



Gegenstand: um modelo explicativo para a relação entre imaginação e aprendizagem em Ciências

Marília dos Santos Marinho¹

<https://orcid.org/0009-0009-3086-943X>

João Roberto Ratis Tenório da Silva¹

<https://orcid.org/0000-0001-9682-8889>

RESUMO:

A importância da imaginação na Educação Científica tem sido evidenciada por estudos que buscam investigar recursos pedagógicos que estimulem a imaginação. Todavia, essas investigações não têm se aprofundado nos processos de significação na sala de aula de Ciências, mediante o desenvolvimento da imaginação. Neste estudo, realizamos uma intervenção para discutir a história do átomo, a fim de observar como a obra *Isaac no Mundo das Partículas* poderia mediar o processo de aprendizagem através da imaginação. Ao analisarmos os dados advindos de entrevistas com os participantes, a partir do modelo do *Gegenstand*, identificamos que a narrativa proporcionou a ampliação e adaptação de significados sobre o átomo, além da mobilização de memórias afetivas, através de elementos fantásticos, durante os processos de significação. Nossos achados apontam ao potencial pedagógico de uma narrativa fantástica, à medida que estudantes realizam movimentos imaginativos como produções originais de significados.

Palavras-chave:
Átomo; Literatura fantástica;
Imaginação;
Gegenstand

Gegenstand: un modelo explicativo para la relación entre imaginación y aprendizaje en Ciencias

RESUMEN:

La importancia de la imaginación en la Educación Científica ha sido evidenciada por estudios que buscan investigar recursos pedagógicos que estimulen la imaginación. Sin embargo, dichas investigaciones no se han profundizado en los procesos de significación en el aula de Ciencias, a partir del desarrollo de la imaginación. En este estudio, realizamos una intervención para discutir la historia del átomo, con el fin de observar cómo la obra *Isaac en el Mundo de las Partículas* podría mediar el proceso de aprendizaje a través de la imaginación. Al analizar los datos provenientes de entrevistas con los participantes, a partir del modelo del *Gegenstand*, identificamos que la narrativa propició la ampliación y adaptación de significados sobre el átomo, además de la movilización de memorias afectivas, mediante elementos fantásticos, durante los procesos de significación. Nuestros hallazgos señalan el potencial pedagógico de una narrativa fantástica, en la medida en que los estudiantes realizan movimientos imaginativos como producciones originales de significados.

Palabras-clave:
Átomo; Literatura fantástica;
Imaginación;
Gegenstand

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

Gegenstand: an explanatory model for the relationship between imagination and learning in Science

ABSTRACT:

The importance of imagination in Science Education has been highlighted by studies that investigate pedagogical resources aimed at fostering imagination. However, such investigations have not sufficiently explored the processes of meaning-making in the science classroom through the development of imagination. In this study, we conducted an intervention to discuss the history of the atom in order to examine how the literary work *Isaac in the World of Particles* could mediate the learning process through imagination. By analyzing data derived from interviews with participants, using the *Gegenstand* model as an analytical framework, we identified that the narrative enabled the expansion and adaptation of meanings related to the atom, as well as the mobilization of affective memories through fantastic elements during meaning-making processes. Our findings point to the pedagogical potential of a fantasy narrative, insofar as students engage in imaginative movements as original productions of meaning.

Key words:
Atom; Fantasy
Literature;
Imagination;
Gegenstand

INTRODUÇÃO

Quando somos criança, as brincadeiras de faz de conta se constituem como uma ponte entre o mundo real e um universo de fantasias em que situações hipotéticas são idealizadas (Magid; Sheskin; Schulz, 2015). O faz de conta infantil permite que a criança configure um campo de significados em seu imaginário, criando sentimentos, pensamentos e vivências para novas realidades (Almeida; Krüger-Fernandes; Borges, 2020), preparando a criança para situações concretas. Ou seja, o ato de imaginar é um elemento importante do desenvolvimento infantil, exercitando a capacidade de abstração e representação simbólica.

Contudo, a imaginação não é uma função restrita à infância. Também na vida adulta ela desempenha um papel essencial na construção de significados, especialmente por meio da criação de imagens mentais que atuam como signos icônicos e simbólicos (Valsiner, 2012). Os movimentos imaginativos manifestam-se em diferentes esferas da atividade humana, tornando-se evidentes na produção de obras artísticas, na formulação de teorias científicas e mesmo nas ações cotidianas de resolução de problemas. Assim, a imaginação se configura como um processo dinâmico e contínuo, que articula experiência, emoção e conhecimento, contribuindo para a expansão das possibilidades de interpretação e criação no mundo humano.

Na Ciência, ao experimentar o mundo natural, cientistas tendem a representá-lo em forma de palavras, expressões, modelos e símbolos que transformam situações e entidades abstratas e hipotéticas em elementos concretos. Um exemplo disso é quando podemos interpretar o balanço de energia de uma reação química a partir de um gráfico de entalpia e, então, extrair informações como a quantidade de energia absorvida ou liberada no processo. Assim, a imaginação dialoga com o trabalho analítico, quando, a partir de conhecimentos atuais, novas ideias são geradas pela mediação de recursos simbólicos. Portanto, defendemos que o processo imaginativo é essencial na construção do conhecimento científico, também se configurando como elemento importante na dinâmica da aprendizagem científica.

Neste sentido, algumas pesquisas têm explorado o uso de ferramentas didáticas em relação com movimentos imaginativos na aprendizagem em Ciências. Alguns exemplos podem ser observados em diferentes estudos, como: (1) a experiência de estudantes que buscaram solucionar desafios químicos em uma aventura de RPG (Holanda, Cavalcanti & Guimarães, 2022); (2) a leitura de narrativas históricas que articulam a História Cultural da Ciência e as reações emocionais envolvidas na aprendizagem (Schiffer & Guerra, 2019); (3) a relação entre Literatura e Ciência como meio de favorecer a abstração de conceitos físicos (Lima & Ricardo, 2019); (4) a interface entre Ciência e Arte como geradora de situações educativas (Lima, Ramos & Piassi, 2020); e (5) a incorporação de papéis por crianças, em um modelo pedagógico voltado à resolução de problemas complexos da Ciência (Fleer, 2023).

Dessa forma, observa-se que a relevância da imaginação na aprendizagem científica vem sendo destacada por diversas pesquisas, configurando-se como um interesse crescente no campo da Educação em Ciências. Nesse contexto, a principal contribuição deste artigo consiste em aprofundar a compreensão sobre o papel da imaginação nos processos de aprendizagem em Ciências, propondo a utilização de um modelo teórico que permita analisar como a imaginação opera na construção de significados em sala de aula, a partir do uso de uma ferramenta didática.

Assim, apresentamos o modelo do *Gegenstand* (GG), fundamentado nas ideias de Valsiner (2014a) e posteriormente ampliado em outros trabalhos, como o de Tateo (2017a). Segundo esse autor, as coisas se transformam em objetos a partir de uma orientação afetiva, cultural e contextual. Nessa perspectiva, a relação entre sujeito e objeto pressupõe que o objeto resista às interpretações do sujeito, produzindo vetores de significação que podem tanto inibir quanto promover a construção de novos significados (Tateo, 2017a).

Essa concepção se articula com a perspectiva de aprendizagem da Psicologia Cultural Semiótica (PCS), a qual compreende a aprendizagem como um processo contínuo de construção de significados, sustentado por movimentos sucessivos de externalização e internalização² de materiais semióticos, que podem culminar na emergência de novos signos e significados (Valsiner, 2012). Neste estudo, o modelo do GG é adotado como uma alternativa teórico-metodológica para a pesquisa em Educação em Ciências, especialmente na interpretação do papel da imaginação nos processos de aprendizagem.

No contexto da sala de aula, compreendemos que um recurso didático pode se configurar como um objeto capaz de potencializar (ou não) a aprendizagem, a depender dos vetores de significação que emergem da relação entre o estudante e a ferramenta didática. Entre as possíveis ferramentas com potencial para mobilizar movimentos imaginativos orientados à aprendizagem, destacam-se os livros paradidáticos e as narrativas ficcionais.

As narrativas ficcionais intercambiam entre conteúdos abstratos e a realidade concreta. Uma obra literária de fantasia, como ferramenta didática na Educação Científica, pode tornar o impossível como parte do mundo real (Ramos; Piassi, 2017), promovendo movimentos imaginativos. Um exemplo é o livro *Isaac no Mundo das Partículas* (Takimoto, 2018), o qual conta a história de um garoto que viaja para um mundo imaginário explorando a natureza dos constituintes da matéria. Seleccionamos essa obra como recurso didático para, à luz do modelo do GG, interpretar como estudantes podem estabelecer relações de resistência/significação com os conteúdos científicos.

Portanto, temos como objetivo neste artigo analisar o processo de construção de significados sobre o conceito de átomo, por estudantes de um curso de licenciatura em Química, a partir da relação entre o livro *Isaac no Mundo das Partículas* e a imaginação, com base no modelo do GG.

A IMAGINAÇÃO NO MODELO DO *GEGENSTAND* (GG)

Na perspectiva da PCS, o ser humano possui agência no mundo (Valsiner, 2012). Para compreendermos essa capacidade, é fundamental considerarmos a relação indissociável entre pessoa e cultura. Segundo a PCS, a cultura pertence ao meio e às funções psicológicas humanas, à medida que o indivíduo engaja em práticas sociais (Valsiner, 2012). Portanto, ao mesmo tempo em que a cultura exerce um papel constitutivo na mente humana, nós, seres humanos, operamos culturalmente por meio de relações que criamos com nós mesmos e com o meio. No contexto dessas relações, entendemos a agência do ser humano, que se dá pela nossa capacidade de agir

² De acordo com Valsiner (2012), a internalização e externalização de materiais semióticos acontece através dos relacionamentos dos indivíduos com o ambiente. Materiais semióticos do meio são internalizados à medida que os indivíduos os analisam e logo os submetem a um processo de síntese, para que se tornem parte de seu sistema intrapsicológico como ferramentas para a construção de significados. A externalização acontece de maneira paralela e complementar, enquanto analisam e sintetizam os materiais já internalizados para agir sobre o meio. Dessa forma, um ambiente modificado alimenta novos processos de internalização e externalização.

sobre os objetos do meio com intencionalidade. As nossas intenções transformam as coisas com que interagimos em objetos, para torná-los parte das nossas relações com nós mesmos e com o mundo, criando oportunidades para novas relações e transformações (Valsiner, 2014a).

A transformação de coisas em objetos possui uma natureza dinâmica e processual, que ocorre por meio de mediações semióticas. Desse modo, as experiências humanas designam processos intrapsicológicos e interpssicológicos que são mediados por *signos* (Valsiner, 2012). Para Valsiner (2012), signos são ferramentas culturais que medeiam a relação entre indivíduo e mundo. Através de nossas atividades, os signos se transformam em signos mediadores, que, segundo o autor, transformam-se em substâncias para significar novas experiências. Assim, é possível compreender o que caracteriza um *Gegenstand* em nossos processos de significação.

Um *Gegenstand* é um objeto significativo que emerge de um processo de transformação na relação com algo que pode resistir às nossas projeções (ficar contra – *Gegen + stand*) (Valsiner, 2014a). Dessa forma, segundo Valsiner (2014a), um *Gegenstand* é o resultado da transformação coisa-objeto, conforme atribuímos significados aos objetos a partir das resistências encontradas em nossas interações. Essa dinâmica relacional possibilita a construção de novos sentidos e significados (Valsiner, 2018), sustentada por trocas semióticas que transformam simultaneamente o indivíduo e aquilo com que ele interage.

Os *Gegenstandem* não existem em si mesmos; são fenômenos psicológicos (Tateo, 2017a), elaborados na mente para uma construção de sentidos/significados. Ao nos relacionarmos com os objetos (concretos ou abstratos), pode emergir uma dinâmica de resistência-direcionalidades (Tateo, 2017a). Essa dinâmica acontece por intermédio da cultura, enquanto os objetos são submetidos a processos de significação, para que se constituam como parte das nossas experiências com o mundo. Na Figura 1, podemos observar tal dinâmica, segundo o modelo do GG.

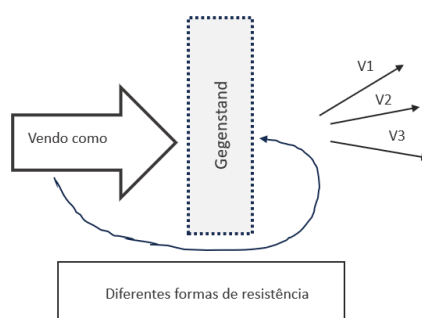


Figura 1 – A dinâmica de resistência-direcionalidades no modelo do *Gegenstand*.

Fonte: Valsiner (2014b, p. 154 como citado em Tateo, 2017a, p. 240, tradução nossa).

Nossa relação com o objeto se dá pelo processo de *ver-como*. Este processo baseia as nossas intenções com o objeto, as quais são permeadas de forma afetiva, cultural e contextual (Tateo, 2017a). Conforme selecionamos características do objeto para significá-lo, ele pode resistir às nossas interpretações, implicando na emergência de vetores de significação (*v1*, *v2* e *v3*) (Tateo, 2017a), possíveis significados emergentes a partir da mediação do GG. Por exemplo, a imaginação de um artista de grafite é alimentada por processos de *ver-como*, à medida que um muro pode intensificar a arte urbana, criando uma dinâmica de resistência-direcionalidades com o artista, resistindo de forma a ampliar sentidos e significados dos seus desenhos produzidos (Tateo, 2017a).

A dinâmica entre a agência da pessoa no mundo e o objeto constitui movimentos imaginativos que transcendem uma mera aproximação daquilo que é irreal. A imaginação, considerada uma função mental

superior³ (Vygotsky, 1991), constrói resultados em nosso mundo cultural e social. Essa construção é alimentada pela nossa relação com o GG, para que movimentos constantes em relação ao futuro possam ser criados. Dessa maneira, podemos refletir sobre a noção de tempo irreversível (Valsiner, 2018), característica da relação entre presente, passado e futuro, os quais não se fundem. Um estado psicológico não pode retornar a um anterior, uma vez que, ao se relacionar com o GG, os possíveis vetores de significação criados já se tornaram passado, e novos movimentos para o futuro são constantemente alimentados, por meio da imaginação (Valsiner, 2018). Também consideramos o processo imaginativo na forma *como-se*, que, para Valsiner (2018), se caracteriza quando o indivíduo projeta cenários hipotéticos para o futuro e constrói sentidos sobre, atuando como se esse futuro já estivesse no presente. Isso acontece com base em uma fronteira temporal (presente-futuro), por meio da relação com o objeto significativo, que orienta a ação e reflexão em direção à concretização de possibilidades (Valsiner, 2018). Esses processos são delineados pelo papel ativo do ser humano em selecionar aspectos dos objetos para significar suas experiências e intenções (Tateo, 2015a).

Na História da Ciência e da Química (HdC/HdQ), a imaginação integra os processos de significação, atuando na articulação entre as dimensões empírica, teórica e metodológica para a construção do conhecimento científico. Em termos da Natureza da Ciência (NdC), a imaginação participa da construção do conhecimento, a partir da elaboração de sínteses de dados empíricos e formulação de hipóteses, que assim cria um novo ciclo de construção do conhecimento (Tateo, 2020). Nesse sentido, a imaginação não opera de forma isolada. Se tratando de um processo dinâmico, a atividade imaginativa pode ser observada, por exemplo, na construção de modelos científicos, como os modelos atômicos, que articulam evidências empíricas, teorias e projeções imaginativas para a compreensão de fenômenos na Ciência. No contexto deste estudo, enfatizamos o papel da imaginação no processo de aprendizagem, em destaque, na construção de significados sobre conceitos científicos abstratos.

Modelos científicos podem ser apresentados por meio de analogias, enquanto dispositivos semióticos para representar o conhecimento científico. Ao estabelecer correspondências entre o que é familiar e aquilo que é abstrato, as analogias mobilizam a imaginação. Na sala de aula de Ciências, analogias são frequentemente usadas, a fim de dialogar conteúdos abstratos com a realidade concreta. No entanto, devemos considerar que essas ferramentas precisam estar alinhadas com as intenções didáticas do(a) docente, que deve reconhecer o potencial e os limites delas no ensino e aprendizagem de conceitos científicos abstratos⁴, como os modelos atômicos. O modelo atômico nuclear de Rutherford, na HdC, foi representado por uma analogia com o sistema planetário (Tateo, 2020). As características analógicas do sistema planetário podem mobilizar imagens, comparações e inferências para tornar inteligível um fenômeno abstrato. Nesse sentido, concordamos com Tateo (2020), que argumenta que a imaginação atua como uma atividade mediadora, capaz de dar forma e articular conceitos, a partir de relações dialéticas com estruturas de representação.

Para Tateo (2020), a imaginação também exerce uma função autorreguladora, a qual dialoga com a nossa racionalidade, permitindo que a atividade imaginativa contribua para a produção de novos processos de semiose. Dessa forma, à medida que coisas – concretas ou abstratas – são transformadas em objetos semióticos, observamos como a racionalidade científica não se separa dos movimentos imaginativos na compreensão e explicação do mundo. Reconhecer esse entrelaçamento pode nos fazer refletir sobre a maneira com que modelos são abordados na Educação Científica, não apenas como representações estáticas, mas enquanto GG, como

³ As funções mentais superiores são capacidades mentais de origem sociocultural, desenvolvidas a partir das relações dos indivíduos com o meio (Vygotsky, 1991). Ao interagir com o meio, a pessoa usa e cria signos que, mais tarde, se tornarão artefatos na construção de novos signos e significados. Essas construções medeiam a formação de funções mentais superiores, constituindo a nossa capacidade de criar estímulos artificiais para interagir com o meio e significá-lo.

⁴ Na Educação Científica, o uso de analogias não deve ser tomado como um fim em si mesmo. As investigações de Didiş (2015) evidenciaram que, durante o ensino e aprendizagem de conceitos da teoria quântica, estudantes produziram múltiplas analogias, articulando imagens, movimentos corporais e linguagem verbal. Segundo a pesquisadora, as analogias, enquanto potenciais elementos instrucionais, estão implicadas à importância do estabelecimento de conexões entre os elementos analógicos e seus equivalentes. Mobilizar referências do mundo macroscópico para compreender a lógica do mundo quântico, por exemplo, pode impor obstáculos à aprendizagem, uma vez que os fenômenos daquele domínio não se aplicam diretamente a este. Por isso, é imprescindível levarmos em consideração a mediação na aprendizagem científica, promovendo reflexões acerca dos elementos analógicos nos conceitos científicos abstratos.

objetos históricos/científicos e cognitivos que podem favorecer a aprendizagem ao mobilizar as capacidades imaginativas dos estudantes.

Podemos considerar outro exemplo de GG na sala de aula de Ciências: as narrativas ficcionais. Textos de ficção que abordam conceitos científicos abstratos os incorporam às configurações semióticas próprias do gênero. A leitura de um texto ficcional desperta a imaginação, permitindo que conceitos sejam imaginados, questionados e atribuídos a sentidos e significados pelos leitores. Enquanto GG, a ficção se torna um objeto significativo, conforme pode mobilizar imagens, metáforas e cenários para a aprendizagem de conceitos científicos abstratos, possibilitando a emergência de novos significados. Discutimos acerca das características desse gênero textual e suas implicações para a aprendizagem científica no tópico a seguir.

TEXTOS DE FICÇÃO PARA A APRENDIZAGEM EM CIÊNCIAS

A Ciência e a Arte são áreas do conhecimento que não parecem passíveis de se relacionar. Zanetic (1989), em sua tese *Física também é cultura* (1989), discute a construção das Ciências como parte de contextos culturais, o que demonstra potencialidades em abordar a Filosofia e HdC para discutir a Física. Dessa forma, para o pesquisador, a técnica experimental e a matemática vão ao encontro do imaginário das épocas, demonstrando a Ciência e a Arte como atividades humanas sob influência da imaginação. Assim, a barreira entre essas áreas do conhecimento é ofuscada, dando espaço para a construção de abordagens didáticas na sala de aula de Ciências.

Charles Percy Snow (1905-1980), em sua obra *As Duas Culturas*, aponta sobre as dificuldades na comunicação entre as Ciências e as Humanidades. Quando esses conhecimentos são colocados em caixas, há um esquecimento das questões psicológicas, sociais e éticas na cultura científica, bem como em conceitos básicos da Ciência que fazem parte da cultura humanística (Snow, 1995). Ou seja, embora essas esferas do conhecimento possuam as suas particularidades, como atividades intelectuais humanas, uma pode enriquecer a compreensão da outra. Segundo Bronowski (1998), produzimos manipulações mentais acerca de realidades não imediatas. Por exemplo, em textos de ficção científica, ao serem explorados dilemas dos avanços tecnológicos, conceitos científicos são unidos às perspectivas reflexivas acerca da realidade. Dessa forma, a Ciência e a Arte se constituem como parte de um trabalho criativo, o qual se dá por meio da imaginação (Bronowski, 1998). Com isso, a imaginação se torna uma ferramenta para a interface Ciência-Arte, que pode criar potencialidades educativas na aprendizagem em Ciências, ao pôr conceitos científicos sobre as características de uma narrativa.

A mediação docente é fundamental para explorar a potencialidade do uso da ficção na aprendizagem científica. Mello e Rezende Filho (2025) realizaram um estudo da aplicação do filme *O Homem de Ferro 2* em uma sala de aula de Química do Ensino Médio, para investigar como os estudantes distinguem o conhecimento científico da ficção científica, além de analisar o papel dos elementos ficcionais e das estratégias de mediação do professor. Os resultados indicaram que mesmo que essa abordagem promova uma autonomia interpretativa individual, é preciso que haja a mediação docente, indispensável para a distinção entre linguagem científica e ficcional. Os elementos da ficção científica, como o *novum* (inovação na ficção) e o maravilhoso (senso de admiração), podem contribuir para uma confusão entre ciência e ficção, especialmente pela materialização audiovisual de conceitos científicos abstratos, como a representação visual de um elemento químico no filme (Mello; Rezende Filho, 2025). Esse estudo evidencia que a relação professor-estudantes é fundamental no diálogo entre ciência e ficção em situações didáticas.

Na Literatura, como uma expressão artística, podemos considerar que um texto nunca está totalmente pronto, pois o leitor é também escritor, à medida que os signos, nos contextos frasais, desencadeiam signos referentes (imagens mentais), os quais se materializam no pensamento (Simões, 2009). Isso acontece mediante a subjetividade dos leitores e as interrelações histórico-culturais no e com o texto, as quais são permeadas pelas funções icônicas das palavras, caracterizadas por relações de verossimilhança com o que buscam representar (Simões, 2007). Nessa perspectiva, nos interessa o potencial da interface Literatura-Ciência, conforme a imaginação é estimulada para a construção de significados sobre um conceito científico abstrato. Para isso, destacamos a literatura fantástica, entendida como um gênero literário que introduz nas narrativas elementos que rompem com as leis do mundo real. Com isso, os elementos fantásticos permeiam as características do estranho e maravilhoso, quando o leitor está em conflito diante dos acontecimentos ou admirado com uma realidade que carrega suas próprias regras, respectivamente (Todorov, 2010).

Narrativas do gênero fantástico têm potencial educativo por suas características do estranho e do maravilhoso. Tal potencial se dá por meio das concepções contraintuitivas que se encontram tanto nas narrativas quanto em realidades físicas abstratas (Ramos; Piassi, 2017), ou o que chamamos de “características absurdas”, conforme não se alinham às explicações do mundo empírico. Ramos e Piassi (2017) argumentam que essas características do fantástico podem fomentar um cenário para a aprendizagem, à medida que estimulam reflexões nos estudantes, enquanto estes tentam criar relações com os conteúdos da Ciência que desafiam o senso comum. Dessa forma, é possível criar caminhos de aprendizagem por uma estratégia planejada pelo(a) docente, conforme acontece a mediação da leitura do universo fantástico. Este, proporciona uma atmosfera de diálogo com conceitos científicos abstratos, por meio de movimentos imaginativos.

Alice no País das Maravilhas foi escrita pelo matemático e escritor Lewis Carroll, e apresenta enigmas matemáticos e lógicos mediante uma viagem, delineada pela imaginação e fantasia (Piassi, 2015). Inspirada nessa obra, temos *Alice no País do Quantum* (1998), escrita por Robert Gilmore, que apresenta conceitos da Física Quântica sob a ótica de analogias (Gilmore, 1998). As características absurdas da narrativa ficcional contornam o estranhamento comumente associado aos conceitos da teoria quântica, criando potencialidades de apropriação dos conceitos pelos leitores (Piassi, 2015). Souza e Neves (2016) observaram que as fantasias no *País do Quantum* emergem potencialidades para a interpretação de uma realidade não palpável, de tal forma que, mesmo que se trate de uma ficção, ela é mensurável na natureza. Para os pesquisadores, tal perspectiva pode constituir uma ferramenta para o processo de aprendizagem na Educação Científica.

A escolha de textos literários como materiais didáticos para a sala de aula de Ciências pode apresentar alguns desafios. Custodio e Bargalló (2018) realizaram uma revisão bibliográfica seguida de entrevistas semiestruturadas com profissionais das áreas de Educação, Ciências e Literatura (incluindo professores, bibliotecários e escritores), a fim de analisar os desafios da inserção de narrativas literárias no ensino de Ciências para uma alfabetização científica. Os principais resultados da investigação demonstraram que a falta de uma formação específica voltada para a leitura gera inseguranças em docentes de Ciências, que julgam tal abordagem didática como um “terreno desconhecido” em relação a uma abordagem tradicional. As pesquisadoras também apontam algumas outras restrições, em termos do tempo necessário para a leitura, uma análise prévia das obras pelo(a) docente (alinhar rigor científico aos objetivos didáticos da faixa etária), e a baixa disponibilidade de exemplares em bibliotecas escolares. Diante das potencialidades do uso da Literatura na Educação em Ciências, como a humanização do conhecimento científico, é preciso considerar as intencionalidades didáticas dos professores, as quais são atravessadas pelo engajamento deles com a atividade de leitura.

Araújo, Lima e Almeida (2023), que analisaram a obra *Isaac no Mundo das Partículas* (2018), de Erika Takimoto, apresentam reflexões sobre como essa obra, por intermédio de uma narrativa de comunicação científica, elabora conceitos cientificamente corretos de maneira precisa e acessível. Os pesquisadores constataram que, pela especificidade da linguagem científica, a interface Ciência-Literatura pode potencializar a aprendizagem de conceitos científicos complexos. No entanto, esse estudo não se aprofundou na promoção do processo de aprendizagem dos leitores. Os pesquisadores recomendam uma investigação sobre a internalização dos conceitos a partir da forma com que eles são dispostos no texto. Salientamos que a objetividade dos conceitos na Ciência é imprescindível para a Educação Científica. Porém, devemos levar em consideração outros aspectos que atravessam o processo de aprendizagem, como os fatores sociais, culturais e afetivos, os quais já discutimos, e que, na interface Ciência-Literatura, estão sob influência da imaginação.

Isaac no Mundo das Partículas é um livro escrito usando uma linguagem repleta de elementos fantásticos e indagações filosóficas acerca da natureza da matéria, com o objetivo de ensinar Física de Partículas⁵. Dessa maneira, se trata de um livro de divulgação científica. Além disso, os elementos usados pela escritora para apresentar um assunto tão complexo, torna o livro um romance literário de fantasia. Isaac, o personagem principal da narrativa, viaja para o *Mundo das Partículas* usando a imaginação. Durante sua jornada, conta com a companhia de um grão de areia falante, Argo, que se torna uma fonte de questionamentos sobre o universo e as suas dimensões (Figura 2).

⁵ <<https://elikatakimoto.com/isaac-no-mundos-das-particulas/>>. Acessado em: 25 jul. 2025.



Figura 2 – Isaac observando um grão de areia falar.
Fonte: Takimoto (2018, p. 12).

Ao decorrer da narrativa, acompanhamos as aventuras de Isaac e Argo, da Grécia Antiga ao Centro Europeu de Pesquisa Nuclear (CERN), em busca de respostas para o principal questionamento do protagonista: será que aquela minúscula *partícula* de areia poderia ser dividida em partes menores? (Takimoto, 2018). A jornada dos personagens representa a história do átomo sendo contada sob uma perspectiva da HdC. Ademais, os conceitos na obra são abordados por analogias e metáforas, as quais carregam elementos fantasiosos. Dessa forma, a narrativa coloca os leitores sob as mesmas perspectivas dos personagens, à medida que nos reconhecemos nas indagações acerca dos fenômenos do mundo microscópico, os quais escapam da nossa experiência cotidiana.

Em *Isaac no Mundo das Partículas*, as partículas elementares ganham vida, criando uma ponte entre o fantástico e os conceitos científicos. Por exemplo, em uma cena em que os personagens entram em um diálogo com a partícula Bóson de Higgs, ela expressa medo de colidir com outras partículas e se transformarem em "farelos de *quarks*" (Takimoto, 2018). Essa descrição metafórica evoca imagens mentais associadas ao *Modelo Padrão das partículas elementares*. Embora fenômenos atômicos não sigam a lógica do mundo macroscópico, como "farelos", a ficção contorna as relações abstratas dos conceitos ao tornar o impossível como parte do real (Ramos; Piassi, 2017). Assim, ao personificar partículas, a narrativa promove caminhos para pensar conceitos complexos, mediando uma aprendizagem científica usando a fantasia.

Com isso, este estudo propõe o uso da obra *Isaac no Mundo das Partículas* como uma ferramenta potencialmente educativa, para contribuir na aprendizagem do conceito de átomo por meio da mobilização da imaginação, segundo o modelo do GG.

MODELOS ATÔMICOS NA APRENDIZAGEM EM CIÊNCIAS

A compreensão do conceito de átomo passou por uma trajetória histórica, marcada pela formulação de diferentes modelos, para representar o mundo invisível das partículas atômicas. Ideias sobre a origem do universo já eram exploradas em sociedades como os maias, babilônios, egípcios, indianos e chineses, que passavam de geração para geração suas visões de mundo, por meio dos mitos (Lindberg, 1992). No entanto, na Grécia Antiga, apesar dos pensamentos egípcios e mesopotâmicos terem sido importantes para moldar a filosofia natural, os filósofos gregos pré-socráticos também adotaram novos modos de pensar, baseados na racionalidade (Lindberg, 1992). Essa maneira de interpretar o mundo natural impulsionou sucessivas reelaborações conceituais sobre os modelos atômicos ao longo da HdC.

Os modelos atômicos ganharam novos significados entre o século XIX e o século XX. Durante esse período, a emergência de investigações empíricas e formulações teóricas forneceram as bases para que o átomo evoluísse de um corpúsculo indivisível para algo regido por leis científicas mais complexas (Melzer; Aires, 2015). A compreensão da constituição do átomo e sua modelagem não aconteceu de uma maneira simplesmente

cumulativa e linear, mas sob a revisão de conceitos e formulação de novas hipóteses por diversas personalidades, que criaram novas possibilidades explicativas, sem abandonar teorias precedentes (Lopes, 2009). O *Modelo Padrão das partículas elementares*, por exemplo, é uma teoria matemática que explica as interações entre as partículas fundamentais da matéria (Moreira, 2009), sendo a explicação mais sofisticada que possuímos para compreender as relações abstratas na constituição da realidade física.

As representações sobre o átomo foram interpretadas sob a perspectiva de diversas áreas, como a radioatividade, eletricidade e espectroscopia (Lopes, 2009). Hoje, as compreensões que possuímos sobre o átomo são aplicadas em campos como: tecnologia, medicina e sustentabilidade. Contudo, vale salientar que tais compreensões não foram influenciadas apenas pelas Ciências Naturais; dimensões técnicas, sociais e culturais também atravessaram a construção de conhecimentos científicos, o que reafirma o caráter contextual e coletivo da Ciência (Moura; Guerra, 2016). Diante disso, consideramos que modelos científicos, em destaque os modelos atômicos, mobilizaram operações mentais complexas ao longo da HdC. Essas operações também permeiam o campo da aprendizagem na Educação Científica, e emergem a necessidade de pensarmos os modelos como ferramentas cognitivas e culturais para representar o que não pode ser experienciado diretamente.

Moreira et al. (2021), com base na epistemologia de Mario Bunge, apresentam a ideia de objetos-modelo, criados a partir da observação de fenômenos, os quais são esquematizados e submetidos a hipóteses. Os objetos-modelo não representam a realidade, mas um conjunto de ideias lógicas para interpretá-la. Para Moreira et al. (2021), isso possui implicação com a essência do conhecimento. A construção de conhecimentos é contornada pela nossa capacidade de raciocinar – manter trocas entre o real e o idealizado –, para criar possibilidades de tornar o mundo concreto inteligível (Moreira et al., 2021). Assim, criamos representações sobre o mundo, que são interpretadas à luz de teorias. No âmbito da sala de aula de Química, por exemplo, esses conceitos podem se apresentar de tal forma: o conceito de átomo como um objeto-modelo; as teorias usadas para interpretá-lo ao longo da HdC, como a mecânica clássica e a mecânica quântica; e os modelos atômicos como modelos teóricos para interpretar sistemas físicos.

A compreensão da NdC é essencial para a formação de professores de Ciências, pois influencia diretamente suas práticas pedagógicas e a forma como ensinam seus alunos a pensar cientificamente (Abd-El-Khalick, 2013). Maia e Justi (2020) destacaram a importância de abordagens reflexivas na formação inicial de professores de Química, especialmente no que tange ao uso de modelos e modelagem científica. As pesquisadoras investigaram o desenvolvimento das concepções de licenciandos em Química sobre NdC, modelos e modelagem, por meio de um curso de formação baseado em casos históricos. As análises mostraram que, inicialmente, os licenciandos percebiam os modelos como meras representações de entidades abstratas, sem considerar o seu papel na investigação científica. Os principais resultados do estudo mostraram que, ao longo do curso, os futuros educadores adotaram uma perspectiva mais reflexiva sobre o conhecimento científico, reconhecendo a influência de fatores históricos, sociais e éticos na construção de modelos. Para Maia e Justi (2020), professores em formação possuem dificuldades em articular teoria e prática escolar. Essas lacunas na integração de conceitos ao contexto escolar perpassam pela necessidade de estratégias pedagógicas mais explícitas e reflexivas na formação de professores, construindo possibilidades para um ensino de Ciências mais autêntico e significativo, que trabalhe conceitos científicos de uma maneira mais ampla, em suas dimensões histórica, social e epistemológica, por exemplo, para além da sua dimensão estritamente teórica.

As relações existentes entre o conhecimento científico e o mundo concreto transcendem a elaboração de conceitos teóricos. Por meio da HdC, compreendemos que a Ciência não progride de maneira linear, mas por diálogos com contextos socioculturais (Moura; Guerra, 2014). Nesse sentido, reforçamos que o ensino e aprendizagem de Ciências vão além da assimilação de conceitos abstratos, incorporando dimensões sociais, culturais e históricas na construção de significados. Ao considerarmos tais dimensões, a Educação Científica ganha novas perspectivas, que incorporam os processos da Ciência e suas implicações aos contextos.

Macedo, Pantoja e Moreira (2020) investigaram a assimilação dos conceitos de modelo atômico e paradigma científico por estudantes de um Ensino Médio, a partir da aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) sobre a evolução epistemológica dos modelos atômicos, com base na Aprendizagem Significativa de Ausubel. Em termos das análises qualitativas dos autores, as atividades iniciais aplicadas mostraram déficit de conhecimentos sobre o átomo, modelos atômicos e paradigmas científicos (a

partir da epistemologia de Thomas Kuhn). Os autores argumentam que, sobre as dimensões conceituais e histórico-epistemológicas, os alunos fizeram assimilações significativas mais aprofundadas e próximas ao discurso científico na atividade final. Para os pesquisadores, tais evidências reforçam a promoção para a ocorrência de uma Aprendizagem Significativa ao longo da UEPS. Contudo, esse estudo se limita a uma abordagem didática, pela qual é enfatizada a realização de mudanças na compreensão de conceitos complexos. Além disso, observamos a ausência de reflexões sobre outras dimensões do processo de aprendizagem de conceitos histórico e culturalmente delineados, como dimensões subjetivas e contextuais.

Na Educação Científica, a natureza dos modelos científicos se insere nos processos de ensino e aprendizagem e nas problemáticas em torno de um realismo ingênuo na sala de aula (Moreira et al., 2021). Ao considerarmos a aprendizagem de conceitos científicos como um processo ativo do estudante, que engloba as suas relações intra e interpessoais na construção de significados, salientamos a importância de inserir ferramentas didáticas que, com suas configurações semióticas, criem potencialidades no ensino e aprendizagem de conceitos científicos abstratos.

METODOLOGIA

Este estudo se baseou em uma metodologia de análise ideográfica (Schneider & Valle, 1995), com a qual objetivamos compreender a construção de caminhos de aprendizagem individuais, ao considerarmos a complexidade de indivíduos com suas experiências e particularidades. Assim, não necessitamos de uma grande amostra para generalizar os resultados, justificando a realização de nossas análises mediante a participação de três estudantes nesta pesquisa.

Os dados foram coletados em uma turma de História da Química de um curso de licenciatura em Química, em uma universidade pública do Estado de Pernambuco. Este estudo é um recorte de uma pesquisa maior de mestrado, que foi submetida e aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa. Os participantes da pesquisa consentiram que seus dados fossem analisados, assinando o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Para garantir o anonimato, identificamos os estudantes participantes da pesquisa pela letra “E” seguida de um número (ex.: E1, ...), e referidos ao longo do texto pelo gênero.

A intervenção foi realizada com a turma inteira, com o objetivo de discutir a história do átomo. No momento de leitura e discussão dos trechos da obra, organizamos a sala em duplas. Com base nos critérios de que todos deveriam ter cursado as disciplinas de Química Geral I e II, e que pelo menos um deles gostasse de fazer leituras em geral e possuísse alguma dificuldade em conceituar modelo atômico, selecionamos três estudantes (E1, E2 e E3) como recorte analítico para ilustrar as discussões apresentadas neste artigo. Considerando que a análise aqui realizada diz respeito ao terceiro encontro (entrevista) – como será discutido adiante –, os dados apresentados foram analisados individualmente para cada participante selecionado. Para escolhermos os participantes dessa pesquisa, além do cumprimento dos critérios estabelecidos, também levamos em consideração a frequência de participação nos momentos da intervenção.

Procedimento de coleta de dados

Realizamos encontros durante o mês de junho de 2023. Nesses encontros, ocorreram um debate sobre a história do átomo, leitura e discussão de três trechos pré-selecionados da obra *Isaac no Mundo das Partículas* e uma entrevista.

A coleta de dados se deu em três etapas, as quais ocorreram em três encontros:

- 1) Encontro 1: realização de um debate em torno de aspectos históricos e epistemológicos do átomo na História da Ciência/Química com registro em áudio e vídeo e questionário;
- 2) Encontro 2: realização de momentos de leitura e discussão de três trechos da obra, nos quais o personagem principal, Isaac, junto com outros personagens, viaja, pela imaginação, à areia de uma praia, à Grécia Antiga e para dentro de um acelerador de partículas, lançando indagações sobre a constituição da matéria.

Para a leitura, organizamos a turma em duplas, e as discussões foram registradas por videogravação e houve a aplicação de um segundo questionário;

3) Encontro 3: realização de uma entrevista, registrada com o uso de gravadores de voz, em que os participantes compartilharam suas experiências individuais com a leitura e reflexões geradas. Consequentemente, algumas perguntas feitas aos participantes divergiram, inclusive retomando o que havia sido respondido nos questionários anteriores. Além disso, iniciamos a entrevista com uma pergunta deflagradora. Nas respostas transcritas, preservamos os erros gramaticais que surgiram. Os respectivos roteiros e as transcrições das respostas que serão apresentados e analisados constituem os resultados deste estudo.

No recorte do presente artigo, nossos resultados apresentados focam na análise do Encontro 3, a partir da observação de vetores de significação durante a entrevista, na identificação de possíveis significados construídos sobre o conceito de átomo em função da mediação do livro como GG.

Análise de dados

Para a análise do Encontro 3 - entrevista - consideramos a construção de vetores de significação sobre o átomo a partir da relação dos indivíduos com a obra de ficção utilizada neste estudo. Com base no arcabouço teórico aqui apresentado e na metodologia ideográfica, propomos categorias de análise mediante os vetores de significação via o GG (Tateo, 2017a) (Quadro 1).

Quadro 1 - Categorias de análise propostas com base no modelo do GG.

CATEGORIAS	
<i>A priori:</i>	
Vetor ampliação: a relação estudante-livro pode possibilitar que as maneiras pelas quais o átomo é abordado na história sejam intensificadas. Por exemplo, quando ocorrer a emergência de possíveis novos significados sobre o átomo, conforme o(a) estudante recortar aspectos da obra e extrapolá-los ao seu cotidiano.	
<i>A posteriori:</i>	
Vetor adaptação: as atuações dos personagens na história oferecem perspectivas para a significação do átomo no mundo real. Os discursos dos estudantes na construção de significados incorporam os diálogos dos personagens. Ou seja, o(a) estudante constrói significados sobre o átomo na sua realidade sob uma ótica dos personagens literários.	Vetor afetividade: o processo de construção de significados acontece pelo entrelaçamento de materiais semióticos afetivamente conotados. Elementos fantásticos na narrativa, como objetos inanimados dotados de características humanas, podem se relacionar com memórias afetivas do(a) estudante, possibilitando a emergência de novos significados.

Fonte: própria.

Os vetores apresentados acima emergem das tensões geradas na interação dos estudantes com o GG, neste caso, a obra de ficção. Ao ler trechos do livro, este pode resistir às explicações prévias dos estudantes acerca do átomo, colocando em tensão interpretações já existentes e convocando-os a reorganizá-las por meio de elementos da narrativa. Não se trata de uma negação do que já se sabe, mas uma mediação para a seleção de qualidades do objeto significativo que, neste contexto, assume um papel potencialmente educativo na aprendizagem científica, pelo trabalho da imaginação. Dessa maneira, vetores de significação podem emergir como direcionalidades possíveis para a construção de significados sobre o átomo.

Para a identificação dos vetores de significação, mapeamos marcadores discursivos nas falas dos participantes. Esses marcadores correspondem a unidades linguísticas e semióticas que nos ajudam a identificar os modos de relação dos estudantes com o GG. Utilizamos a ferramenta on-line *Voyant Tools*⁶ para auxiliar na identificação da frequência desses marcadores, expressa, ao longo de nossas interpretações, por um número

⁶ <<https://voyant-tools.org/>>. Acessado em: 9 fev. 2026.

dentro de um parêntese, como por exemplo: átomo (4). Posteriormente, relacionamos os marcadores identificados aos vetores (categorias de análise) a partir de uma análise interpretativa. Os marcadores foram interpretados como indicativos de direcionalidades de significados por meio da forma com que se articularam nos discursos dos participantes, por exemplo: marcadores que expressam expansão de sentidos ou extrapolação para além da narrativa se associam ao **vetor ampliação**; aqueles que indicaram apropriação de perspectivas dos personagens se relacionaram ao **vetor adaptação**; e marcadores que evidenciaram evocação de memórias afetivas se associaram ao **vetor afetividade**. Dessa forma, inferimos os processos de significação emergentes da relação dos estudantes com o livro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para analisar a emergência dos diferentes vetores de significação na relação estudante-livro, consideramos a função geradora da subjetividade dos indivíduos. A partir da aprendizagem como um processo dinâmico e ativo, pautado em uma cultura pessoal e coletiva, nosso objetivo com esse estudo alinhou-se à observação sobre como cada participante construiu seus respectivos significados em função da obra utilizada. Assim, nossas análises serão apresentadas como caminhos individuais de aprendizagem, os quais foram nomeados por meio da identificação dos processos que alimentaram a prospecção de significados, a partir da relação com o GG. Os caminhos mostram que, do momento de leitura e discussão dos trechos do livro à entrevista, os estudantes mobilizaram elementos da obra em seus discursos. Tais aspectos, com base no modelo do GG, nos possibilitou inferir o papel da imaginação na construção de significados.

E1 – Ampliando e adaptando significados

Como parte da entrevista, fizemos uma pergunta deflagradora aos participantes. Nosso intuito foi questionar de que maneira os trechos do livro foram vistos, uma vez que olhamos para a obra como o GG da pesquisa. Sendo este um fenômeno psicológico (Valsiner, 2014a), há um processo de resistência à vontade da pessoa, quando ela transforma algo em um objeto para significá-lo na realidade. Assim, cria-se uma dinâmica com direcionalidades (vetores) de significados, por meio do processo semiótico de *ver-como* (Tateo, 2017b). Na resposta de E1, identificamos que desse processo semiótico emergiram os seguintes vetores de significação: ampliação e adaptação (Quadro 2).

Quadro 2 - 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: própria.

Como destacado no Quadro 2, pela frequência das palavras livro (5), mediador (4) e ficção (4), E1 viu o livro como um material didático, que a partir de um mediador, pode contribuir na formação. Na investigação, constatamos que os processos que alimentaram este caminho de aprendizagem foram influenciados por uma troca entre o fantástico na obra e a realidade concreta do estudante, a partir da mediação em sala de aula. Assim, observamos que os marcadores frequentes no discurso de E1 se associaram aos vetores de significados pelos processos de ampliação (extrapolação de recortes da obra ao cotidiano); e adaptação (incorporação de diálogos entre os personagens na aprendizagem do átomo).

Na primeira pergunta da entrevista com E1, buscamos compreender como a leitura poderia ter proporcionado relações sobre a natureza do átomo (Quadro 3).

Quadro 3 - 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: própria.

Ao identificarmos os marcadores analogia (4) e padrões (3) como mais frequentes no discurso de E1, inferimos a emergência do vetor ampliação para significar fenômenos a nível atômico. A quebra de partículas é significada pelo estudante e ampliada a manifestações no mundo concreto. Por exemplo, quando metáforas e analogias da obra influenciam a (res)significação do estudo da Química, mediante a construção de recursos linguísticos, como outras metáforas e analogias (chocar um átomo com outro átomo). Outros termos, como “gente”, também apareceram com frequência no discurso do estudante, mas não foram pertinentes às nossas análises, pois se trata de locuções, vícios de linguagem.

Ao questionarmos se o livro havia modificado a maneira de compreender o átomo (Quadro 4), a predominância do marcador refletir (2) se associou a uma ressignificação sobre modelos, via vetor ampliação.

Quadro 4 - Pergunta da entrevista com E1 sobre a forma de compreender o átomo a partir do livro.

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: própria.

A compreensão sobre modelos atômicos é ampliada pelo estudante, que considera fundamental a utilização de modelos para além de uma aplicação. Quando E1 associa os modelos às reações químicas, ele é incentivado a refletir sobre o porquê de determinados fenômenos ocorrerem, em vez de pensar apenas como ocorrem. Uma abordagem crítica permite estabelecer relações com a problemática em torno de um realismo ingênuo sobre modelos frequentemente presente na Educação Científica (Moreira et al., 2021). Dessa maneira, a mediação da obra influenciou E1 a significar os modelos e criar relações com a realidade. Essas relações, quando exploradas em sala de aula, podem ser fundamentais para compreender aspectos da NdC e contribuir para um aprendizado mais crítico e reflexivo.

Ao analisarmos a resposta de E1 sobre como ele agora imaginava o átomo (Quadro 5), notamos que os marcadores visão (3) e modelo (3) se associaram aos vetores ampliação e adaptação.

Quadro 5 - Última pergunta da entrevista com E1.

PQ	Agora, como você imagina o átomo?
E1	<i>Rapaz... (risos), 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: própria.

No Quadro 5, E1 amplia significados, conforme destaca que não existe uma visão exata do átomo, e a evolução dos modelos atômicos revela essa noção. O estudante adapta significados sobre o átomo ao se apropriar da ideia de que o pensamento é uma maneira de entender a realidade. Essa abordagem está no enredo da obra, à medida que Takimoto (2018) apresenta a HdC como um cenário em que os personagens usam o pensamento para alimentar dúvidas e curiosidades sobre um mundo desconhecido. Evidenciamos que a mediação do conteúdo da obra estimulou a reflexão acerca da complexidade de conceitos científicos, como os modelos atômicos, ascendendo as relações de evolução e multiplicidade na Ciência.

A interface Ciência-Arte cria possibilidades de transição entre fantasia e mundo real. Segundo Patriarcha-Graciolli (2021), a identificação com histórias e personagens, na Arte, permite que crianças descubram o mundo. Extrapolamos esse fenômeno à vida adulta, pois as simbologias na narrativa ficcional ajudam a (res)significar experiências. Embora Takimoto (2018) não desenvolva, explicitamente, discussões sobre a NdC, encontramos, neste caminho de aprendizagem, indícios de que os elementos da narrativa foram reinterpretados à luz das próprias reflexões do estudante acerca das relações entre modelo e a construção do conhecimento científico. Nesse processo, a mediação docente mostrou-se fundamental para orientar a leitura de trechos da obra e favorecer articulações entre os elementos ficcionais e o conceito científico discutido. Portanto, nosso estudo, ao usar a literatura ficcional, enquanto um tipo de Arte, corrobora com os achados de Mello e Rezende Filho (2025), em termos da importância da mediação docente na hora de usar a ficção como uma ferramenta potencialmente didática na aprendizagem de conceitos científicos.

Os processos imaginativos que tornaram o livro um objeto significativo (Tateo, 2017b) para E1 foram alimentados por relações culturais e contextuais (Valsiner, 2014a). Ou seja, novos significados emergiram das expectativas culturais (pessoal e coletiva), enquanto o contexto colocou o objeto sob negociações, tornando-o significativo para o estudante. As resistências do livro (GG) aos atos de vontade do estudante E1, fez com que este selecionasse aspectos narrativos. Dessa forma, a relação Literatura-Ciência, por entre metáforas e analogias, possibilitou formas de pensar o conteúdo (Piassi, 2015). Por exemplo, a analogia da “quebra da panela”, mencionada no Quadro 3, no *Mundo das Partículas*, mobilizou reflexões de E1 acerca da complexidade e imprevisibilidade dos fenômenos subatômicos, especialmente ao contrastá-los com padrões da Química.

E2 – Ampliando, adaptando e significando de forma afetiva

Por meio da frequência dos marcadores livro (2) e escolas (2), observamos que E2 viu o livro como um material paradidático em sala de aula, capaz de proporcionar uma aprendizagem interativa e criativa (Quadro 6). Além dos vetores de significação ampliação e adaptação, o vetor afetividade foi identificado pela retomada e interrelação de experiências afetivas com o átomo sob a ótica da narrativa fantástica.

Quadro 6 - Pergunta deflagradora feita para E2.

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: própria.

Sobre as mudanças que o livro pode ter proporcionado na compreensão do átomo, a prevalência dos marcadores partículas (5) e acelerador (4) se associaram a emergência dos vetores ampliação a afetividade (Quadro 7).

Quadro 7 - Pergunta sobre como o livro mudou a compreensão sobre o átomo.

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, <i>The Flash</i>, 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: própria.

No Quadro 7, E2 relaciona a série *The Flash* à sua curiosidade sobre o que acontece dentro de um acelerador de partículas. Os elementos fantasiosos dispostos na narrativa (diálogos da partícula Bóson com Isaac dentro do acelerador de partículas) fomentam a mobilização dos conceitos “partícula” e “acelerador”, que são conectados afetivamente com a experiência de assistir à série. Assim, salientamos que a contextualização dos conceitos na história possibilita relações dialógicas em sala de aula, tal qual defendido por Groto e Martins (2015), englobando os conhecimentos prévios entre professor(a) e estudantes.

Como parte da natureza tripla do GG (Valsiner, 2018, p. 10), a orientação para o futuro, pela dinâmica (ação + contra ação), possibilita que lacunas sejam preenchidas a partir do processo imaginativo ‘*como-se*’. Constatamos como isso ficou evidente em E2, à medida que a imagem da partícula falante, Bóson de Higgs, dentro do acelerador de partículas, constituiu-se potencialmente existente em um cenário *como-se* fosse real, por intermédio do trabalho da imaginação. As reflexões geradas a partir da obra podem emergir vetores de significação em novas situações de aprendizagem. Portanto, a partir deste estudo, destacamos que a relação Literatura-Ciência, não só cria uma dialogicidade, mas aponta a uma produção de significados original (Tateo, 2020), proporcionada pela imaginação.

A tese central da PCS diz que mediamos signos para construir significados por meio de um relacionamento afetivo com o mundo (Valsiner, 2012). Ou seja, os materiais semióticos do âmbito intra e

interpsicológico da pessoa são mediados pelos seus afetos. Neste estudo, observamos como a literatura fantástica também fez parte desse processo. Corroboramos com os argumentos de Ramos e Piassi (2017), ao afirmarem que o fantástico cria possibilidades educacionais. Isso é evidenciado quando o *Mundo das Partículas* no livro fomentou movimentos imaginativos para a compreensão de um mundo intangível, e se relacionou à retomada das experiências passadas e expressão de aspectos afetivos que guiaram o processo de significação.

Para E2, o ato de imaginar o átomo, após a leitura, se associou a uma troca entre o seu mundo concreto e a linguagem literária e poética da narrativa (Quadro 8). Na resposta, notamos uma predominância dos marcadores universo (3), soltos (2) e estrela (2), que se associaram à emergência dos vetores ampliação e adaptação.

Quadro 8 - Pergunta sobre como agora a estudante E2 imagina o átomo.

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: própria.

Observamos uma ampliação de significados sobre o átomo como uma imagem falha com potencial para novas descobertas. Isso se relaciona a uma adaptação que a estudante E2 faz da narrativa (Isaac olhando um grão de areia na praia) à experiência de ver “grãos” de estrelas soltos no céu (como átomos). Assim, E2 se apropria da perspectiva do personagem Isaac para pensar um conceito científico. Tal forma poética e literária de enunciar o conceito transcende o objetivo dessas linguagens (Ramos; Piassi, 2017). As descrições ficcionais funcionam não só como uma forma de capturar a realidade, mas também de reconstruí-la. Pelo estímulo da imaginação, E2 prospecta um céu estrelado, cuja existência distante e incerta se assemelha ao átomo. Assim, coisas são transformadas em objetos semióticos (Tateo, 2016) que autorregulam o processo de aprendizagem. Neste estudo, esse processo é alimentado pela dinâmica (ação – resistência) da estudante com o livro e indica um potencial didático desse recurso no desenvolvimento da imaginação para a aprendizagem.

Na última pergunta da entrevista (Quadro 9), a resposta de E2 explorou uma perspectiva questionadora (presente na narrativa) sobre a indivisibilidade do átomo. A predominância dos marcadores indivisível (4) e átomo (3) se relacionaram a uma ampliação e adaptação de significados impulsionados pela obra.

Quadro 9 - 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. Ai 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: própria.

Em nossas investigações, notamos que falas como “será que é mesmo indivisível?” são adaptadas da narrativa às futuras experiências da estudante como docente. Além disso, ela amplia significados sobre o átomo interligando-os às experiências prévias e futuras melhorias em práticas docentes. Além das relações culturais e contextuais no processo semiótico de *ver-cómo*, neste caminho de aprendizagem, cabe destacar as relações afetivas. Estas, no contexto da interface Ciência-Literatura, fomentam horizontes de aprendizagem por interrelações da pessoa consigo mesma e com a natureza. Isso nos leva a argumentar o potencial dessa interface didática para discutir a história dos modelos atômicos em contextos socioculturais (Moura; Guerra, 2014). A contemplação do mundo, sob um olhar investigativo, pode ser a ponte para construir ideias sobre fenômenos naturais (também sociais e culturais), ligados às vertentes epistemológicas do conhecimento científico.

E3 – Ampliando e adaptando significados

A frequência do marcador linguagem (2) nos possibilitou inferir que E3 viu o livro como um material paradidático, para contextualizar conceitos por meio de uma linguagem menos formal (Quadro 10).

Quadro 10 - 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: própria.

Na primeira e segunda pergunta para E3 (Quadro 11), o estudante retomou conhecimentos prévios e os relacionou com a obra para ampliar significados sobre o átomo.

Quadro 11 - Primeira e segunda pergunta 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 entender 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: própria.

A predominância dos marcadores constituído (4), átomo (4) e partículas (3) na resposta da primeira pergunta, e constituído (3) e átomo (3) na resposta da segunda pergunta, se relacionaram à emergência do vetor ampliação. O estudante, pela dinâmica (ação – resistência) com o GG, move-se no presente retomando concepções sobre o átomo que são (res)significadas a um futuro. E3 amplia significados ao considerar a existência do átomo, seu comportamento e a sua relação com a tecnologia e inovação ao longo do tempo. Além disso, enfatizamos que, quando o estudante afirma que “nem tudo é constituído de átomo”, ele não está retomando exatamente o conteúdo da obra. A autora não faz essa afirmação. Dessa maneira, consideramos que o estudante extrapolou o conteúdo da narrativa, conforme imaginou algo hipotético sobre as descobertas futuras da Ciência. Não interpretamos essa afirmação como uma negação da constituição da matéria, mas como um levantamento de hipótese, conforme ele também afirma: “mas, posteriormente, talvez daqui a um mês, dois meses, um ano, a gente vai ter outra concepção, porque farão novas descobertas”. Isso se articula às discussões realizadas durante a mediação pedagógica sobre o caráter histórico e mutável dos modelos científicos. Ademais, a construção desses significados também é estimulada pela metáfora de *Isaac no Mundo das Partículas*, que atribui aos assuntos da Ciência um lugar na imaginação do leitor. Esta, como uma função mental superior, regula a intenção do estudante (atribuir contexto ao átomo) e, assim, cria uma troca contínua do objeto concreto com o conceito abstrato, e vice-versa (Tateo, 2015b).

Ao questionar como o estudante agora imagina o átomo (Quadro 12), observamos uma incorporação de elementos da narrativa à fala de E3, designando a emergência dos vetores ampliação e adaptação na construção de significados sobre o átomo.

Quadro 12 - Pergunta sobre como E3 agora imagina o átomo.

PQ	Ótimo, entendi. Para encerrar, agora, como você imagina o átomo?
E3	<i>Eu imagino que seja uma partícula bem bem bem pequeninha, 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: própria.

Os marcadores partícula (3), átomo (3), pequena (2), livro (2) e imagino (2) se associam ao despertar da imaginação de E3 pela viagem de Isaac até o *Mundo das Partículas*. Ao interagir com o livro, o estudante idealiza o átomo, ocorrendo, assim, uma ampliação de significados daquilo que constitui o mundo ao seu redor. Isso acontece pelo estímulo da imaginação provocado pela obra, configurando uma adaptação de significados, conforme o estudante retoma um objeto fictício (grão de areia falante) para criar relações de semelhança com um objeto do mundo real (átomo). Do mesmo modo, há uma identificação do leitor com o personagem Isaac, pois ambos possuem anseios sobre os mistérios da natureza. Assim, por interações dialógica e dialética com o mundo, E3 constrói maneiras de (re)significar relações entre as dimensões macro e microscópica.

A aprendizagem, como um processo de construção de significados (Valsiner, 2012), se transforma constantemente. Por isso, os signos que são extraídos da obra e manipulados não se traduzem em uma totalidade no pensamento do estudante. O processo de *ver-como*, neste estudo, cria trocas semióticas, que são emergentes da relação com o GG (o livro). Nesse sentido, a imaginação se constitui como via de elaboração de significados no mundo cultural e social (Tateo, 2016). Na perspectiva do modelo do GG, a obra se transforma em um objeto semiótico que, por sua vez, assume um papel autorregulador nos movimentos intra e interpsicológicos do indivíduo para o processo de aprendizagem em Ciências.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pesquisas exploraram o uso de ferramentas didáticas na Educação Científica e demonstraram a importância da imaginação na aprendizagem (Schiffer; Guerra, 2019; Lima; Ricardo, 2019; Lima; Ramos; Piassi, 2020; Holanda; Cavalcanti; Guimarães, 2022). Este estudo, com base na Psicologia Cultural Semiótica e no modelo do *Gegenstand*, deu enfoque ao papel da imaginação na construção de significados do conceito de átomo, a partir da relação estudantes x literatura fantástica. A análise dos caminhos individuais de aprendizagem dos participantes da pesquisa nos possibilitou observar que prospecções (vetores) de significados sobre o átomo aconteceram por trocas semióticas entre a narrativa fantástica e questões subjetivas dos indivíduos.

O livro *Isaac no Mundo das Partículas* tornou-se um objeto significativo (*Gegenstand*), mediante formas de resistência que emergiram da relação estudantes-livro para alimentar movimentos imaginativos. Dessa maneira, novos significados sobre o átomo foram identificados pela predominância de marcadores nos discursos dos estudantes (E1, E2 e E3), que se associaram aos vetores de significados.

De forma geral, os resultados indicam que a narrativa fantástica favoreceu movimentos imaginativos na construção de significados sobre o átomo. Em E1 e E3, isso se expressou por processos de extrapolação de recortes da obra até o cotidiano e adaptação das perspectivas dos personagens à realidade concreta. Em E2, além disso, observamos a emergência do vetor afetividade, conforme a estudante realizou movimentos imaginativos ao captar elementos fantásticos da narrativa e os relacionar às suas memórias afetivas passadas (como ver série). Assim, entendemos que os participantes não apenas reproduziram as imagens e analogias presentes na obra, mas as reelaboraram imaginativamente a partir de seus conhecimentos prévios, afetos e experiências. Nesse sentido, os significados emergentes da relação com o *Gegenstand*, analisados nesta pesquisa, destacam o papel da imaginação como uma produção original de significados. Ainda assim, reconhecemos que os movimentos imaginativos podem ter sido delimitados parcialmente por elementos presentes na intervenção, de forma que as conceituações estivessem dentro dos limites do que seria aceitável no contexto escolar.

Este estudo corrobora um potencial pedagógico da relação entre os discursos literário e científico que são manipulados pelos estudantes para atender às suas necessidades educativas (como a apropriação de conceitos científicos). As imagens criadas e manipuladas pela narrativa fantástica tornam-se ferramentas na construção de significados sobre o átomo pela criação de cenários imaginativos. Olhamos para a imaginação na aprendizagem em termos da capacidade humana de gerar novas ideias quando algo é transformado em um objeto de significância. Então, nos colocamos diante de processos criativos, que vão além da esfera literária, sendo parte da linguagem científica (Tateo, 2020).

Pesquisas empíricas trazem novos elementos que subsidiam uma melhor compreensão das possibilidades de uma ferramenta pedagógica, perspectiva já apontada por Schiffer e Guerra (2019). Com isso, destacamos que o uso da literatura fantástica na aprendizagem de um conceito científico transcende as relações entre fantasia

e mundo real. Esta pesquisa apresenta a análise de processos complexos associados à aprendizagem, como o desenvolvimento da imaginação. Tais processos, ao serem considerados por professores em exercício ou em formação, podem contribuir na sala de aula de Ciências, à medida que estudantes recapitulam suas experiências com o mundo natural sob uma ótica da fantasia, mediando novos significados que podem regular trocas com o mundo concreto.

Reconhecemos que a investigação da dimensão imaginativa na aprendizagem científica envolve desafios teórico-metodológicos importantes, especialmente porque os movimentos imaginativos nem sempre se manifestam de forma explícita nos discursos dos participantes. Por isso, destacamos a necessidade de futuras investigações que explorem diferentes formas de mediação didática e seus impactos na mobilização da imaginação na aprendizagem científica. Embora nossas investigações usando o modelo do *Gegenstand* possibilitem analisar movimentos imaginativos na construção de significados sobre um conceito científico, nossos dados não foram ajustados para uma análise sobre como esses movimentos, pautados na narrativa fantástica, podem ter inibido a prospecção de novos significados. Portanto, também recomendamos que novos estudos observem relações promotoras (ou inibidoras) na aprendizagem, considerando a abstração dos signos em uma obra de literatura fantástica e a manipulação deles pelos estudantes em contextos educativos. Os signos promotores existem em nossos relacionamentos com o ambiente, à medida que os usamos como operadores semióticos que podem promover significados possíveis a serem construídos no futuro (Valsiner, 2012). Nessa direção, a noção de signos promotores mostra-se pertinente para compreendermos como signos já internalizados podem operar nas orientações pessoais de construção de significados, a partir das interações com ferramentas didáticas. Dessa maneira, podemos gerar novas discussões para a Educação Científica, acerca dos caminhos pessoais possíveis como certos recursos podem sustentar movimentos imaginativos na aprendizagem de conceitos científicos abstratos.

Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pela concessão de bolsa de mestrado à primeira autora.

Referências Bibliográficas

- Abd-El-Khalick, F. (2013). Teaching with and about nature of science, and science teacher knowledge domains. *Science & Education*, 22(9), 2087-2107. <http://dx.doi.org/10.1007/s11191-012-9520-2>
- Almeida, B. P. de., Krüger-Fernandes, L., & Borges, F. T. (2020). De espectadora a criadora: imaginação, faz de conta e mídia televisiva no desenvolvimento infantil. *Psicologia & Sociedade*, 32, e205296. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-0310/2020v32205296>
- Araújo, J. F. V., Lima, G. S., & Almeida, S. A. (2023). Presentation of concepts in a children's science communication book: the case of "Isaac no Mundo das Partículas". *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 25(1), e39775. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21172022240136T>
- Bronowski, J. (1998). *O olho visionário: ensaios sobre arte, literatura e ciência*. Editora Universidade de Brasília.
- Custodio, I. P., & Bargalló, C. M. (2018). Potencialidades y dificultades de incorporar la novela como contexto en clase de ciencias. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 11(2), 346-367. <https://doi.org/10.3895/rbect.v11n2.8432>
- Didiş, N. (2015). The analysis of analogy use in the teaching of introductory quantum theory. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(2), 355-376. <https://doi.org/10.1039/C5RP00011D>
- Fleer, M. (2023). The role of imagination in science education in the early years under the conditions of a Conceptual PlayWorld. *Learning, Culture and Social Interaction*, 42, 100753. <https://dx.doi.org/10.1016/j.lcsi.2023.100753>

Gilmore, R. (1998). *Alice no país do quantum: A física quântica ao alcance de todos*. Zahar.

Groto, S. R., & Martins, A. F. P. (2015). Monteiro Lobato em aulas de ciências: aproximando ciência e literatura na educação científica. *Ciência & Educação (Bauru)*, 21(1), 219-238. <https://doi.org/10.1590/1516-731320150010014>

Holanda, F. V. V. de., Cavalcanti, E. L. D., & Guimarães, R. L. (2022). RPG Last Chance of Earth: análises dos processos imaginativos no desafio sobre a acidez de compostos orgânicos. *Revista Eletrônica Ludus Scientiae (Ludus)*, 6, 192-212.

Lima, G. da S., Ramos, J. E. F., & Piassi, L. P. de C. (2020). Ciência, poesia, filosofia: diálogos críticos da teoria à sala de aula. *Educação em Revista*, 36, e215986, 1-20. <https://dx.doi.org/10.1590/0102-4698215986>

Lima, L. G. de., & Ricardo, E. C. (2019). O ensino de Mecânica Quântica no nível médio por meio da abstração científica presente na interface Física-Literatura. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 36(1), 8-54. <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2019v36n1p8>

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

Lopes, C. V. M. (2009). *Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica* [Tese de Doutorado, Universidade Católica de São Paulo]. Repositório digital PUCSP. <https://tede2.pucsp.br/handle/handle/13442>

Macedo, M. dos S., Pantoja, G., & Moreira, M. A. (2020). Modelos atômicos no Ensino Médio: uma unidade de ensino potencialmente significativa com ênfase em uma descrição epistemológica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 25(2), 235-258. <http://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n2p235>

Maia, P. F., & Justi, R. (2020). Conhecimentos de professores sobre Natureza da Ciência em contextos de modelagem: contribuições de atividades formativas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 19(3), 520-545.

Magid, R. W., Sheskin, M., & Schulz, L. E. (2015). Imagination and the generation of new ideas. *Cognitive Development*, 34, 99-110. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cogdev.2014.12.008>

Mello, R. V. M., & Rezende Filho, L. A. C. (2025). Senso do maravilhoso em filmes de ficção científica: turvando conhecimento científico e ficção no Ensino de Química. *Ciência & Educação*, 31, e25035. <http://dx.doi.org/10.1590/1516-731320250035>

Melzer, E. E. M., & Aires, J. A. (2015). A história do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr. *Amazônica: Revista em Educação em Ciências e Matemáticas*, 11(22), 62-77. <https://dx.doi.org/10.18542/amazrecm.v11i22.2137>

Moura, C. B. de., & Guerra, A. (2014, Novembro 17-19). *Modelos atômicos da virada do século XIX para o século XX: um resgate de personagens para discutir aspectos sobre Natureza da Ciência* [Sessão de Conferência]. III Conferencia Latinoamericana Del International, History and Philosophy of Science Teaching Group IHPST – LA 2014, Santiago, CL.

Moura, C. B. de., & Guerra, A. (2016). 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*, 11(2), 64-77. <https://dx.doi.org/10.54343/reiec.v11i2.205>

Moreira, A. C. L., da Silva, D. M., Mota, D. S., & de Farias, D. R. (2021). Modelos atômicos: correlações entre aspectos representacionais e a essência do conhecimento. *Revista Debates em Ensino de Química*, 7(1), 186-200. <https://dx.doi.org/10.53003/redequim.v7i1.3382>

- Moreira, M. A. (2009). O Modelo Padrão da física de partículas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 31(1), 1306.1-1306.11. <https://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172009000100006>
- Patriarcha-Gracioli, S. R. (2021). *Diálogos educacionais entre literatura infantil, educação científica e ambiental* [Tese de Doutorado, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul]. Repositório digital UFMS. <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/4052>
- Piassi, L. P. de C. (2015). De Émile Zola a José Saramago: interfaces didáticas entre as ciências naturais e a literatura universal. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 15(1), 33-57.
- Ramos, J. E. F., & Piassi, L. P. (2017). O insólito e a física moderna: interfaces didáticas do conto fantástico. *Ciência & Educação (Bauru)*, 23(1), 163-180. <https://dx.doi.org/10.1590/1516-731320170010010>
- Schiffer, H., & Guerra, A. (2019). Problematizando práticas científicas em aulas de física: o uso de uma história interrompida para se discutir ciência de forma epistemológica-contextual. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 19, 95-127. <http://dx.doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2019u95127>
- Schneider, J. F., & Valle, E. R. M. (1995). O indivíduo denominado esquizofrênico – análise ideográfica. *Revista Brasileira de Enfermagem*, 48(3), 286-296. <https://doi.org/10.1590/S0034-71671995000300010>
- Simões, D. (2007). *Iconicidade e verossimilhança*. Dialogarts.
- Simões, D. (2009). *Iconicidade Verbal. Teoria e Prática*. Dialogarts.
- Souza, A. R. de., & Neves, L. A. dos S. (2016). 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*, 33(3), 1145-1160. <https://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p1145>
- Snow, C. P. (1995). *As Duas Culturas e uma segunda leitura*. EDUSP.
- Takimoto, E. (2018). *Isaac no Mundo das Partículas* (1ª ed.).
- Tateo, L. (2020). *A theory of imagining, knowing and understanding*. Springer Briefs in Psychology.
- Tateo, L. (2015b). Giambattista Vico and the psychological imagination. *Culture & Psychology*, 21(2), 145-161. <http://dx.doi.org/10.1177/1354067X15575695>
- Tateo, L. (2015a). Just an illusion? Imagination as higher mental function. *Journal of Psychology & Psychotherapy*, 5(6), 1-6. <http://dx.doi.org/10.4172/2161-0487.1000216>
- Tateo, L. (2017b). Seeing imagination as resistance and resistance as imagination. In N. Chaudhary, P. Hviid, G. Marsico, & J. W. Villadsen (Orgs.), *Resistance in every life: constructing cultural experiences* (pp. 233-245). Springer.
- Tateo, L. (2017a). Use your imagination: the history of a higher mental function. In B. Wagoner, I. B. De Luna, & S. H. Awad (Orgs.), *The psychology of imagination: history, theory and new research horizons* (pp. 47-66). Information Age Publishing.
- Tateo, L. (2016). What imagination can teach us about higher mental functions. In J. Valsiner, G. Marsico, N. Chaudhary, T. Sato, & V. Dazzani (Eds.), *Psychology as the science of human being* (pp. 149-164). Springer.
- Todorov, T. (2010). *Introdução à literatura fantástica* (3ª ed.). Perspectiva.
- Valsiner, J. (2014a). *An Invitation to Cultural Psychology*. Sage.

Valsiner, J. (2012). *Fundamentos da Psicologia Cultural – Mundos da Mente, Mundos da Vida*. Artmed.

Valsiner, J. (2018). The human psyche on the border of irreversible time: forward-oriented semiosis. In G. Marsico, & J. Valsiner (Orgs.), *Beyond the mind: cultural dynamics of the psyche* (pp. 503-532). Information Age Publishing Inc.

Vygotsky, L. S. (1991). *A formação social da mente*. Martins Fontes.

Zanetic, J. (1989). *Física também é cultura* [Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo]. Repositório digital USP. <https://repositorio.usp.br/item/000731157>

Marília dos Santos Marinho

Titulação: Mestra em Educação em Ciências e Matemática pelo Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e Matemática da Universidade Federal de Pernambuco – Campus Acadêmico do Agreste.

Afiliação institucional: Doutoranda em Ensino pelo Programa de Pós-graduação Rede Nordeste de Ensino – Polo UFRPE.

E-mail: marilia.marinho@ufrpe.br

Contribuição da autoria: Administração do projeto, análise formal, conceituação, escrita (revisão e edição), investigação, metodologia, obtenção de financiamento, recursos, supervisão, validação, visualização.

João Roberto Ratis Tenório da Silva

Titulação: Doutor em Psicologia Cognitiva pelo Programa de Pós-graduação em Psicologia Cognitiva da Universidade Federal de Pernambuco.

Afiliação institucional: Docente do Departamento de Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco e do Programa de Pós-graduação Rede Nordeste de Ensino – Polo UFRPE.

E-mail: joao.rtsilva@ufrpe.br

Contribuição da autoria: Administração do projeto, análise formal, conceituação, gerenciamento de dados, escrita (primeira versão), escrita (revisão e edição), investigação, metodologia, recursos, visualização.

Financiamento:

Esta pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE).

Disponibilidade de dados

Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo foi publicado no próprio artigo.

Declaração de conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Editor Responsável

Marina Martins

Contato

Centro de Ensino de Ciências e Matemática de Minas Gerais – CECIMIG
Faculdade de Educação – Universidade Federal de Minas Gerais
revistaepc@gmail.com

O CECIMIG agradece ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico) e à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pela verba para a editoração deste artigo.