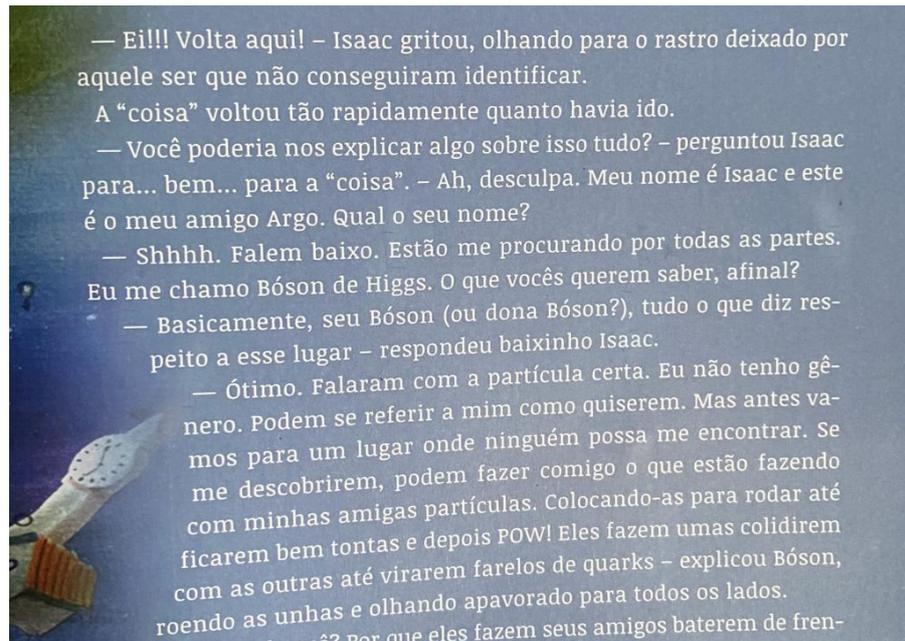
As expressões “entendimento sobre o átomo” e “hoje existem partículas ainda menores”, na pergunta 2, guiam uma demonstração icônica (iconicidade diagramática) da perspectiva da obra: pensar o átomo a partir da possibilidade de

existir algo ainda menor que ele. A escolha das palavras “átomo” e “partículas ainda menores” estabelecem relações de similaridade (lexical) entre os átomos e as partículas elementares que compõem a estrutura da matéria. Essas palavras também demonstram a intenção de conduzir a temática abordada a partir das ideias do livro (isotópica).

Na pergunta 3, a iconicidade diagramática é manipulada através das expressões “as partículas são extremamente pequenas”, “usam a imaginação para conseguir visualizar” e “a representação destas partículas”, à medida que se cria uma representação icônico-imagética da importância da imaginação no âmbito de investigar um mundo que escapa de nossa experiência imediata. O conjunto de léxicos “partículas”, “extremamente pequenas”, “imaginação”, “visualizar” e “representação” constituem uma manipulação das iconicidades lexical e isotópica, ao estabelecerem similaridades com a relação entre ciência e trabalho humano, abordada sob a perspectiva da narrativa ficcional.

Na última pergunta, a seleção de léxicos, a partir da iconicidade nos complexos de signos da obra, constituiu a comunicação sobre a natureza do conhecimento científico. Os vocábulos “pode surgir uma nova teoria a qualquer momento” e “temos a representação das partículas por imagens extraídas dos computadores tão imensos” organizam a expressão do raciocínio de E2 (iconicidade diagramática), a partir das relações icônicas entre um cenário em que os personagens estão dentro de um acelerador de partículas (Figura 24) e a construção do conhecimento científico. Ao expressar “nova teoria”, “representação das partículas”, “estrutura das partículas dos átomos” e “quarks e leptons”, E2 manipula léxicos da obra (iconicidade lexical e isotópica) que representam relações de semelhança com o que possuímos de mais sofisticado para interpretar a estrutura da matéria: o Modelo Padrão das partículas elementares. Este é apresentado como parte do *Mundo das Partículas*, lugar onde as ideias mais abstratas são discutidas sob a perspectiva de um grão de areia falante e da imaginação de um garoto.

Figura 24 – Argo e Isaac encontram a partículas Bóson de Higgs dentro de um acelerador de partículas



Fonte: Takimoto (2018, p. 39).

As trilhas de iconicidade nos discursos da estudante, geradas pela interação sujeito-texto, emergem das interpretações que a pessoa faz. A iconicidade dos complexos de signos, atualizada nos contextos frasais da obra, passa por um sistema singular de significação (Simões, 2007). Em outras palavras, por meio de aspectos da subjetividade, E2 construiu significados que são atribuídos às funções icônicas imaginadas do átomo na HdQ. Em destaque, ao analisarmos os significados que emergiram da relação de E2 com o livro, segundo o modelo do GG, percebemos um papel importante dos aspectos afetivos, cujos foram elaborados a partir de características da narrativa fantasiosa de *Isaac no Mundo das Partículas*.

5.2.2.2 Imaginação: modelo do *Gegenstand*

Na pergunta deflagradora com E2, observamos que a estudante viu o livro como um material paradidático, que pode proporcionar uma aprendizagem interativa e criativa, a partir do trabalho dos professores em sala de aula (Quadro 18). De forma geral, identificamos os seguintes vetores de significação: ampliação, adaptação e afetividade. No caso de E2, o vetor afetividade foi identificado por processos baseados na retomada de experiências afetivas da estudante, que estabeleceram relações de significação com o átomo na ótica da narrativa fantástica.

PQ	Eu gostaria de saber como foi que você viu os trechos do livro. Por exemplo, você viu como um material didático, um material paradidático? Como uma leitura de ficção, como algo informativo, como uma leitura casual, entende? Então, eu gostaria que você me falasse de que maneira você viu a leitura dos trechos do livro.
E2	<i>Eu consigo ver o livro como um paradidático que, inclusive, está bem em falta nas escolas. Em uma análise feita nas escolas durante os estágios, foi observado que não há presença de paradidáticos, e isso pode ser mudado pelos professores levando material como o livro "Isaac no mundo das partículas" para desenvolver, a partir dele, o conteúdo para uma aula diferente, e tendo a oportunidade de estudá-lo de diversas formas diferentes e ainda sim obter uma aprendizagem criativa e interativa.</i>

Fonte: A autora (2023).

Na primeira pergunta da entrevista com E2, em que observamos que houve menção a conceitos abordados no livro, buscamos sondar aspectos sobre como a experiência com a leitura havia proporcionado a construção de significados sobre o átomo na HdQ (Quadro 19).

Quadro 19 – Primeira pergunta da entrevista com E2

PQ	Lá no momento de discussão, teve uma hora que eu questionei sobre como a experiência com a leitura, ela havia se relacionado com as discussões que a gente tinha feito lá sobre o átomo na História da Química. Teve uma parte da sua resposta que você disse assim: "Quando a gente começa a ler, tudo faz sentido, vai se encaixando e trazendo um pouco da ficção, da literatura... Que um grão de areia falar, o Bóson tá ali interagindo, mas ele tá explicando a história por qual tá se passando. Fica muito mais claro da gente entender". Eu queria que você me falasse um pouco mais sobre como foi isso pra você.
-----------	--

E2	<p><i>Eu acho que desde criança vem essa questão de falar com objetos que são inanimados. Realmente. Acho que porque eu fui filha única e tal, então minha companhia realmente eram meus brinquedos, e eu gostava muito de penas de galinha. Então, como eu fui criada no sítio, tem eu acho que uma certa relação. E era realmente um objeto que eu dava vida a ele, e que eu conversava, falava, dava nomes. E imagina só se um dia esse objeto virasse pra mim e começasse a falar como era realmente a existência dele? E de tantas outras coisas... Objetos de barro ou até brinquedos mesmo de pelúcia ou bonecas. Mas quando se vai tratar realmente de natureza, quando tem um grão de areia falando ali de onde vem suas propriedades, a questão de como é feito, eu acho que mexe muito com o emocional e vai muito nas lembranças que a gente já tinha. E quando você vai ler uma coisa assim, eu acho que tem um toque mais sensível nessa parte. Então, assim, é uma literatura infantil, então ela tá tratando como um questionamento infantil, mas que tem uma certa relevância em relação justamente à ciência. Que a parte que a gente estuda, que... É uma coisa que meu marido fala sempre: se você explica um assunto e uma criança de 10 anos entende, qualquer adulto entenderia. Então eu acho que é muito válido essa questão de trazer a ficção pra dentro, pra explicar como é esse mundo que a gente não consegue enxergar realmente, 100%.</i></p>
-----------	--

Fonte: A autora (2023).

Observamos a predominância dos marcadores “realmente” (6) e “acho” (6) na fala de E2 (Figura 25). A partir destes, inferimos a emergência dos vetores de ampliação e afetividade para significar o conceito de átomo. O “acho” aparenta se configurar como um marcador de prospecção. Sempre que E2 fala “acho” é em relação a uma hipótese que ela imagina. Isso marca o movimento imaginativo, permitindo uma reflexão que amplie os significados. A relação que ela fez com objetos inanimados falando (“e se...”) também é um movimento imaginativo que, aqui, pode carregar um valor afetivo. A palavra “realmente” também chama a atenção na fala dela. Aparentemente também carrega uma carga afetiva, pois é remetendo a algo desse passado dela (suas experiências de infância).

Figura 25 – Nuvem de palavras referente aos vetores de ampliação e afetivação na fala de E2



Fonte: Voyant Tools (2023).

Tais movimentos imaginativos podem estar associados à característica que ela atribui ao livro, admitindo-o como uma literatura infantil, se configurando como GG (como ela significa o livro e sua narrativa).

Na fala de E2 o átomo é associado às questões da natureza da ciência e aos valores (sentimentos) da estudante, aflorados por elementos da narrativa quando, por exemplo, ela afirma que um grão de areia falar sobre a sua existência aflora questões emocionais, possibilitando que a pessoa revise suas lembranças da infância. Dessa forma, E2 amplia significados sobre a natureza da ciência a partir das imagens icônicas atribuídas ao grão de areia e do estranhamento/maravilhamento associado à ideia desse grão poder falar (atributo associado à narrativa do livro). Além disso, a prospecção de significados se associa à afetividade que a estudante faz da ideia de um objeto inanimado falar (o grão de areia) com experiências da sua infância (e se objetos de barro, brinquedos de pelúcia ou bonecas pudessem falar sobre a sua existência?). Tais processos alimentam as prospecções de significados conforme movimentos imaginativos são construídos através de reflexões que E2 estabelece ao interagir com a obra.

Segundo a tese central da PCS, nós construímos significados, mediados por signos, a partir de um relacionamento afetivo que estabelecemos com o mundo (Valsiner, 2012). Nesse sentido, ao interagir com a obra, os aspectos que são selecionados para os significados a serem prospectados passam por materiais semióticos (de valor e afetivamente conotados) do âmbito intrapsicológico da pessoa. Ao considerarmos características da literatura fantástica, compreendemos

que estas podem colaborar para a identificação da estudante com a narrativa. O *Mundo das Partículas* descrito no livro não é referente apenas às partículas atômicas e seus respectivos fenômenos, mas é constituído por metáforas e analogias que permitem movimentos imaginativos de forma a compreender características por trás de um mundo não tangível. Nesse sentido, concordamos com Ramos e Piassi (2017), que declaram que o fantástico cria possibilidades educacionais. Isso acontece conforme E2 retoma suas experiências de infância, exprimindo aspectos afetivos que acabam guiando-a no processo de significação, para exemplificar como um grão de areia falar traz à tona uma sensibilidade que pode aproximar os conteúdos da ciência. Essa mobilização afetiva, referente ao passado, diz respeito a como E2 significa o livro, como literatura infantil, abrindo possibilidades imaginativas de, por exemplo, criar diálogos com seres inanimados.

Na pergunta seguinte da entrevista (Quadro 20), os marcadores prevalentes no discurso de E2 foram partículas (5) e acelerador (4) (Figura 26). Eles se relacionaram aos vetores de ampliação e afetividade, à medida que a forma com que a obra foi vista impulsionou a imaginação do que acontece em um acelerador de partículas ao se relacionar com a retomada de uma memória afetiva.

Quadro 20 – Segunda pergunta da entrevista com E2

PQ	O livro provocou alguma mudança na sua forma de entender o átomo?
E2	<i>Eu acredito que sim, porque eu não tinha tanto conhecimento acerca do acelerador de partículas. Eu já tinha visto um acelerador de partículas uma vez numa série, The Flash, que aí ele voltava no tempo, e ele tinha que usar um acelerador de partículas pra fazer o movimento. Mas aí até então ter essa relação com o átomo, eu não sabia. E realmente o livro ele vem explicando... Ele não explica diretamente, não vai diretamente nessa parte. Ele traz outras curiosidades que são abordadas antes de Isaac realmente chegar num ponto do Bóson explicar pra ele o que é um acelerador de partículas e como aquilo ali funciona, e o que acontece quando essas partículas elas colidem.</i>

Fonte: A autora (2023).

Figura 26 – Nuvem de palavras referente ao vetor de ampliação e afetividade na fala de E2



Fonte: A autora (2023).

A configuração semiótica da obra, manipulada através da iconicidade na prospecção de significados, possibilitou que a estudante pudesse ampliar significados relacionando-os com elementos afetivos. Pode-se observar isso quando E2 faz relações com a experiência de assistir à série *The Flash* e com a sua curiosidade sobre o que acontece dentro de um acelerador de partículas. As atribuições que a estudante faz ao GG (o texto fantástico) se conectam afetivamente com a experiência de assistir à série e aos elementos fantasiosos dispostos na narrativa, mobilizando os conceitos de “partícula” e “acelerador”, através da perspectiva de como a partícula Bóson interage com o garoto Isaac e explica para ele o que é e como funciona um acelerador de partículas.

A relação Literatura-Ciência, conforme defendido por Groto e Martins (2015), promove dialogicidade em sala de aula. A história, ao contextualizar os conceitos, por intermédio da fala dos personagens, possibilita que relações dialógicas sejam estabelecidas, conforme professor(a) e estudantes criam trocas a partir de seus conhecimentos prévios. Nosso estudo corrobora com essa visão, mas queremos expandi-la.

No contexto da natureza tripla do GG (Valsiner, 2016, p. 10), há um aspecto social que influencia a interpretação do objeto (o livro) (critérios semióticos são estabelecidos socialmente); conforme a pessoa se orienta para um futuro imediato, a partir da dinâmica (ação + contra ação), lacunas são preenchidas através do processo imaginativo ‘como-se’; a pessoa então estabelece uma autorreflexão da

relação com o GG, tornando significativo o horizonte projetado, à medida que ele já está no passado. Isso fica evidente em E2, quando a estudante retoma experiências da infância e se apoia no processo imaginativo *como-se* para prospectar significados mediante a influência da narrativa.

Por uma trajetória subjetiva, a função icônica da partícula falante Bóson de Higgs, dentro do acelerador de partículas, juntamente com Isaac, pode se tornar potencialmente existente pelo trabalho da imaginação, que constrói um cenário *como-se* fosse real. Ao associar os elementos fantásticos à iconicidade dos signos na série *The Flash*, a estudante prospecta novos significados sobre o átomo. À medida que E2 pensa sobre as relações que o livro permitiu realizar, potenciais vetores de significação podem emergir em novas situações de aprendizagem. Nesse sentido, argumentamos que a dialogicidade proporcionada pela relação Literatura-Ciência, está sob a perspectiva de uma produção de significados original, que é alimentada pela imaginação.

Ao questionarmos como, agora, após a leitura dos trechos do livro, a estudante imaginava o átomo, percebemos em seu discurso uma troca entre o seu mundo concreto e a linguagem literária e poética da obra (Quadro 21).

Quadro 21 – Terceira pergunta da entrevista com E2

PQ	Agora, como você imagina o átomo?
E2	<i>Então... Fica... Eu acho que uma imagem falha de como o universo poderia representar. Não o universo em si, na sua grandiosidade, mas de como a gente olha pequenos grãos de estrela soltos no céu. E eu acho que é muito muito muito pequeno em relação ao tamanho do universo. Mas essa comparação com essa nuvem de estrela, sabe? Não brilhosas, mas a questão de serem pontos soltos que ainda não se sabe se vai além daquilo. Mas eu acho que é mais sobre isso mesmo.</i>

Fonte: A autora (2023).

Observamos a predominância dos marcadores universo (3), soltos (2) e estrela (2) (Figura 27) na emergência dos vetores ampliação e adaptação. Nossa análise nos possibilitou perceber uma ampliação de significados do átomo, conforme este passou a ser pensado como uma imagem falha, sobre a qual muitas outras coisas ainda podem ser descobertas. Essa ideia se associa a uma adaptação da imagem mental de Isaac olhando um único grão de areia na imensidão da praia que a estudante faz com a experiência de ver grãos de estrelas soltos no céu, como se

Durante a última pergunta da entrevista, percebemos como trechos do livro acabaram mobilizando significados sobre o átomo, que foram relacionados às práticas docentes da estudante (Quadro 22). Nossas interpretações se apoiaram na predominância dos marcadores indivisível (4) e átomo (3) (Figura 28) na fala da estudante.

Quadro 22 – Última pergunta da entrevista com E2

PQ	E se hoje você fosse professora no ensino fundamental e um aluno perguntasse pra você: professora, o que é o átomo? O que você responderia pra ele?
E2	<i>Eu responderia pra ele uma coisa que uma vez em uma das aulas a gente questionava que eu respondi muitas vezes: ah, o átomo é indivisível! Será que ele é indivisível mesmo?! Eu acho que eu faria o questionamento contrário. Eu diria a ele a minha resposta, que uma vez eu já respondi que o átomo ele era sim indivisível, porque tá na sua palavra de latim e tal... Sua explicação... E faria o questionamento contrário a ele: será que é mesmo indivisível? Porque quando a gente foi ministrar as aulas do residência, que eu acho que traz uma experiência muito boa e agrega muito, que a gente foi explicar modelos atômicos, eu fiz uma atividade com eles do seguinte: Pegar um pedacinho de papel e tentar diminuir ele até uma última parte que eles achassem que fossem indivisíveis. E eles chegavam, mostravam, e foi um alvoroço, porque eles realmente acreditavam que aquilo ali era um átomo. Aí assim, falar pra eles que aquilo é só uma representação do que ainda pode ser dividido milionésimas vezes é... Acho que é uma satisfação. É você realmente plantar algo e saber que tá sendo entendido.</i>

Fonte: A autora (2023).

Figura 28 – Nuvem de palavras referente aos vetores de ampliação e adaptação na fala de

E2

sociais e culturais, à medida que esses aspectos vão ao encontro de vertentes epistemológicas do conhecimento científico.

5.2.3 E3 – Ampliando e adaptando significados

5.2.3.1 Manipulação dos níveis de iconicidade

Durante a discussão dos trechos, para E3, a contextualização realizada pela linguagem literária criou possibilidades para a compreensão de conceitos científicos, como apresentado no Quadro 23.

Quadro 23 – Resposta de E3 durante discussão sobre a relação entre a leitura e o átomo na História da Química

PQ	Para vocês, como a experiência com a leitura se relaciona com as discussões que nós fizemos sobre o átomo na História da Química?
E3	<i>É muito legal <u>ver na literatura a questão também da contextualização de usar exemplos do cotidiano pra explicar conceitos científicos e dessa forma... Como ele usa, né? É um tema infantil, usar a questão da viagem, da imaginação e ainda conseguir deixar claro o que tá querendo trazer em um contexto científico.</u> Eu achei isso muito interessante.</i>

Fonte: A autora (2023).

A partir da TIV, observamos que a manipulação de léxicos na fala do estudante acontece por uma intenção de estabelecer relações de verossimilhança com a compreensão sobre o átomo ao longo da HdQ. Essas relações são despertadas pela construção da narrativa. Através da manipulação da iconicidade diagramática, as expressões “ver na literatura a questão também da contextualização” e “deixar claro o que tá querendo trazer em um contexto científico” emolduram uma representação icônico-imagética do garoto Isaac que, viajando através da imaginação, vai para diversos contextos, onde as ideias sobre o átomo e as partículas atômicas são produtos do conhecimento científico. As palavras “contextualização”, “conceitos científicos”, “viagem” e “imaginação” emanam relações de similaridade com o átomo na HdQ, por meio da manipulação da iconicidade lexical, à medida que constroem uma representação icônica de como esse conceito científico passou por transformações ao longo de diversos contextos. Em destaque, a palavra “viagem” se constitui como um recorte isotópico, através do qual E3 ancora a perspectiva da obra para significar o átomo na HdQ.

Em outro momento da discussão, quando incitamos que os estudantes pensassem sobre o átomo mediante o papel dos modelos na ciência, E3 recapitulou a analogia do tijolo na obra, para explicar que, a partir da nossa interação com o mundo concreto, podemos assumir que o átomo existe. No entanto, o estudante não fez nenhuma relação direta com a ideia de modelo (Quadro 24).

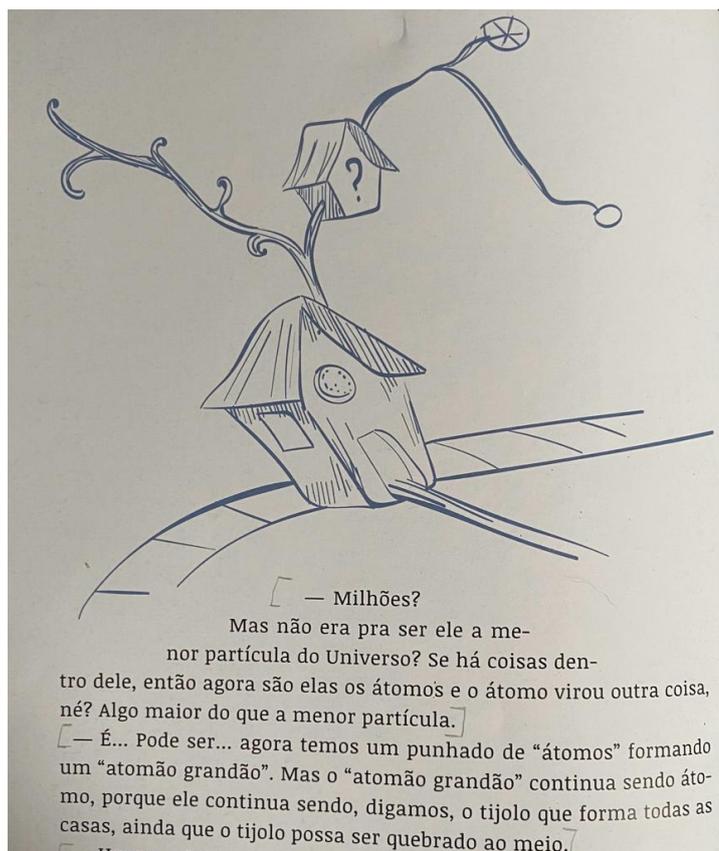
Quadro 24 – Resposta de E3 durante discussão sobre a existência concreta do átomo

PQ	Então, o átomo existe ou é um modelo?
E3	<i>Se você for pela comparação do tijolo, acho que sim. No sentido de, tipo, o átomo é o que compõe a matéria, embora ele possa ser dividido. Mas, mesmo dividido, ele permanece sendo o átomo. Então, assim, <u>se você for pensar pelo sentido literal da comparação</u>, faz sentido ele existir, pelo menos pra mim.</i>

Fonte: A autora (2023).

A iconicidade nos complexos de signos (verbais e não-verbais) na obra foi retomada para pensar o átomo como uma unidade básica de composição da matéria. Ao manipular a iconicidade diagramática pelas expressões “se você for pela comparação do tijolo” e “se você for pensar pelo sentido literal da comparação”, o estudante organiza ideias para comunicar uma representação icônica do átomo como estruturante dos objetos concretos que interagimos no mundo. A função icônica do “átomo” como um “tijolo”, para construir a “matéria”, é retomada da narrativa (Figura 29), e nos dá indícios de como E3 manipulou as iconicidades lexical e isotópica para imaginar a disposição dos átomos na matéria em uma dimensão microscópica, por meio de relações de semelhança com a construção de algo macroscópico, como uma casa, a partir da organização de tijolos. Todavia, salientamos que essa relação pode desencadear obstáculos na aprendizagem, em termos de que as ideias lógicas na linguagem científica não se aplicam diretamente às coisas reais. É preciso haver, por parte dos estudantes e professores, ponderações e interpretações sobre a relação entre os objetos-modelo e os modelos teóricos na ciência.

Figura 29 – Analogia do tijolo na obra para explicar a disposição dos átomos na matéria



Fonte: Takimoto (2018, p. 32).

Por meio de nossas análises, temos argumentado como a iconicidade nos complexos de signos de *Isaac* é mediadora do processo de aprendizagem do conceito de átomo. Esse aspecto encontra apoio nas características da narrativa ficcional. Nesse quesito, outros trabalhos mostraram resultados similares aos nossos (Groto; Martins, 2015; Piassi, 2015; Souza; Neves, 2016; Ramos; Piassi, 2017).

Na análise do segundo questionário de E3, observamos as relações de verossimilhança imprimidas nos níveis de iconicidade a partir de uma relação do átomo com os acontecimentos na história (Quadro 25).

Quadro 25 – Perguntas em que observamos os níveis de iconicidade no segundo questionário de

E3

1. “— [...] não é fácil! Só mesmo com essas técnicas extremamente sofisticadas e com essa quantidade exorbitante de computadores pra eles conseguirem ver essas partículas. Ou então, nem precisa de nada disso. Basta usar a imaginação, como vocês estão fazendo agora olhando para mim. — Eu estou te vendo super bem! — afirmou Argo. — Isaac, você está vendo o Bóson? — Como se fosse real — respondeu Isaac de olhos fechados.”. Quais reflexões você consegue estabelecer a partir desse diálogo entre Isaac e

Argo?

*Fazendo um comparativo com a **representação dos modelos atômicos** que são exemplos de como os **cientistas imaginavam como o átomo era e o que o formava e não tinham equipamentos sofisticados** para isso.*

2. Ao final da leitura, você acha que temos uma explicação correta para a estrutura da matéria? Justifique usando um exemplo do texto.

*Não, pois no texto também traz uma reflexão que nem tudo é feito de **átomo**. E, também, existem **muitas descobertas a serem feitas e com o passar do tempo** haverá outras explicações do que de fato a **matéria** é composta.*

Fonte: A autora (2023).

Na primeira pergunta em que observamos os níveis de iconicidade, E3 manipula as iconicidades diagramática, lexical e isotópica para estabelecer relações de semelhança com o papel da imaginação na fundamentação dos modelos atômicos. As expressões “um comparativo com a representação dos modelos atômicos”, “como os cientistas imaginavam como o átomo era e o que o formava” e “não tinham equipamentos sofisticados” demonstram iconicamente uma intenção de demarcar o papel da imaginação na construção de modelos atômicos ao longo da história da ciência (iconicidade diagramática). Essa história continua sendo construída, afinal, a imaginação é parte de experimentos mentais na ciência, por exemplo, para aumentar o universo deste campo de conhecimento (Tateo, 2020). Os léxicos “representação”, “modelos atômicos”, “cientistas imaginavam”, “átomo” e “equipamentos sofisticados” emergem funções icônicas das ideias de E3 (re)construídas sobre o átomo (lexical). Isso acontece mediante a perspectiva da narrativa: os personagens engatam em uma viagem imaginativa, através da qual apontam constantemente a importância da imaginação para compreender o que escapa da experiência imediata (isotópica).

Na segunda pergunta, o estudante retoma elementos isotópicos da narrativa que se entrelaçam com uma dimensão icônica do átomo a partir da natureza do conhecimento científico. As frases “no texto também traz uma reflexão que nem tudo é feito de átomo” e “com o passar do tempo haverá outras explicações” orientam o discurso de E2 e remetem, de forma icônico-imagética, às partículas elementares (iconicidade diagramática). Estas estão na teoria matemática do *Modelo Padrão das partículas elementares*, que, pela natureza da ciência, pode ser modificada, complementada ou extrapolada em algum lugar no futuro (Moreira, 2009). As

palavras “átomo”, “muitas descobertas a serem feitas” e “matéria” estabelecem relações de similaridade com as compreensões do estudante sobre a construção do conhecimento científico, sendo essas relações impulsionadas pela narrativa, à medida que o texto leva o leitor por uma linha do tempo em direção às questões que movem a ciência atualmente (iconicidades lexical e isotópica).

A iconicidade nos complexos de signos da obra se torna mediadora de significados, para E3, conforme estabelece trocas com a vontade do estudante de tornar a narrativa significativa na sua experiência imediata. Os elementos narrativos constroem possibilidades para o processo de semiose sobre o átomo à medida que este é envolvido pela transmissão de eventos em forma de palavras, imagens, na narração da história. Dessa forma, este caminho individual de aprendizagem envolve processos cognitivos do estudante, expressos na fala e escrita, atrelados à fabricação de imagens de objetos reais e/ou fictícios que cria trocas entre dois mundos: o concreto e o abstrato. Exploraremos essa discussão a seguir, partindo do processo de *ver-como* na relação estudante-livro.

5.2.3.2 Imaginação: modelo do *Gegenstand*

A partir do modelo do GG, apontamos que E3 viu o livro como um material paradidático, que possibilita a contextualização de conceitos científicos através de uma linguagem menos formal (Quadro 26). Tal contextualização, em geral, alimentou o processo de *ver-como* e nos possibilitou identificar vetores de significação através de processos de ampliação e adaptação de significados sobre o átomo.

Quadro 26 – Pergunta deflagradora feita para E3

PQ	Eu gostaria de saber como foi que você viu os trechos do livro. Por exemplo, você viu como um material didático, um material paradidático? Como uma leitura de ficção, como algo informativo, como uma leitura casual, entende? Então, eu gostaria que você me falasse de que maneira você viu a leitura dos trechos do livro.
E3	<i>Eu acredito que seja um material paradidático, uma vez que mesmo como sendo um conceito científico sendo abordado, ainda assim não é tratado como diretamente didático, pois se faz uso de uma linguagem menos formal e mais contextualizada. E com isso faz com que o leitor consiga entender o que precisa ser explicado, através de uma situação em que ele conhece e também com uma linguagem fácil de ser compreendida.</i>

Fonte: A autora (2024).

Nas duas primeiras perguntas que fizemos na entrevista com E3, notamos uma ampliação de significados sobre o átomo à medida que o estudante relacionou conhecimentos prévios com discussões realizadas a partir dos diálogos contidos na obra (Quadro 27).

Quadro 27 – Duas primeiras perguntas da entrevista com E3

PQ	A primeira pergunta que eu queria te fazer é uma comparação entre duas respostas que você deu no primeiro e no segundo questionário. Aí eu vou ler direitinho e te explicar. Lá no questionário 1, na pergunta 2, eu te perguntei assim: o que você pensa quando discute sobre modelos atômicos? E aí você respondeu: "são modelos propostos por cientistas para representar suas teorias do que seria o átomo e do que ele é constituído". No questionário 2, na pergunta 4, eu perguntei assim: a partir das discussões sobre a leitura, como você compreendeu a relação entre átomo e modelo atômico? E aí você respondeu que "para além de uma representação de como o átomo é e do que ele é formado, os modelos atômicos representam como este se comporta". E aí eu queria saber o que foi que mudou pra você nessas duas respostas.
E3	<i>É... Pronto. Do primeiro momento pra cá, que... O segundo momento, no caso, que nós tivemos a explicação, um pouco da história também, de como os modelos se deram, como o átomo se deu e etc. E também através da... Da... Como é que eu diria assim?... Eu chamaria da metáfora que foi usada no momento da leitura de Isaac no Mundo das Partículas, com o complemento da fala de João, a gente conseguiu entender que para além da representação de uma teoria, do que eles acreditavam também, eles explicavam como o átomo se comportava, e principalmente do que ele era constituído. Porque a gente tem uma ideia a princípio, pelo menos quando a gente estuda no início, de que o átomo era constituído por pequenas partículas, né? É... Que eram indivisíveis e, é... Era constituído por várias outras partículas. E através disso, através da explicação e etc, a gente entende que para além da importância da representação dessa teoria, também o comportamento da questão de carga, da questão de como ele tá presente no universo, como ele pode ser dividido ou não dividido e etc. E também a alusão do fato de que possivelmente nem tudo é constituído de átomo, boa parte das coisas que existem são, e isso foi através da leitura e da explicação que você e João deu mesmo.</i>
PQ	Certo, compreendi. Ótimo. É... A segunda pergunta seria em relação ao questionário 2, na pergunta 5, eu perguntei assim: ao final da leitura, você acha que temos uma explicação correta para a estrutura da matéria? Justifique usando um exemplo do texto. E aí você respondeu assim: "não,

	pois no texto também traz uma reflexão que nem tudo é feito de átomo, e também existem muitas descobertas a serem feitas, e com o passar do tempo haverá outras explicações do que de fato a matéria é composta". Eu gostaria de saber se você poderia falar um pouco mais a respeito de como isso foi pra você.
E3	<i>Certo. É... Como eu disse, no texto, a gente conseguiu entender várias comparações, que Isaac e aquela viagem que ele faz é... Explicam de fato como é constituído o átomo, como ele tá presente na matéria, mas também ele deixa claro no texto que... Assim, né, de acordo com os diálogos, que nem tudo é constituído de átomo. E eu quis especificar esse exemplo das descobertas porque a gente discutiu sobre tecnologia, sobre inovação, equipamentos científicos e etc, e a gente entendeu que, tipo assim, agora a gente tem uma concepção, no atual momento, do que é constituído, de como ele é apresentado, o comportamento do átomo no universo. Mas, posteriormente, talvez daqui a um mês, dois meses, um ano, a gente vai ter outra concepção, porque farão novas descobertas de acordo com o avanço da tecnologia, da ciência e etc. Por isso que eu trouxe esse exemplo.</i>

Fonte: A autora (2024).

A partir dos marcadores constituído (4), átomo (4) e partículas (3) (Figura 30) na resposta da primeira pergunta, e constituído (3) e átomo (3) (Figura 31) na resposta da segunda pergunta, percebemos, na fala de E3, processos que guiaram a emergência de significados. Tais processos envolvem ideias sobre o átomo na emergência do vetor ampliação, configurado por um direcionamento de significados à novas experiências, ou seja, o estudante move-se no presente (pela dinâmica da ação-resistência com o GG), retomando significados previamente estabelecidos e (res)significando-os a um futuro.

Figura 30 – Nuvem de palavras referente ao vetor de ampliação na primeira pergunta da entrevista com E3

diálogos na narrativa, bem como os elementos fantásticos que os contornam, que se inserem no processo de semiose pelo trabalho da imaginação. Esta, como uma função mental superior, possibilita que o jogo de formas linguísticas e icônicas, fantasia e HdC dê lugar para a construção de significados sobre o átomo. Dessa maneira, os aspectos da narrativa são regulados mediante a intenção do estudante – atribuir contexto às ideias –, associando-se ao papel da imaginação em estabelecer uma troca contínua do objeto concreto com o conceito abstrato, e vice-versa (Tateo, 2015c).

Para Zilli (2018), a contextualização de assuntos da ciência através da literatura promove um deslocamento de sentidos, por meio da imaginação. Esse movimento cria possibilidades para que questões sobre a história e natureza da ciência possam ser ampliadas e aprofundadas. Nosso estudo aponta como a leitura e discussão de *Isaac* proporcionou que o estudante E3 pudesse refletir sobre aspectos da narrativa e relacioná-los com o desenvolvimento do conhecimento científico. Concordamos que a imaginação é central nesse processo, como sendo a capacidade humana de antecipar e inovar (Tateo, 2015a) na significação de conceitos científicos através de uma obra literária.

Os elementos da linguagem literária (analogias e metáforas) na obra constituíram, para E3, uma contextualização das ideias sobre o átomo, que, assim, possibilitou uma mudança de concepção sobre esse conceito científico (Quadro 28).

Quadro 28 – Terceira pergunta da entrevista com E3

PQ	O livro, ele provocou alguma mudança na sua forma de entender o átomo? Caso isso tenha acontecido, você poderia me dar um exemplo?
E3	<i>É, deixa eu ver... Sim. Um exemplo é principalmente na questão da contextualização, que, inclusive, eu discuti em sala com João. Naquele momento, ele usa o exemplo do copo, porque muitas vezes a gente entra na questão dos modelos atômicos e a gente usa as comparações pra identificar o átomo como pudim de passas e etc., modelo planetário e etc., e utilizando a leitura de Isaac no Mundo das Partículas por ser muito contextualizado, isso muda nossa concepção de como a gente aprende o que é o átomo, do que ele é feito. E essa contextualização é tão importante, tanto pra nossa concepção de conteúdo quanto pra nossa formação também, no sentido de, quando a gente for explicar ééé... A composição do átomo e etc, o comportamento de como ele se dá, é... A gente contextualizar de uma forma que fique claro, de uma forma que seja possivelmente vista, como Isaac cobrava tanto que ele queria ver se de</i>

fato existia, e a gente poder possibilitar através do nosso ensino, através do nosso processo de ensino-aprendizagem essa contextualização. E isso mudou muito pra mim, porque a gente sempre tá ouvindo na universidade a importância da contextualização no ensino de química. Então, assim, a gente vê exemplos de como isso é feito, principalmente numa literatura infantil, que a gente trata assim como uma coisa tão superficial assim, né? Tão passada por cima. Então ver isso aprofundado e tão contextualizado, pra mim fez uma diferença enorme.

Fonte: A autora (2024).

O domínio dos marcadores contextualização (4), ensino (3) e átomo (3) (Figura 32) no discurso de E3 demonstram como o estudante passou a compreender o átomo, por meio da emergência dos vetores de ampliação e adaptação. E3 amplia significados sobre o átomo mediante a (res)significação da sua prática docente. Na obra, a analogia das propriedades de um copo no *Mundo das Partículas*, como mostra a Figura 15, cria um contexto de aproximação da existência e composição do átomo. Para o estudante, isso guarda a potencialidade de fazer com que esse constituinte da matéria possa ser “visto”, diferentemente da perspectiva de apenas fazer comparações com um pudim de passas, modelo planetário, para significar os modelos atômicos. Nesse sentido, há uma adaptação das ideias do personagem Isaac, que lança indagações na história, a fim de “ver” aquilo que escapa aos olhos. Tal qual o personagem, o estudante, enquanto futuro docente, sente-se movido em encontrar formas de investigar os fatos relativos a um mundo abstrato (e concreto).

Figura 32 – Nuvem de palavras referente aos vetores de ampliação e adaptação na terceira pergunta da entrevista com E3



Fonte: Voyant Tools (2024).

Nas duas últimas perguntas que fizemos para E3, observamos uma ampliação e adaptação de significados sobre o átomo à medida que o estudante incorpora à sua fala elementos próprios da narrativa (Quadro 29).

Quadro 29 – Duas últimas perguntas da entrevista com E3

PQ	Entendi. Agora, se um... Suponhamos que você está dando aula, numa turma do fundamental, e um aluno pergunta para você: "professor, o que é o átomo?". O que você responderia para ele?
E3	<i>Eu tentaria ao máximo fazer como eu disse, contextualizar pra que ficasse claro. Que átomo é basicamente o que constitui algo que ele toca, algo que ele vê, e que ele não consegue enxergar de forma macroscópica, como a gente discutiu. É algo que ele não pode ver, mas que existe. Então, assim, eu explicaria de fato a importância, o contexto histórico e etc, mas eu traria essa contextualização de que é algo que ele não pode ver, mas que ele sabe que existe e que é constituído daquilo que ele tem acesso. Tentaria fazer ao máximo essa contextualização.</i>
PQ	Ótimo, entendi. Para encerrar, agora, como você imagina o átomo?
E3	<i>Eu imagino que seja uma partícula bem bem bem pequenininha, como é trazido lá no livro. O livro é bom a gente ter feito essa leitura, por a gente, através da viagem que Isaac fez, a nossa imaginação também ela fica bem aguçada, no sentido de idealizar como poderia ser. E agora eu imagino que seja uma partícula muito muito pequena, formada por outras partículas ainda muito muito pequenas e ééé... Um universo que ainda é possível fazer inúmeras descobertas, e que talvez a gente... Daqui que a gente venha ter acesso de fato ao que é real, o átomo, do que ele é formado, ainda terão aí uma leva de coisas pra gente descobrir, pra gente entender. Mas agora ficou bem mais claro e muito mais fácil de explicar no contexto atual que a gente vive. E pra mim é isso, o átomo é uma pequena partícula dividida em várias outras, que é o que constitui coisas que a gente pode ver, pode tocar, mas o átomo não.</i>

Fonte: A autora (2024).

Na quarta pergunta da entrevista, os marcadores existe (2) e contextualização (2) (Figura 33) se associam à construção de significados sobre o átomo conforme o estudante cria relações entre a sua prática docente e a narrativa literária. E3 amplia significados sobre o átomo, mediante sua interação com a obra, ao pontuar a importância de contextualizar esse conceito em sala de aula. A narrativa, construída

Isaac soprou forte e o grãozinho saiu voando voando voando, planando, surfando no ar até cair de braços abertos para junto de seus irmãos. Isaac riu da festa com que Argo foi recebido. E lentamente foi elevando seus olhos de menino para o oceano.

— Engraçado... — pensou a criança. — Eu me diverti tanto com Argo, um grão de areia, e há um mar imenso de coisas a serem descobertas. Talvez o que não conhecemos seja assim mesmo, como este oceano. E essa tal de ciência seja como uma bola que cresce bem lá no fundo dessas águas e vai se enchendo cada vez mais, conforme vamos respondendo às nossas perguntas. Mas, à proporção que essa bola cresce, também aumenta cada vez mais o nosso contato com tudo o que ainda não conhecemos.

Fonte: Takimoto (2018, p. 67).

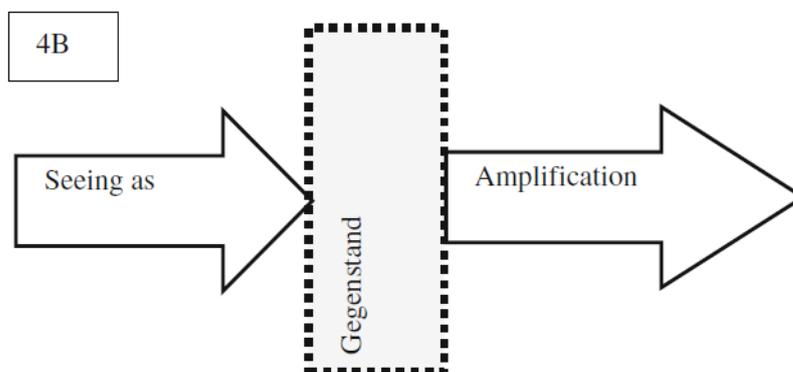
As relações de similaridade, presentes nos complexos de signos de *Isaac*, não se traduzem em uma totalidade metafórica materializada no pensamento. A aprendizagem, como uma construção de significados (Valsiner, 2012), é um processo constantemente em transformação. Com isso, a iconicidade, como propriedade dos signos na narrativa ficcional, medeia a aprendizagem na relação com a imaginação, à medida que esta é criadora de trocas semióticas pelo processo de *ver-como*. A relação entre linguagem e imaginação reflete uma configuração e manipulação de significados, emergentes da relação com o GG. Nesse cenário, a imaginação é via de elaboração de significados em um mundo cultural e social (Tateo, 2016), pois a obra se transforma em um objeto semiótico que assume um papel autorregulador em movimentos para o futuro no âmbito intra e interpsicológico do indivíduo.

5.3 AS DIFERENTES FORMAS DE RESISTÊNCIA/DIRECIONALIDADES

A partir dos nossos dados, observamos que a maneira como cada participante viu o livro foi alimentada pela seleção de recortes da narrativa. As intenções dos participantes, ao se relacionarem com o GG, foram então intensificadas pelos elementos narrativos, cujos foram direcionados a outros contextos durante os processos de semiose. Essas características remetem ao vetor ampliação, proposto por Tateo (2017b) (Figura 36), que demonstra que, conforme a pessoa ver o GG de uma determinada forma, ele intensifica movimentos imaginativos na construção de novos significados. Assim, relações significativas com

o livro foram criadas mediante uma orientação intencional dos elementos narrativos a contextos para atribuir significados ao átomo.

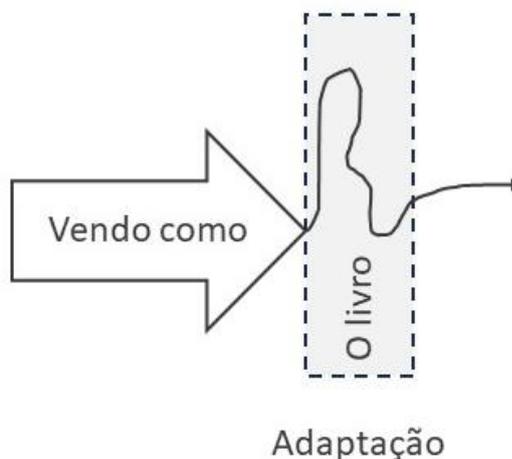
Figura 36 – Emergência do vetor ampliação na dinâmica com o GG



Fonte: Tateo (2017b, p. 241).

Na dinâmica com o GG, também observamos que, em alguns momentos, os estudantes adaptaram perspectivas da narrativa para significar o átomo. Por isso, propomos o vetor adaptação (Figura 37), cujo representa movimentos imaginativos que os estudantes fizeram ao retomar as perspectivas obra; o átomo foi significado como se os estudantes tivessem “atravessado” a narrativa e “capturado” falas dos personagens literários para significar o átomo em outros contextos.

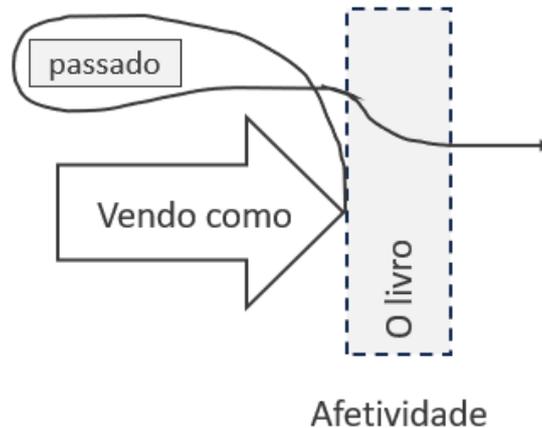
Figura 37 – Emergência do vetor adaptação na dinâmica com o GG



Fonte: Tateo (2017b, p. 241, adaptado).

Como apresentado anteriormente, nos dados da estudante E2 notamos que, em alguns momentos, a estudante retomou memórias afetivas para significar o átomo a partir da perspectiva da narrativa literária. Com isso, propomos o vetor afetividade (Figura 38), considerando que os processos de semiose de E2 foram alimentados por uma espécie de “retorno” que a pessoa fez ao passado para então atravessar o GG.

Figura 38 – Emergência do vetor afetividade na dinâmica com o GG



Fonte: Tateo (2017b, p. 241, adaptado).

Assim, os movimentos imaginativos criados nessa relação corroboraram para a emergência de possíveis novos significados sobre o átomo contornados por experiências afetivas do passado, como memórias da infância e outras associadas à experiência de ver uma série.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na Educação Científica, a relação Ciência-Literatura guarda potencialidades didáticas para a aprendizagem de conceitos abstratos. Esse aspecto tem alimentado debates teóricos sobre como uma narrativa literária pode corroborar em situações de aprendizagem, e levantado questões práticas na sala de aula do mundo real (Groto; Martins, 2015; Souza; Neves, 2016; Ramos; Piassi, 2017; Lima; Ricardo, 2019; Patriarcha-Graciolli, 2021).

Esta pesquisa, com base na Psicologia Cultural Semiótica, teve como objetivo analisar a aprendizagem do conceito de átomo, mediante a relação entre níveis de iconicidade e a imaginação a partir do livro *Isaac no Mundo das Partículas*. Consideramos a aprendizagem como uma construção de significados, analisada a partir da Teoria da Iconicidade Verbal e do modelo do *Gegenstand*.

Nosso estudo forneceu uma perspectiva de que a relação Ciência-Literatura proporciona movimentos imaginativos na construção de novos significados sobre o átomo, ao se relacionarem com processos emergentes (vetores de significação) da interação com a obra. A análise dos caminhos de aprendizagem de cada participante da pesquisa ao longo de uma intervenção, nos possibilitou observar que esses processos são alimentados por trocas semióticas entre a narrativa fantástica de *Isaac* e as questões subjetivas dos indivíduos.

De forma geral, os participantes manipularam em seus discursos (escrito e falado) níveis de iconicidade ao retomarem funções icônicas na narrativa. Essa manipulação aconteceu por intermédio de interpretantes e outros signos icônicos (marcadores linguístico-semióticos) criados, verbalizados para uma transformação diagramática e imagética do conteúdo da obra, através de relações de semelhança com outros signos icônicos (imagens mentais), mediados por aspectos fantasiosos da narrativa. Em sala de aula, os alunos (re)construíram a cultura pessoal e coletiva, conforme processos sucessivos de externalização e internalização foram alimentados por signos já internalizados, para a construção de novos signos e significados sobre o átomo.

O livro tornou-se um objeto significativo (*Gegenstand*) para os estudantes mediante diferentes formas de resistência que alimentaram movimentos imaginativos na prospecção de novos significados sobre o átomo. Ao identificarmos marcadores predominantes nos discursos dos estudantes (E1, E2 e E3), percebemos que a interação com a obra possibilitou a emergência dos vetores de ampliação e

adaptação, conforme os significados foram construídos por uma extrapolação de recortes da obra até o cotidiano e adaptação das falas dos personagens literários à realidade dos estudantes, respectivamente. Em destaque, E2 realizou movimentos imaginativos a partir do vetor afetividade, conforme a estudante retomou elementos fantásticos da narrativa e os relacionou às memórias afetivas da infância e outras experiências passadas significativas (como ver filmes e séries). As diferentes formas de resistência/direcionalidades na relação com o livro denotam que este impulsiona o desenvolvimento da imaginação, que, nesta pesquisa, é vista sob uma ótica de produção original de significados – as trocas entre objetos concretos a partir da influência do livro e o conceito de átomo passam pela subjetividade dos indivíduos.

O potencial pedagógico desta pesquisa aponta aos discursos literário e científico que foram manipulados mediante as necessidades educativas singulares dos estudantes. A transformação do livro em um objeto de significância acontece a partir da capacidade humana de produzir novas ideias, que são orientadas pelo desenvolvimento da imaginação. As imagens configuradas nos léxicos da narrativa transformam-se em ferramentas nos processos de semiose através das potencialidades da narrativa fantástica, como a criação de cenários imaginativos. Esses processos criativos não estão confinados à esfera literária, não são opostos à linguagem científica, como sugere Tateo (2020). Nesse sentido, a interface Ciência-Literatura, discutida nesta pesquisa, evidencia não somente a potencialidade do encontro entre essas áreas, mas também como essa conexão pode catalisar a compreensão e apropriação dos conceitos científicos.

Assim, a aprendizagem de um conceito científico a partir do uso da literatura fantástica transcende as relações entre fantasia e mundo real. Esta pesquisa fornece as bases teóricas e empíricas para a análise de processos complexos associados à aprendizagem. Dessa forma, professores podem contribuir em sala de aula ao levar em consideração o desenvolvimento da imaginação na aprendizagem, à medida que estudantes associam seletivamente suas experiências com assuntos da ciência sob uma ótica da fantasia, podendo, então, regular relações de troca e ação no mundo concreto.

Embora nossas investigações usando a TIV nos possibilite refletir sobre as construções de significados de um conceito científico em sala de aula, nossos dados não foram ajustados para uma investigação sobre como a narrativa ficcional pode ter inibido a construção de novos signos e significados. Consequentemente, novos

estudos considerando o signo como um mediador semiótico e os aspectos da narrativa ficcional, devem ser conduzidos, para confirmar como essa relação pode ter sido promotora ou inibidora na aprendizagem. Tais pesquisas deverão avaliar a relação entre a abstração dos signos na obra e a manipulação da iconicidade pelos estudantes, para responder à pergunta de pesquisa com maior rigor.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, B. P. de.; KRÜGER-FERNANDES, L.; BORGES, F. T. De espectadora a criadora: imaginação, faz de conta e mídia televisiva no desenvolvimento infantil. **Psicologia & Sociedade**, v. 32, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/psoc/a/LTCtkvQqdgfpsP6y88fDjwn/?format=html>. Acesso em: 22 nov. 2022.
- ASSIS, E. F. de. A teoria da iconicidade verbal, de Darcilia Simões, aplicada à interpretação do signo insólito. **Caderno Seminal**, v. 37, n. 37, 2021. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/cadernoseminal/article/view/59232>. Acesso em: 5 jan. 2023.
- ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- BENEDETTI FILHO, E.; MATSUMOTO, M. Y. Hantaro Nagaoka e o modelo saturniano. **Química Nova na Escola**, v. 44, n. 1, p. 9-16, 2022. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc44_1/04-HQ-66-20.pdf. Acesso em: 08 maio 2023.
- BRINKMANN, S. Psychology as a normative science. *In*: VALSINER, J. et al. **Psychology as the science of human being: The Yokohama manifesto**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 3-14.
- BRONOWSKI, J. **O olho visionário: ensaios sobre arte, literatura e ciência**. Brasília: Editora Universidade de Brasileira, 1998.
- CHAGAS, A. P. Existem átomos? (Abordando Jean Perrin). **História da ciência e ensino: construindo interfaces**, v. 3, 2011, p. 7-16. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/hcensino/article/view/5605>. Acesso em: 29 jan. 2024.
- CHAYUT, M. J. J. Thomson: The discovery of the electron and the chemists. **Annals of Science**, p. 527-544, 2006. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00033799100200431>. Acesso em: 29 jan. 2024.
- D. MELO, P. de.; V. MELO, P. de. **Uma introdução à semiótica peirceana**. Paraná: Unicentro, [2015]. p. 9-24. Disponível em: <http://repositorio.unicentro.br:8080/jspui/bitstream/123456789/953/5/Uma%20introdu%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A0%20semi%C3%B3tica%20peirceana.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2023.
- FERREIRA, L. M. Uma breve história do atomismo. *In*: FERREIRA, L. M. **Atomismo: um resgate histórico para o ensino de química**. 2013. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013, f. 31-57. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/103484>. Acesso em: 02 maio 2023.

FONTANA, F.; ROSA, M. P. Técnicas e instrumentos de constituição dos dados. *In*: MAGALHÃES JÚNIOR, C. A. de O.; BATISTA, M. C. **Metodologia da pesquisa em educação e ensino de ciências**. 1. ed. Maringá, PR: Gráfica e Editora Massoni, 2021. p. 220-255.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GILMORE, R. **Alice no país do quantum**: A física quântica ao alcance de todos. Rio de Janeiro: Zahar, 1998.

GROTO, S. R.; MARTINS, A. F. P. A literatura de Monteiro Lobato na discussão de questões acerca da natureza da ciência no ensino fundamental. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 17, n. 2, p. 390-413, 2015.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/epec/a/n3jym7tYqMMvM4gFfgqTkvv/abstract/?lang=pt>.

Acesso em: 20 nov. 2022.

HERRERA, F. J. R. Desenvolvimento dos valores na perspectiva semiótico-cultural. *In*: HERRERA, F. J. R. **Desenvolvimento de valores na perspectiva da Psicologia Semiótica-Cultural**: um estudo com meninos brasileiros e colombianos em contexto lúdico sugestivo de violência. Brasília, 2014, 237 f. Tese (Doutorado em processos de desenvolvimento humano e saúde, na área de desenvolvimento humano e educação) – Instituto de Psicologia, Universidade de Brasília, 2014. p. 30-41. Disponível em:

https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/18333/3/2014_FranciscoJoseRengifoHerrera.pdf. Acesso em: 17 abril 2023.

HOLANDA, F. V. V. de; CAVALCANTI, E. L. D.; GUIMARÃES, R. L. RPG Last Chance of Earth: análises dos processos imaginativos no desafio sobre a acidez de compostos orgânicos. **Revista Eletrônica Ludus Scientiae**, v. 6, 2022. Disponível em: <https://revistas.unila.edu.br/relus/article/view/3886>. Acesso em: 10 abril 2023.

HON, G.; GOLDSTEIN, B. R. JJ Thomson's plum-pudding atomic model: The making of a scientific myth. **Annalen der physik**, v. 525, n. 8-9, p. A129-A133, 2013.

Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/andp.201300732>.

Acesso em: 29 jan. 2024.

INNIS, R. E. Semiotics. *In*: GLĂVEANU, V. P. (Ed.). **The Palgrave Encyclopedia of the Possible**. Switzerland: Springer Nature, 2020.

JUSTI, R.; GILBERT, J. History and philosophy of science through models: some challenges in the case of 'the atom'. **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 9, p. 993-1009, 2000. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/095006900416875>. Acesso em: 20 jan. 2023.

KRAGH, H. Before Bohr: theories of atomic structure 1850-1913. **RePoSS: Research Publications on Science Studies 10**. Aarhus: Centre for Science Studies, University of Aarhus, 2010. Disponível em:

<http://www.ub.edu/hcub/hfq/sites/default/files/reposs-010.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2024.

KRAGH, H. J. J. Thomson, the electron, and the atomic architecture. **The Physics Teacher**, v. 35, p. 328-332, set. 1997. Disponível em: <https://aapt.scitation.org/doi/abs/10.1119/1.2344712?journalCode=pte>. Acesso em: 29 jan. 2024.

LEONARDO JÚNIOR, C. S.; MASSI, L. Química e literatura na abordagem da Pedagogia Histórico-Crítica: desvelando processos históricos de exclusão social. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 12., 2019, Natal. **Atas** [...] Natal: 2019. p. 1-7. Disponível em: <https://abrapecnet.org.br/enpec/xii-enpec/anais/resumos/1/R0508-1.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022.

LIMA, G. da S.; RAMOS, J. E. F.; PIASSI, L. P. de C. Ciência, poesia, filosofia: diálogos críticos da teoria à sala de aula. **Educação em Revista**, v. 36, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/edur/a/CRNRn9xkDtRnKcvkwcpKjwq/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 19 nov. 2022.

LIMA, L. G. de. **A abstração como ponte entre a física e a literatura na construção de conceitos de mecânica quântica no ensino médio**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-27042015-104526/pt-br.php>. Acesso em: 20 nov. 2022.

LIMA, L. G. de.; RICARDO, E. C. A literatura como ferramenta didática no ensino de mecânica quântica para o ensino médio. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA*, 21., 2015, Uberlândia. **Atas** [...] Uberlândia: 2015. p. 1-9. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/329040723_A_LITERATURA_COMO_FERRAMENTA_DIDATICA_NO_ENSINO_DE_MECANICA_QUANTICA_PARA_O_ENSINO_NO_MEDIO. Acesso em: 19 nov. 2022.

LIMA, L. G. de.; RICARDO, E. C. O ensino de Mecânica Quântica no nível médio por meio da abstração científica presente na interface Física-Literatura. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 8-54, 2019. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7008478>. Acesso em: 20 nov. 2022.

LINDBERG, D. C. **The beginnings of western science: the european scientific tradition in philosophical, religious, and institutional context, prehistory to AD 1450**. University of Chicago Press, 1992.

LISPECTOR, C. **Uma aprendizagem ou o livro dos prazeres**. Rio de Janeiro: Rocco, 2020.

LOPES, C. V. M. **Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica**. 2009. Tese (Doutorado em História da Ciência) –

Pontifícia Universidade Católica, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/78156>. Acesso em: 20 nov. 2022.

MAGID, R. W.; SHESKIN, M.; SCHULZ, L. E. Imagination and the generation of new ideas. **Cognitive Development**, v. 34, p. 99-110, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0885201414000744>. Acesso em: 22 nov. 2022.

MARTINS, W. A. Semiótica de Charles Peirce: o ícone e a primeiridade. **Revista Contemplação**, v. 12, p. 237-250, 2015. Disponível em: <http://fajopa.com/contemplacao/index.php/contemplacao/article/viewFile/93/95>. Acesso em: 8 jan. 2023.

MELZER, E. E. M.; AIRES, J. A. A história do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr. **Amazônica: Revista em Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 11, n. 22, p. 62-77, 2015. Disponível em: <http://periodicos.ufpa.br/index.php/revistaamazonia/article/view/2137>. Acesso em: 15 maio 2023.

MOURA, C. B. de.; GUERRA, A. Modelos atômicos da virada do século XIX para o século XX: um resgate de personagens para discutir aspectos sobre Natureza da Ciência. *In*: III Conferencia Latinoamericana Del International, History and Philosophy of Science Teaching Group IHPST – LA 2014. **Atas [...]** Santiago de Chile: 2014. p. 79-90. Disponível em: <https://laboratoriogrecia.cl/wp-content/uploads/2015/11/P1-MOURA-GUERRA.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2024.

MOURA, C. B. de.; GUERRA, A. Reflexões sobre o processo de construções da ciência na disciplina de química: um estudo de caso a partir da história dos modelos atômicos. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, v. 11, n. 2, p. 64-77, 2016. Disponível em: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-66662016000200006&script=sci_arttext&tling=en. Acesso em: 21 jan. 2023.

MOREIRA, A. C. L. et al. Modelos atômicos: correlações entre aspectos representacionais e a essência do conhecimento. **Revista Debates em Ensino de Química**, v. 7, n. 1, p. 186-200, 2021. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/REDEQUIM/article/view/3382>. Acesso em: 15 nov. 2022.

MOREIRA, M. A. O Modelo Padrão da física de partículas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, p. 1306.1-1306.11, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/sMFh5cP7J9S8RzcXGsmV3fR/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 15 maio 2023.

NAVARRO, J. **A history of the electron**: J. J. and G. P. Thomson. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. p. 1-113. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/274750871_Review_of_Jaume_Navarro_A_History_of_the_Electron_J_J_and_G_P_Thomson_Cambridge_Cambridge_University_Press_2012. Acesso em: 29 jan. 2024.

NUNES, P. V. Diálogo entre uma obra literária e referencial Fleckiano. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 12., 2019, Natal. **Atas** [...] Natal: 2019. p. 1-6. Disponível em: <https://abrapecnet.org.br/enpec/xii-enpec/anais/resumos/1/R0210-1.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2022.

PALMIERI, M. W. A.; BRANCO, A. U. Cooperação, competição e individualismo em uma perspectiva sócio-cultural construtivista. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, v. 17, n. 2, p. 189-198, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prc/a/xYg3GJPX5f6K4dRLCffDJkz/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 5 jan. 2023.

PATRIARCHA-GRACIOLLI, S. R. **Diálogos educacionais entre literatura infantil, educação científica e ambiental**. 2021. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) – Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufms.br/bitstream/123456789/4052/1/TESE_SuelenPatriarcha.pdf. Acesso em: 19 nov. 2022.

PEDUZZI, L. O. Q. **Do átomo grego ao átomo de Bohr**. Florianópolis: Departamento de física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015. Disponível em: www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br. Acesso em: 29 jan. 2024.

PEIRCE, C. S. O que é um signo? (tradução de Ana Maria Guimarães Jorge). **FACOM**, n. 18, 2007 [1894]. p. 46-56. Disponível em: https://www.fAAP.br/revista_faap/revista_facom/facom_18/ana.pdf. Acesso em: 10 nov. 2022.

PEIRCE, C. S. **Semiótica**. 3. ed. São Paulo: Perspectiva, 2005.

PIASSI, L. P. de C. De Émile Zola a José Saramago: interfaces didáticas entre as ciências naturais e a literatura universal. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 15, n. 1, p. 33-57, 2015. Disponível em: <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-brasileira-de-pesquisa-em-educacao-em-ciencias>. Acesso em: 02 fev. 2023.

PIASSI, L. P. de C. Ficção e educação científica. *In*: PIASSI, L. P. de C. **Interfaces entre fantasia e ciência: um estudo semiótico do filme “2001: uma Odisseia no Espaço”** como modelo de interpretação em perspectiva educacional. 2012. Tese (Livre-Docência em ficção científica: história e crítica) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012, f. 12-22. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/100/tde-29082016-161259/pt-br.php>. Acesso em: 19 nov. 2022.

PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 3, p. 213-227, 1999. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/275883/mod_resource/content/1/Texto_05_-_Construcao_e_realidade.pdf. Acesso em: 30 jan. 2023.

RAMOS, J. E. F. **A ciência e o insólito**: o conto de literatura fantástica no ensino de física. 2012. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-13082012-112755/pt-br.php>. Acesso em: 19 nov. 2022.

RAMOS, J. E. F.; PIASSI, L. P. O insólito e a física moderna: interfaces didáticas do conto fantástico. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 23, n. 1, p. 163-180, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/87wJbpMSyrHZXnVdjcFtsDk/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 22 jan. 2023.

SCHROEDER, E. Conceitos espontâneos e conceitos científicos: o processo de construção conceitual em Vygotsky. **Atos de pesquisa em educação**, v. 2, n. 2, p. 293-318, 2007. Disponível em: <https://bu.furb.br/ojs/index.php/atosdepesquisa/article/view/569>. Acesso em: 26 jan. 2023.

SILVA, J. L. P. B.; CUNHA, M. B. de M. O modelo atômico quântico em livros didáticos de química para o ensino médio. *In*: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009, Florianópolis. **Atas [...]** Florianópolis: 2009. Disponível em: <https://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/viienpec/VII%20ENPEC%20-%202009/www.foco.fae.ufmg.br/cd/pdfs/276.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2024.

SIMÕES, D. **Iconicidade e verossimilhança**. Rio de Janeiro: Dialogarts, 2007.

SIMÕES, D. **Iconicidade Verbal. Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Dialogarts, 2009.

SIMÕES, D. Semiótica e alternativas metodológicas para a leitura e produção de textos. *In*: SIMÕES, D. **Estudos semióticos. Papéis avulsos**. Rio de Janeiro: Dialogarts, 2004. p. 126-141. Disponível em: https://www.dialogarts.uerj.br/admin/arquivos_tfc_lingua/estudossemioticos.pdf. Acesso em: 15 jan. 2023.

SNOW, C. P. **As Duas Culturas e uma segunda leitura**. São Paulo: EDUSP, 1995.

SOUZA, A. R. de.; NEVES, L. A. S. O livro paradidático no ensino de Física: uma análise fabular, científica e metafórica da obra Alice no País do Quantum: a Física Quântica ao alcance de todos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 1145-1160, 2016. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5775888>. Acesso em: 19 nov. 2022.

SKOLIMOSKI, K. N.; ZANETIC, J. Mitos de criação: modelos cosmogônicos de diferentes povos e suas semelhanças. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE EDUCAÇÃO EM ASTRONOMIA, 02., 2012, São Paulo. **Atas [...]** São Paulo: 2012. p. 405-415. Disponível em: https://www.sab-astro.org.br/wp-content/uploads/2017/03/SNEA2012_TCO20.pdf. Acesso em: 29 jan. 2024.

TAKIMOTO, E. **Isaac no Mundo das Partículas**. 1. ed. 2018.

TATEO, L. **A theory of imagining, knowing and understanding**. Springer Briefs in Psychology, 2020.

TATEO, L. Giambattista Vico and the principles of cultural psychology: a programmatic retrospective. **History of the Human Sciences**, v. 28, n. 1, p. 44-65, 2015a. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0952695114564628>. Acesso em: 15 jan. 2023.

TATEO, L. Giambattista Vico and the psychological imagination. **Culture & Psychology**, v. 21, n. 2, p. 145-161, 2015c. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1354067X15575695>. Acesso em: 15 jan. 2023.

TATEO, L. Just na illusion? Imagination as higher mental function. **Journal of Psychology & Psychotherapy**, v. 5, n. 6, 2015b. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Luca-Tateo/publication/290213113_Just_an_Illusion_Imagination_as_Higher_Mental_Function/links/56d6966c08aebabdb400ab91/Just-an-Illusion-Imagination-as-Higher-Mental-Function.pdf. Acesso em: 15 jan. 2023.

TATEO, L. Seeing imagination as resistance and resistance as imagination. *In*: **Resistance in every life**. Springer, Singapore, 2017b. p. 233-245. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-3581-4_17. Acesso em: 20 nov. 2022.

TATEO, L. Use your imagination: the history of a higher mental function. *In*: WAGONER, B.; DE LUNA, I. B.; AWAD, S. H. (Ed). **The psychology of imagination: history, theory and new research horizons**. Information Age Publishing, 2017a. p. 47-66. Disponível em: <https://vbn.aau.dk/en/publications/use-your-imagination-the-history-of-a-higher-mental-function>. Acesso em: 17 jan. 2023.

TATEO, L. What imagination can teach us about higher mental functions. *In*: VALSINER, J. et al. **Psychology as the science of human being**. Springer, Cham, 2016. p. 149-164. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-21094-0_9. Acesso em: 15 jan. 2023.

TODOROV, T. **Introdução à literatura fantástica**. 3. ed. São Paulo: Perspectiva, 2010.

VALÉRIO, T. A. M.; LYRA, M. C. D. P. A construção cultural de significados sobre adoção: um processo semiótico. **Psicologia & Sociedade**, v. 26, n. 3, 2014. Disponível em: https://www.academia.edu/9649694/A_CONSTRU%C3%87%C3%83O_CULTURAL_DE_SIGNIFICADOS SOBRE_ADO%C3%87%C3%83O_UM_PROCESSO_SEMI%C3%93TICO. Acesso em: 4 jan. 2023.

VALSINER, J. **An Invitation to Cultural Psychology**. London: Sage, 2014a.

VALSINER, J. Functional reality of the quase-real: Gegenstandstheorie and cultural psychology today. **Culture & Psychology**, v. 20, n. 3, p. 285-307, 2014b. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1354067X14542532>. Acesso em: 21 jan. 2023.

VALSINER, J. **Fundamentos da Psicologia Cultural – Mundos da Mente Mundos da Vida**. Porto Alegre: Artmed, 2012.

VALSINER, J. Generalization in science: Abstracting from unique events. *In*: **Subjectivity and knowledge: generalization in the psychological study of everyday life**. New York: Springer, p. 79-97, 2019. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-29977-4_5. Acesso em: 29 jan. 2024.

VALSINER, J. Personal culture and conduct of value. **Journal of Social, Evolutionary, and Cultural Psychology**, v. 1, n. 2, p. 59-65, 2007. Disponível em: <https://psycnet.apa.org/journals/ebs/1/2/59/>. Acesso em: 5 jan. 2023.

VALSINER, J. Process structure of semiotic mediation in human development. **Human Development**, v. 44, n. 2-3, p. 84-97, 2001. Disponível em: <https://www.karger.com/Article/Abstract/57048>. Acesso em: 5 jan. 2023.

VALSINER, J. The human psyche on the border of irreversible time: forward-oriented semiosis. **International Journal of Psychology**, v. 51, p. 304-305, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/305489542_THE_HUMAN_PSYCHE_ON_THE_BORDER_OF_IRREVERSIBLE_TIME_FORWARD-ORIENTED_SEMIOSIS. Acesso em: 29 jan. 2024.

VALSINER, J; ROSA, A. **The Cambridge Handbook of Sociocultural Psychology**. Cambridge University Press, 2007.

VOGT, C. A espiral da cultura científica. **ComCiência**, 2003. Disponível em: <https://www.comciencia.br/dossies-1-72/reportagens/cultura/cultura01.shtml>. Acesso em: 11 abril 2023.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. Rio de Janeiro: Martins Fontes, 1991.

VYGOTSKY, L. S. Historia del desarrollo de las funciones psíquicas superiores. **Obras Escogidas**, v. 3, 1931.

WARTHA, E. J.; REZENDE, D. de B. As representações no ensino de química na perspectiva da semiótica peirceana. **Educação Química em Punto de Vista**, v. 1, n. 1, 2017. Disponível em: <https://revistas.unila.edu.br/eqpv/article/view/886>. Acesso em: 20 abril 2023.

WARTHA, E. J.; REZENDE, D. de B. Os níveis de representação no ensino de química e as categorias da semiótica de Peirce. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, p. 275-290, 2011. Disponível em:

<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/230/162>. Acesso em: 20 abril 2023.

YAGI, E. The development of Nagaoka's Saturnian Atomic Model II (1904-05). **Japanese Studies in the History of Science**, v. 11, p. 73-89, 1972. Disponível em: http://www.isc.meiji.ac.jp/~sano/hssj/pdf/Yagi_E-1973-Nagaoka_Atomic_Model-JSHS-No_11-pp73-89.pdf. Acesso em: 08 maio 2023.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZANETIC, J. **Física também é cultura**. 1989. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000731157>. Acesso em: 02 fev. 2023.

ZANETIC, J. Física e literatura: construindo uma ponte entre as duas culturas. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 13, p. 55-70, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hcsm/a/JDfShKQ4dxHXV7zWDx85ZcC/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 29 jan. 2024.

ZILLI, B. **Discursos sobre ciência de licenciandos em química a partir da obra Anjos e Demônios**: articulando elementos linguísticos e da natureza da ciência. 2018. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/153373>. Acesso em: 19 nov. 2022.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PRÉVIO

Questionário prévio

Nome: _____ Período: _____

E-mail: _____

1- Você já cursou as disciplinas de Química Geral I e II?

2- Até o presente momento, você sente alguma dificuldade em conceituar o que é um modelo atômico?

3- Você costuma fazer leituras para além do ambiente acadêmico? Se sim, qual tipo de gênero literário você gosta?

Obrigada pela sua contribuição.

=)

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO EMERGÊNCIA DA ICONICIDADE

Questionário 1

Nome: _____ Período: _____

E-mail: _____

As perguntas abaixo devem ser respondidas a partir das discussões realizadas e conforme a sua compreensão sobre elas.

1- O que você imagina quando escuta/vê a palavra átomo?

2- O que você pensa quando discute sobre modelos atômicos?

3- Quais reflexões você consegue estabelecer ao observar a figura abaixo?



4- O que o uso de equipamentos científicos na ciência representa para você?

6- Através de um desenho, represente o que o átomo significa para você.

Muito obrigada pela sua contribuição =)

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO APLICADO APÓS A LEITURA

Questionário 2

Nome: _____ Período: _____

E-mail: _____

As perguntas abaixo devem ser respondidas a partir das discussões realizadas e conforme a sua compreensão sobre elas.

1- “Argo, se os átomos não podem ser vistos, como Demócrito pode afirmar que eles existem? Se os átomos não podem ser nem tocados e tudo é feito deles, como enxergamos o mundo?”. Qual a sua opinião sobre esta citação?

2- Durante a leitura, quais as relações e dificuldades você encontrou ao pensar sobre a natureza do átomo?

3- “— [...] Não é fácil! Só mesmo com essas técnicas extremamente sofisticadas e com essa quantidade exorbitante de computadores pra eles conseguirem ver essas partículas. Ou então, nem precisa de nada disso. Basta usar a imaginação, como vocês estão fazendo agora olhando para mim. — Eu estou te vendo super bem! – afirmou Argo. — Isaac, você está vendo o Bóson? — Como se fosse real – respondeu Isaac de olhos fechados.”. Quais reflexões você consegue estabelecer a partir desse diálogo entre Isaac e Argo?

4- A partir das discussões sobre a leitura, como você compreendeu a relação entre átomo e modelo atômico?

5- Ao final da leitura, você acha que temos uma explicação correta para a estrutura da matéria? Justifique.

APÊNDICE D – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (PARA MAIORES DE 18 ANOS OU EMANCIPADOS)

Convidamos o(a) Sr.(a) para participar como voluntário(a) da pesquisa “Relações entre a imaginação e a iconicidade textual na obra Isaac no Mundo das Partículas: uma análise na construção de significados sobre o conceito de átomo”, que está sob a responsabilidade do(a) pesquisador(a) Marília dos Santos Marinho, no endereço Rua Senador Nilo Coelho, n. 264, São João da Escócia, Caruaru-PE, CEP: 55019-155, Tel.: (81) 9 9426-7672 – e-mail: marilia.santosmarinho@ufpe.br. E está sob orientação do Prof. Dr. João Roberto Ratis Tenório da Silva, Tel.: (81) 9 9660-4544 – e-mail: joao.ratis@ufpe.br.

Todas as suas dúvidas podem ser esclarecidas com o responsável por esta pesquisa. Apenas quando todos os esclarecimentos forem dados e você concorde com a realização do estudo, pedimos que rubriche as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma via lhe será entregue e a outra ficará com o pesquisador responsável.

O(a) senhor(a) estará livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu, bem como será possível retirar o consentimento em qualquer fase da pesquisa, também sem nenhuma penalidade.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

- **Descrição da pesquisa e esclarecimento da participação:** A aprendizagem de conceitos científicos perpassa por uma série de relações complexas e dinâmicas, considerando diálogos que a linguagem científica pode estabelecer com a realidade. Assim, esta pesquisa pretende analisar a relação entre a constituição de uma narrativa da literatura fantástica e a imaginação como um caminho para a aprendizagem do conceito de átomo. Para a presente pesquisa, o(a) participante responderá a alguns questionários físicos com informações pessoais e relacionadas ao referido conceito científico, participará de um debate sobre o átomo na História da Ciência/Química, realizará a leitura em dupla de trechos pré-selecionados da obra Isaac no Mundo das Partículas, que, posteriormente, serão debatidos, e participará de uma entrevista semiestruturada sobre os procedimentos realizados anteriormente. A coleta dos dados será feita durante três encontros, com duração de aproximadamente 2h cada, na disciplina de História da Química, de forma presencial, contando com momentos individuais e em grupo. Durante os momentos de debate, será solicitado que os participantes expressem suas opiniões e pensamentos sobre questões relacionadas à temática apresentada. Estes momentos serão registrados por uma videogravação. No momento da leitura em grupo, será feita uma gravação em voz, bem como na entrevista semiestruturada, através da qual perguntas serão direcionadas individualmente, em um momento em que estará apenas o(a) participante e a pesquisadora.
- **RISCOS:** Considerando a realização de debates durante a intervenção, os participantes podem se sentir constrangidos, mesmo que tenham assinado um termo de consentimento, ao serem solicitados para expor suas opiniões e pensamentos. Diante disso, a pesquisadora garantirá que os participantes que não se sentirem à vontade, poderão solicitar sua retirada da pesquisa, não havendo cobranças para que eles se exponham.
- **BENEFÍCIOS diretos/indiretos:** A realização da presente pesquisa constrói a possibilidade, para os participantes, de aprendizagem de um conceito científico a partir de uma obra de literatura fantástica, através da qual pode-se realizar uma abordagem histórica e epistemológica do conceito para reflexões em torno da construção do conhecimento na ciência. Os dados construídos poderão ser direcionados à comunidade acadêmica a fim de apresentar o potencial didático de obras da literatura na Educação em Ciências.

Esclarecemos que os participantes dessa pesquisa têm plena liberdade de se recusar a participar do estudo e que esta decisão não acarretará penalização por parte dos pesquisadores. Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa, como questionários, videogravações, gravações em voz e entrevistas, ficarão armazenados em um computador pessoal sob a responsabilidade da pesquisadora, no endereço acima informado, pelo período mínimo de 5 anos após o término da pesquisa.

Nada lhe será pago e nem será cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária, mas fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extra-judicial. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação serão assumidas pelos pesquisadores (ressarcimento de transporte e alimentação).

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, o(a) senhor(a) poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da UFPE no endereço: (Avenida da Engenharia s/n – 1º Andar, sala 4 - Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-600, Tel.: (81) 2126.8588 – e-mail: cephumanos.ufpe@ufpe.br).

assinatura do(a) pesquisador(a)

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO (A)

Eu, _____, CPF _____, abaixo assinado, após a leitura (ou a escuta da leitura) deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com o(a) pesquisador(a) responsável, concordo em participar do estudo “Relações entre a imaginação e a iconicidade textual na obra Isaac no Mundo das Partículas: uma análise na construção de significados sobre o conceito de átomo”, como voluntário(a). Fui devidamente informado(a) e esclarecido(a) pelo(a) pesquisador(a) sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

Caruaru, ___/___/____
 Assinatura do participante: _____

Impressão digital (opcional)

Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e o aceite do voluntário em participar. (02 testemunhas não ligadas à equipe de pesquisadores):

Nome:	Nome:
Assinatura:	Assinatura:

APÊNDICE E – ROTEIRO PARA DISCUSSÃO DA LEITURA

MOMENTOS DE LEITURA – roteiro de discussão Algumas perguntas norteadoras

Primeiro bloco (10 min.):

1. Vocês já haviam lido algum texto do tipo?
2. Até o presente momento, qual tema vocês perceberam que está sendo abordado?
3. Na pág. 15, Argo e Isaac estão em um diálogo:
“Mas me diga, Argo, há algo menor do que você neste universo? – Claro que sim, Isaac! Eu mesmo sou constituído de milhões dessas menores partes! – E nós conseguimos vê-las? – indagou Isaac. – Depende do que você chama de ‘ver’ – retrucou Argo. [...]”. O que vocês pensaram a respeito?

Segundo bloco (10 min.):

1. Na pág. 32: “[...] Mas como eles sabem que tem mais coisa dentro do átomo? Dá pra ver?...”. De que maneira esse diálogo se relaciona com os modelos atômicos?
2. Na pág. 47: No trecho “[...] basta que um copo seja minúsculo para modificarmos as propriedades dele...”, como vocês relacionariam esse trecho com o átomo?
3. Vocês se identificaram com alguma coisa no texto e gostariam de destacar?

APÊNDICE F – ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA E1

Metadados e orientações	
Nome do(a) entrevistado(a): XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	
Nome da pesquisadora presente: Marília dos Santos Marinho	
Data da entrevista: 20/06/2023	Local da entrevista: UFPE
Contato inicial:	
<input checked="" type="checkbox"/> Agradecer a disponibilidade em receber o(a) pesquisador(a); <input checked="" type="checkbox"/> Explicar as informações contidas no termo de consentimento.	
Procedimentos iniciais:	
<input type="checkbox"/> Preparar o gravador; <input type="checkbox"/> Iniciar a gravação.	
Questões para entrevista semiestruturada	
<i>Objetivo específico: Analisar diferentes vetores de significação a partir da relação sujeito/estudante – objeto/livro.</i>	
OK	1. No questionário 2, na pergunta 2 (Durante a leitura, quais as relações e dificuldades você encontrou ao pensar sobre a natureza do átomo?), você respondeu: “Sobre a existência das subpartículas e suas quebras (como a analogia da quebra da panela), que ficou confuso até para os cientistas”. Você poderia falar um pouco mais a respeito?
OK	2. No questionário 1, na pergunta 2 (O que você pensa quando discute sobre modelos atômicos?), você respondeu: “Os principais constituintes da matéria”. No questionário 2, na pergunta 4 (A partir das discussões sobre a leitura, como você compreendeu a relação entre átomo e modelo atômico?), você respondeu: “Átomo é a partícula real, existente, porém não conseguimos visualizar; os modelos entram como forma de explicar fenômenos vivenciados”. O que mudou para você nessas duas respostas?
OK	3. O livro provocou alguma mudança na sua forma de entender o átomo? Poderia dar um exemplo?
OK	4. Agora, como você imagina o átomo?
Considerações finais:	
<input checked="" type="checkbox"/> Perguntar ao entrevistado(a) se há alguma informação adicional que gostaria de acrescentar em relação aos assuntos abordados durante a entrevista; <input checked="" type="checkbox"/> Perguntar se ficou com alguma dúvida.	
Finalização e agradecimento:	
<input checked="" type="checkbox"/> Agradecer a disponibilidade em fornecer as informações; <input checked="" type="checkbox"/> Salientar que os resultados da pesquisa estarão à disposição dele(a) e, se tiver interesse, deverá entrar em contato com o(a) pesquisador(a).	

APÊNDICE G – ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA E2

Metadados e orientações

Nome do(a) entrevistado(a): E2

Nome da pesquisadora presente: Marília dos Santos Marinho

Data da entrevista: 20/06/2023

Local da entrevista: UFPE

Contato inicial:

- Agradecer a disponibilidade em receber o(a) pesquisador(a);
- Explicar as informações contidas no termo de consentimento.

Procedimentos iniciais:

- Preparar o gravador;
- Iniciar a gravação.

Questões para entrevista semiestruturada

Objetivo específico: Analisar diferentes vetores de significação a partir da relação sujeito/estudante – objeto/livro.

1. No momento da discussão, eu questionei sobre como a experiência com a leitura havia se relacionado com as discussões que nós tínhamos feito sobre o átomo na História da Química. Em uma parte da sua resposta, você disse: "...quando a gente começa a ler, tudo faz sentido, vai se encaixando e trazendo um pouco da ficção, da literatura, que um grão de areia falar, o Bóson tá ali interagindo, mas ele tá explicando a história por qual tá se passando, fica muito mais claro da gente entender". Você poderia falar um pouco mais sobre como isso foi para você?

2. No questionário 1, na pergunta 2 (O que você pensa quando discute sobre modelos atômicos?), você respondeu: "Os modelos mais antigos não são completamente falhos, são fundamentais para a época que ocorreram tendo em vista seu desenvolvimento até os dias atuais". No questionário 2, na pergunta 4 (A partir das discussões sobre a leitura, como você compreendeu a relação entre átomo e modelo atômico?), você respondeu: "Sim, o átomo existe de fato e os modelos cumprem o papel de explicá-los e mostra como eles se caracterizam e são representados". O que mudou para você nessas suas respostas?

3. O livro provocou alguma mudança na sua forma de entender o átomo? Poderia dar um exemplo?

4. Agora, como você imagina o átomo?

Considerações finais:

- Perguntar ao entrevistado(a) se há alguma informação adicional que gostaria de acrescentar em relação aos assuntos abordados durante a entrevista;
- Perguntar se ficou com alguma dúvida.

Finalização e agradecimento:

- Agradecer a disponibilidade em fornecer as informações;
- Salientar que os resultados da pesquisa estarão à disposição dele(a) e, se tiver interesse, deverá entrar em contato com o(a) pesquisador(a).

APÊNDICE H – ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA E3

Metadados e orientações

Nome do(a) entrevistado(a): E3

Nome da pesquisadora presente: Marília dos Santos Marinho

Data da entrevista: 20/06/2023

Local da entrevista: UFPE

Contato inicial:

- Agradecer a disponibilidade em receber o(a) pesquisador(a);
- Explicar as informações contidas no termo de consentimento.

Procedimentos iniciais:

- Preparar o gravador;
- Iniciar a gravação.

Questões para entrevista semiestruturada

Objetivo específico: Analisar diferentes vetores de significação a partir da relação sujeito/estudante – objeto/livro.

1. No questionário 1, na pergunta 2 (O que você pensa quando discute sobre modelos atômicos?), você respondeu: “São modelos propostos por cientistas para representar suas teorias do que seria o átomo e do que ele é constituído”. No questionário 2, na pergunta 4 (A partir das discussões sobre a leitura, como você compreendeu a relação entre átomo e modelo atômico?), você respondeu: “Que para além de uma representação de como o átomo é e do que ele é formado, os modelos atômicos representam como estes de comportam”. O que mudou para você nessas duas respostas?
2. No questionário 2, na pergunta 5 (Ao final da leitura, você acha que temos uma explicação correta para a estrutura da matéria? Justifique usando um exemplo do texto.), você respondeu: “Não, pois no texto também traz uma reflexão que nem tudo é feito de átomo. E, também, existem muitas descobertas a serem feitas e com o passar do tempo haverá outras explicações do que de fato a matéria é composta”. Você poderia falar um pouco mais a respeito?
3. O livro provocou alguma mudança na sua forma de entender o átomo? Poderia dar um exemplo?
4. Agora, como você imagina o átomo?

Considerações finais:

- Perguntar ao entrevistado(a) se há alguma informação adicional que gostaria de acrescentar em relação aos assuntos abordados durante a entrevista;
- Perguntar se ficou com alguma dúvida.

Finalização e agradecimento:

- Agradecer a disponibilidade em fornecer as informações;
- Salientar que os resultados da pesquisa estarão à disposição dele(a) e, se tiver interesse, deverá entrar em contato com o(a) pesquisador(a).

APÊNDICE I – PLANO DE AULA PARA A INTERVENÇÃO

PLANO PARA A INTERVENÇÃO

Turma: História da Química	Professor(a) pesquisador(a): Marília Marinho	Data: <i>A combinar.</i>
-----------------------------------	---	---------------------------------

Tópico: Aspectos históricos e epistemológicos do conceito de átomo	Duração: 3 encontros
---	-----------------------------

Objetivo: Discutir aspectos históricos e epistemológicos do átomo para a construção de significados sobre o desenvolvimento desse conceito científico.

Recursos e materiais didáticos: Apresentação em slide; trechos da obra Isaac no Mundo das Partículas; questionários com perguntas abertas; videografia; gravação em áudio.

<p>Metodologia:</p> <p>1º encontro – <u>(20 min.):</u> A intervenção iniciará a partir da apresentação da pesquisadora para a turma, por meio do(a) docente da disciplina. Em seguida, a pesquisa será apresentada para toda a turma, explicando as etapas que irão acontecer. O termo de consentimento será lido e então entregue aos participantes da pesquisa para ser assinado.</p> <p><u>(10 min.):</u> Será feita a aplicação do questionário prévio envolvendo os critérios de inclusão e exclusão da pesquisa.</p> <p><u>(50 min.):</u> A partir de uma apresentação em slide, discutiremos algumas questões que englobam o entendimento do átomo desde o pensamento dos gregos até o pensamento moderno, desenvolvido através da contribuição de diversos cientistas, inseridos em perspectivas históricas e epistemológicas distintas. Para isso, apresentaremos questões voltadas para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • As principais ideias gregas para a construção do conceito de átomo; • A ascensão de uma nova forma de pensar na Idade Média; • A Alquimia e o início da Química Moderna; • As relações com o conhecimento científico no contexto da modernidade (contribuições de cientistas; os modelos atômicos); <p>Durante o momento, buscaremos envolver os estudantes na discussão por meio de perguntas norteadoras voltadas para os tópicos acima.</p> <p>Posteriormente, haverá a aplicação do primeiro questionário com perguntas abertas <u>(10 min.)</u>, que trarão questões voltadas para a emergência de signos icônicos sobre o átomo.</p> <p>2º encontro – <u>(60 min.):</u> Realização dos momentos de leitura. Os estudantes formarão duplas para a realização desse momento. Ao receberem os trechos da obra, terão dois blocos de 20 minutos para realizarem a leitura (cada grupo terá um gravador de voz para captar possíveis discussões durante a leitura), intercalados de dois blocos de 10 minutos de discussão. Nesse momento, algumas perguntas envolvendo a obra serão lançadas para a turma, a fim de proporcionar o desenvolvimento da discussão.</p> <p>Em seguida, os estudantes deverão responder um questionário com perguntas abertas <u>(10 min.)</u> envolvendo a experiência com os trechos.</p>
--

3º encontro –

(50 min.): Será feita a realização da entrevista semiestruturada de forma presencial com os quatro estudantes selecionados a partir dos critérios de inclusão e exclusão. Durante a entrevista, que será realizada com um estudante por vez, a professora pesquisadora estará de posse de um roteiro de entrevista que guiará o momento. O roteiro contará com perguntas voltadas a explorar a relação entre os participantes e a obra de literatura fantástica usada durante a intervenção para a aprendizagem do conceito de átomo.

Referências:

ALFONSO-GOLDGARB, A. M. et al. **Percursos de História da Química**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

JUSTI, R.; GILBERT, J. History and philosophy of science through models: some challenges in the case of 'the atom'. **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 9, p. 993-1009, 2000.

MOREIRA, A. C. L. et al. Modelos atômicos: correlações entre aspectos representacionais e a essência do conhecimento. **Revista Debates em Ensino de Química**, v. 7, n. 1, p. 186-200, 2021.

MOURA, C. B. de.; GUERRA, A. Reflexões sobre o processo de construções da ciência na disciplina de química: um estudo de caso a partir da história dos modelos atômicos. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, v. 11, n. 2, p. 64-77, 2016.

PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 3, p. 213-227, 1999.

PINHEIRO, L. A.; COSTA, S. S. C. da.; MOREIRA, M. A. **Do átomo grego ao Modelo Padrão: os indivisíveis de hoje**. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2011.

TAKIMOTO, E. **Isaac no Mundo das Partículas**. 1. ed. 2018.