



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**FACULDADE DE EDUCAÇÃO**

**MAIRA LAVALHEGAS HALLACK**

**Entre alegorias da divulgação e da ficção científica  
Leituras do paradoxo EPR**

CAMPINAS  
2017

MAIRA LAVALHEGAS HALLACK

**Entre alegorias da divulgação e da ficção científica  
Leituras do paradoxo EPR**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Faculdade de Educação da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestra em Educação na área de concentração de Educação.

Orientadora: Profa. Dra. Maria José Pereira Monteiro de Almeida

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA POR MAIRA LAVALHEGAS HALLACK E ORIENTADA PELA PROFA. DRA. MARIA JOSÉ PEREIRA MONTEIRO DE ALMEIDA

**CAMPINAS  
2017**

**Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): CAPES**

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Faculdade de Educação  
Rosemary Passos - CRB 8/5751

H15e Hallack, Maira Lavalhegas, 1989-  
Entre alegorias da divulgação e da ficção científica Leituras do paradoxo  
EPR / Maira Lavalhegas Hallack. – Campinas, SP : [s.n.], 2018.

Orientador: Maria José Pereira Monteiro de Almeida.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade  
de Educação.

1. Paradoxo EPR. 2. Ficção científica - Textos. 3. Divulgação científica -  
Textos. 4. Leitura. 5. Análise de discurso. I. Almeida, Maria José P. M. de  
(Maria José Pereira Monteiro de), 1944-. II. Universidade Estadual de  
Campinas. Faculdade de Educação. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Between allegories of scientific popularized and science  
fiction Reading of EPR's paradox

**Palavras-chave em inglês:**

EPR's Paradox

Science fictions texts

Scientific Popularized texts

Reading

Discourse analysis

**Área de concentração:** Educação

**Titulação:** Mestra em Educação

**Banca examinadora:**

Maria José Pereira Monteiro de Almeida [Orientador]

Luís Paulo de Carvalho Piassi

Alexandrina Monteiro

**Data de defesa:** 29-11-2018

**Programa de Pós-Graduação:** Educação

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Entre alegorias da divulgação e da ficção científica  
Leituras do paradoxo EPR**

Autor: MAIRA LAVALHEGAS HALLACK

**COMISSÃO JULGADORA:**

Profa. Dra. Maria José Pereira Monteiro de Almeida

Prof. Dr. Luís Paulo de Carvalho Piassi

Profa. Dra. Alexandrina Monteiro

A Ata da Defesa assinada pelos membros da Comissão Examinadora, consta no processo de vida acadêmica do aluno.

**2017**

DEDICO À MINHA CACHORRA,  
VIVIANE, E À MINHA QUERIDA E  
AMADA VÓ, QUE SINTO TANTO A  
FALTA DELAS.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, que me acompanharam nesses três anos na construção deste trabalho, desde o período que iniciei minha inscrição no processo seletivo de mestrado até o momento de minha defesa. Em especial, à minha mãe.

Agradeço à minha orientadora Prof<sup>ª</sup>. Maria José Pereira de Almeida, pela sua paciência e suas broncas.

Agradeço aos meus amigos e familiares, em especial, a Shamaila Manzoor, Thaiz Caroline Colognese, Daniele Ancona, Jorge Enrique Velandi Vargas, Linda Cochrane, o Prof<sup>º</sup>. Fernando Afonso Fonseca e Prof<sup>ª</sup>. Dionéia Motta Monte-Serrat, que aguentaram minhas queixas e críticas, além dos meus dramas.

Agradeço ao Prof<sup>º</sup>. Júlio Pureza, que me ajudou a melhorar meu trabalho.

Agradeço à secretária da Pós-Graduação, em especial, as funcionárias, Nadir Camacho, Tassiane Bragagnolo e Lígia Andrade Cunha. E, à funcionária Thais Marin, que me orientou sobre a Plataforma Brasil<sup>1</sup> prazos e regulamentos.

Agradeço ao grupo de orientandos da minha professora, que me ajudou debatendo algumas noções, artigos e textos lidos coletivamente. E na orientação de como melhorar meu trabalho, tal como a banca de qualificação.

Agradeço ao grupo de pesquisa que faço parte, Grupo de Pesquisa em Ciência e Ensino (gepCE), pelos seminários elaborados.

Agradeço ao Conselho de Auxílio em Pesquisa (CAPES) que me disponibilizou recursos para realização do projeto.

Agradeço aos meus professores e colegas de turmas das disciplinas que realizei durante estes três anos, que me auxiliariam na melhoria do meu trabalho.

Agradeço ao autor e Prof<sup>º</sup>. Colin Bruce por responder alguns dos meus e-mails.

---

1 Até o momento de minha inscrição no mestrado, não tinha necessidade de aprovação do Projeto pela Plataforma Brasil.

## RESUMO

HALLACK, M. L. **Entre alegorias da divulgação e ficção científica: Leituras do paradoxo EPR.** Dissertação de mestrado em Educação – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

Diversas pesquisas em ensino de Ciências têm discutido a inserção da leitura como prática didática. No âmbito desta discussão, buscamos compreender como o discurso de textos de divulgação e ficção científica pode ser trabalhado no Ensino Médio de Física. Notamos que, embora haja distinção entre os tipos discursivos divulgação e ficção científica, nem sempre é possível diferenciá-los. Entendemos que a ficção científica seja uma narrativa que se apropria do conhecimento científico, enquanto que a divulgação utiliza a narração para explicar ciências. O tema para análise dos livros foi o paradoxo proposto em 1935 por Einstein, Podolsky e Rosen com relação à Física quântica. Consideramos um tema difícil e muito voltado a questões de epistemologia das ciências, porém, por meio dele, é possível retomar parte dos processos de construção do conhecimento da Física clássica e do desenvolvimento da Física quântica. Ele é formulado com base em noções conceituais desenvolvidas pela Física clássica e, por meio delas, é feito um questionamento da maneira como a interpretação da mecânica quântica estava se desenvolvendo. Como outros paradoxos científicos, por meio dele é possível chegar a diferentes leituras sobre a produção do conhecimento da ciência. Esse tipo de paradoxo apresenta um discurso polêmico, no qual a ciência é posta como um modo de conhecimento em construção. Nosso objetivo é buscar analisar como se caracteriza, na área de ensino de Ciências, em especial de Física, o uso de leitura de divulgação e de ficção científica e como alunos de ensino médio produzem sentidos ao lerem estes tipos discursivos. Na primeira parte do estudo, fizemos um levantamento bibliográfico, analisando os diferentes usos da leitura no âmbito educacional. Para a segunda parte, realizamos uma unidade de ensino, voltada à discussão da construção do conhecimento científico, em especial, algumas noções da Física quântica. Após, apresentamos uma discussão de dois livros de Divulgação científica com narrativas ficcionais que discutem a Física. Com base nesses livros elaboramos uma série de atividade, duas atividades a partir da leitura deles e concluiríamos as mesmas com duas atividades, uma com a leitura de Divulgação Científica e uma com uma leitura de um texto científico de Ensino Ciências. Porém das quatro atividades, devido à escassez de tempo, na aplicação das atividades, conseguimos realizar apenas três das mesmas. As aulas foram divididas em quatro momentos: 1. Aula expositiva; 2. Leitura; 3. Debate em sala, 4. Atividade avaliativa escrita. Nossa análise da unidade foi feita com base na atividade escrita avaliativa; utilizamos algumas noções da análise de discurso na vertente francesa iniciada por Michel Pêcheux, apoiando-nos principalmente em textos de Eni Orlandi. Com isso, buscamos compreender os sentidos elaborados pelos estudantes. Observamos a relevância de trabalhar a leitura de Divulgação Científica e Divulgação Científica com narrativas ficcionais em aulas de Física para proporcionar aos alunos desenvolvimento da sua reflexividade sobre as ciências e sua construção, através de concepções científicas Físicas, o que facilita a formação cidadã dos mesmos. Ressaltamos a importância da mediação do professor entre o aluno e o texto, como elemento facilitador de novos conceitos e formações discursivas.

**Palavras-chave:** Paradoxo EPR. Textos de ficção científica. Textos de divulgação científica. Leitura. Análise de discurso.

## ABSTRACT

HALLACK, M. L. **Between allegories of scientific popularized and science fiction: Readings of EPR's paradox.** Master's thesis in Education – Department of Education, State University of Campinas, Campinas, 2017.

Almost of studies in the teaching of the sciences have discussed the usage of literature as a didactic practice. In this discussion, we aim to understand how the discourse of scientific texts and of science fiction texts can be used in physics classes in Middle School. We note that, although there is a discursive difference between scientific texts and science fiction, it is not always possible to differentiate the two. We understand that science fiction is a narrative that appropriates scientific knowledge, while scientific texts use narratives to explain the sciences. The theme for the book analysis was the paradox proposed in 1935 by Einstein, Podolsky, and Rosen in relation to quantum physics. We consider this a difficult topic, one closely linked to questions of the epistemology of the sciences, but through it, it is possible to understand part of the processes of the construction of knowledge of classical physics and of the development of quantum physics. It is formulated based on conceptual notions developed by classical physics and, through these, the way in which the interpretation of quantum mechanics was developing is questioned. Through this paradox, like other scientific paradoxes, it is possible to arrive at different readings on the production of scientific knowledge. This type of paradox presents a polemical discourse in which science is seen as a mode of knowledge that is being constructed. Our objective is to analyze - in the teaching of the sciences, and especially physics - how the use of reading scientific and science fiction texts is characterized and how middle school students produce meanings as they read these types of discourses. In the first part of the study, we did a bibliographical study, analyzing the different uses of literature in the sphere of education. In the second part, we completed a unit of teaching geared towards the discussion of the construction of scientific knowledge, and especially, some notions of quantum physics. Then, we present a discussion of two scientific books with fictional narratives that discuss physics. Based on these books, we designed a series of activities two of which are based on readings of these books, while two others include reading a general scientific text and reading a scientific text for teaching science at school. However, out of the four activities, we were only able to complete three due to time constraints. The classes were divided into four sections: 1. Lecture class; 2. Reading; 3. Discussion; and 4. Analytical writing activity. Our analysis of the teaching unit was based on the analytical writing activity for which we used some concepts of discourse analysis according to the French model initiated by Michel Pêcheux and also using texts by Eni Orlandi. In this way, we sought to understand meanings as elaborated by the students. We observed that reading scientific and science fiction texts with fictional narratives in physics classes helped to develop, in students, reflexivity about the sciences and their construction through scientific conceptions of physics, and facilitates their development as citizens. We highlight the importance of the role of the teacher in mediating between the student and the text as an element that facilitates new concepts and new discursive forms.

**Keywords:** EPR's Paradox. Science fiction texts. Scientific Popularized texts. Reading. Discourse analysis.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD - Análise de discurso  
CTS - Ciência, tecnologia & sociedade  
DC – Divulgação científica  
DC/FC – Divulgação científica com narrativa ficcional  
EC – Ensino de Ciência  
EF – Ensino fundamental  
EI – Ensino infantil  
EJA – Ensino de jovens e adultos  
EM – Ensino médio  
EPR – Einstein, Podolsky e Rosen  
ES – Ensino superior  
FC – Ficção científica  
FQ – Física quântica  
HC – História da Ciência  
MQ – Mecânica quântica

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>12</b>
<b>1 LEITURAS DE DIVULGAÇÃO E/OU DE FICÇÃO CIENTÍFICA NO ENSINO DE CIÊNCIA</b> .....	<b>21</b>
1.1 Leitura no ensino de ciência.....	21
1.2 Leitura de divulgação científica no ensino de ciência.....	28
1.3 Leitura de ficção científica no ensino de ciência.....	32
1.4 Entre o discurso de divulgação e ficção científica.....	36
<b>2 OS LIVROS</b> .....	<b>43</b>
2.1 As Aventuras científicas de Sherlock Holmes: A narrativa fictícia.....	43
2.1.2 O paradoxo EPR: “O estranho caso da gata da Sra. Hudson”.....	52
2.2.1 Alice no país do Quantum”: a narrativa fictícia na DC.....	63
2.2.2 O paradoxo EPR em “A Pheira Phantástica de Física Experimental.....	78
<b>3 APOIO TEÓRICO-METODOLÓGICO, AUTORES E CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO</b> ....	<b>87</b>
3.1 Análise do discurso.....	87
3.2 Os autores.....	94
3.3 Condições de produção.....	95
3.3.1 A escola.....	96
3.3.2 Os alunos de ensino médio.....	97
3.3.3 Dinâmica da sala de aula.....	98
3.3.4 O professor de Física.....	99
3.3.5 Nossa participação nas aulas de Física.....	102
3.3.6. As obras estudadas.....	103
3.3.7 Pré-plano da unidade de ensino.....	103
3.3.7.1 Plano inicial das aulas.....	104
3.3.7.1.1 Aula 1.....	106

3.3.7.1.2 Aula 2.....	108
3.3.7.1.3 Aula 3 .....	109
3.3.7.1.4 Aula Extra .....	110
3.3.8 As aulas.....	111
3.3.8.1 Aula 1.....	111
3.3.8.2 Aula 2.....	113
3.3.8.3 Aula 3.....	114
<b>4 A ESCOLA.....</b>	<b>116</b>
4.1 Leitura de alunos de Ensino Médio.....	116
4.1.1 Pré-questionário.....	116
4.1.2 Análise de um estudante ao longo das atividades.....	118
4.1.3 Análise das informações obtidas na segunda atividade.....	125
4.1.4 Análise das informações obtidas na terceira atividade.....	129
4.2 Análise das respostas de um estudante.....	130
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>135</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>140</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>153</b>

## INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Nosso intuito para realizar este estudo surgiu com base em duas premissas. A primeira, por meio dos estágios que realizamos numa escola pública na região de Campinas durante a graduação. Estes nos possibilitaram notar a ausência de leitura nas aulas de Física no ensino médio (EM), tendo como consequência a dificuldade dos alunos em compreenderem as questões das provas. Acreditamos que poderia ser por falta do hábito de ler. A segunda motivação foi pelo nosso gosto pela leitura e por entendermos que, por meio desta, poderíamos proporcionar aos alunos contato com os mais distintos temas e enriquecer a sua formação enquanto cidadãos. Entendemos que isso pressupõe que:

De maneira geral, [...] rever o binômio ensino de ciência e cidadania significa situá-lo no mundo concreto e romper com alguns discursos pedagógicos baseados na formação para o bom convívio social, pois o problema da cidadania é conflituoso e pouco harmonioso. Consideramos fundamental repensar o lugar do conhecimento científico no modelo neoliberal e em que medida determinadas abordagens para a educação em ciência reforçam, ou não, uma visão tecnocrática de tomada de decisão. Para tanto, é essencial repensarmos nossa participação política nos processos formativos e nas práticas de pesquisa. (PINHÃO; MARTINS, 2016, p. 27)

Na atualidade, a maioria das aulas de Física é dada com a repetição de exercícios que são aplicações de fórmulas matemáticas. Todavia, Rezende e Ostermann (2005) apresentam que o caminho para a abordagem da Física em aulas voltadas à formação de cidadãos, deve ser buscando estratégias alternativas à “comum” - que ocorre com resolução de exercícios, quase que unicamente.

A escola atual distancia-se da concepção de cultura na área de ensino de Física como defendida por diversos autores, entre eles Zanetic (1989) que sintetizou esta ideia em sua tese de doutorado. Nesta, o autor afirma que a Física escolar deveria ser importante para compreensão do mundo contemporâneo, ou seja, da cotidianidade. Além disso, Dias, Barlette e Martins (2009) defendem que tópicos relacionados ao cotidiano são mais valorizados pelos alunos. Segundo os autores, a “materialidade” do cotidiano com a conexão de conteúdos mais abstratos motiva a aprendizagem. Torna, assim, os conteúdos mais interessantes e acessíveis aos alunos.

Consideramos que uma das formas de aproximar a escola do dia a dia dos estudantes é trazer leituras para aulas de Ciência, que possibilitem o contato com os escritos científicos e explicitem os recursos da cotidianidade. Com isso, a leitura pode contribuir para levar à escola a função de formação de cidadãos.

Assumimos que a Física como cultura tem por objetivo dar significados à natureza, por meio da linguagem que soma diferentes sistemas de classificação e formações discursivas (HALL, 1997). Então, seguindo o raciocínio desse autor, podemos afirmar que cada atividade social possui seu próprio universo distinto de sentidos e sua própria cultura, implica, assim, que cada prática social tem uma dimensão cultural. Ressaltamos a possibilidade de existência de inúmeras formas de cultura nas aulas de Física, que sejam carregadas dos sentidos elaborados pelo professor e pelos alunos, ao serem voltadas para formação de cidadãos.

Há diversos trabalhos que relatam experiências de leitura na área de ensino de Ciência (EC), entre eles, em aulas de Física no ensino médio. Se considerarmos alguns dos publicados entre os anos de 2000 até 2015: (LANÇA, 2005; GAMA, 2005; SILVA, 2002; SILVA, 2012; SILVA; ALMEIDA, 2015) e no, superior (MICHINEL, 2001; DIAS, 2009; LIMA; ALMEIDA, 2012;) e aulas de Ciência no ensino fundamental (SOUZA, 2000; GIRALDELLI, 2007; MAGALHÃES, 2008).

Trabalhos nesta área podem ser diferenciados em vários aspectos, por exemplo, com relação: ao nível do ensino – ensino infantil (EI), ensino fundamental (EF), ensino médio (EM), ensino superior (ES), educação jovens e adultos (EJA), ensino não formal, entre outros; aos tipos discursivos – divulgação científica (DC), ficção científica (FC), literatura, poesia, originais de cientistas, didáticos e paradidáticos etc.; ao foco com que são abordados em sala de aula – como conteúdo principal ou como motivação, entre outros; à estratégia, principal, de ensino – história das ciências, ciência, tecnologia e sociedade, leitura etc.; ao apoio teórico metodológico de análise de dados – análise de discurso pechetiana, bakhtiniana, na perspectiva da teoria vygotskyana, análise de conteúdo, semiótica etc.

Em muitos dos trabalhos anteriores realizados no nosso grupo de pesquisa, o gepCE - Grupo de estudo e pesquisa em Ciência e Ensino, tem sido utilizado o referencial da análise de discurso (AD) da corrente francesa originada por Michel Pêcheux e outros colaboradores. Temos nos baseado, principalmente, em trabalhos de Eni Orlandi publicados no Brasil. Tem sido variado o tipo discursivo – DC, originais de cientistas, literatura infantil, FC - e o ciclo educacional – EI, EF, EM, EJA, além da formação continuada e inicial de professores.

Em estudos de iniciação científica elegemos como foco de pesquisa a relação entre a DC e a FC. Neles buscamos compreender como estudantes interpretam noções de ciência a partir da leitura de diferentes tipos discursivos de DC e também considerados de FC.

No nosso primeiro estudo nesta área, lemos a DC “A Evolução da Física” (EINSTEIN; INFELD, 1980) e “Física e Filosofia” (HEISENBERG, 1981). O primeiro tem uma linguagem mais simples, não obstante os autores afirmem no prefácio que a leitura deste livro não deve ser feita como a de um romance. Já o livro de Heisenberg procura relacionar a Física com a Filosofia. Compreendemos, ao realizar essas leituras, a importância do mediador durante e após a leitura de DC, ou seja, mesmo que a linguagem seja a comum, os conceitos que são abordados não são simples, tornando a leitura muitas vezes complexa para um iniciante em temas científicos.

Ambos os livros - “A Evolução da Física” e “Física e Filosofia” - traçam uma perspectiva da construção do conhecimento físico ao longo dos séculos e ressaltam que essa não se deteve nos cálculos matemáticos. Mostram a Física como um modo de ver o mundo. “A Evolução da Física” inicia com a Física galileiana, enquanto “Física e Filosofia” busca as raízes da Física na Grécia Antiga.

Lemos e trabalhamos, na nossa primeira pesquisa com estudantes, o livro “Revolução dos Q-bits: O admirável mundo da computação quântica” (OLIVEIRA; VIEIRA, 2009). Nesse livro tivemos nosso primeiro contato com o paradoxo proposto por Einstein, Podolsky e Rosen, (EPR). Esta obra também apresenta uma construção da Física. E os autores não enfocam apenas essa disciplina, mas também a teoria da informação com o objetivo de trabalhar dentro de uma visão futurística, apontando para a computação quântica e, desta forma, se aproximam da linguagem da narrativa de FC.

Ainda na iniciação científica, com o objetivo de pensarmos em leituras para o EM, buscamos livros de DC, independente do enredo discursivo, escritos entre 1990 e 2010, que abordassem Física moderna, em especial o EPR. A escolha foi feita considerando também a facilidade de acesso às obras.

Optamos por três livros: “O Cosmo de Einstein” (KAKU, 2005), “As Aventuras Científicas de Sherlock Holmes” (BRUCE, 2001) e “Alice no país do Quantum” (GILMORE, 1998). Os dois primeiros, conforme a narrativa do livro e pela ordem dos capítulos, fazem uma reconstrução histórica do pensamento físico. Enquanto que o de Gilmore (1998) foca na temática da Física quântica.

Após a leitura desses livros, preparamos aulas para o primeiro ano de ensino médio de uma escola estadual de Campinas, sobre o paradoxo EPR. Para analisarmos a interpretação dos alunos, além de trechos de leitura, elaboramos uma breve explicação e três atividades de escrita.

Concluimos com essa pesquisa que, além da relevância filosófica da discussão do realismo, do emaranhamento quântico e do desenvolvimento da computação quântica, a abordagem e a discussão da incompletude da mecânica quântica (MQ), construída pelo paradoxo EPR, poderiam permitir que os alunos entrassem em contato com uma Física ainda em discussão. Poderiam mostra-lhes que a ciência não é feita apenas de respostas, mas com questionamentos e debates. Não existindo UMA ciência, mas uma polissemia do discurso científico (ORLANDI, 1998).

Além disso, há físicos que defendem o ensinamento da Física com base nos paradoxos científicos (AHARONOV; ROHRLICH, 2005). Por outro lado, observamos a complexidade da temática que este paradoxo de EPR introduz à Física, por não se relacionar apenas com noções Físicas, mas também, com conhecimentos da epistemologia da ciência (CHIBENI, 2000).

Notamos também o quanto a leitura, mesmo sendo de divulgação científica com narrativas ficcionais (DC/FC) e divulgação científica (DC), e sua interpretação podem ser difíceis para alguns alunos. Nós mesmos, já no ensino superior, num curso de Física, havíamos sentido alguma dificuldade nas leituras que realizamos de textos/obras de DC.

Em adicional, destacamos que, ainda hoje no que se refere ao paradoxo EPR, a discussão não está finalizada. Muitos laboratórios de ótica, devido à promessa de desenvolvimento da computação quântica, vêm buscando compreender melhor os efeitos quânticos a partir da ótica quântica (DADIVOCH, 2015). Esta promessa surge devido a se ter algumas evidências experimentais desde a década de 1960, que corroboram as ideias defendidas, após a divulgação do artigo de EPR, por Niels Bohr - que a Física quântica não é uma ciência incompleta.

Ainda como parte de nosso trabalho de iniciação científica, concluimos aspectos da leitura do paradoxo EPR com alunos recém-ingressantes no ensino superior (SILVA; ALMEIDA; HALLACK, 2014).

Em outro estudo, com base no livro de Bruce (2001), selecionamos uma das temáticas discutidas em sua obra. Para escolha dessa temática, nos baseamos na ideia de Dias, Barlette e Martins (2009), de que assuntos abstratos, que são relacionados com situações da cotidianidade, são fatores motivadores para a aprendizagem.

Compreendendo que a sala de aula deve ser um espaço de debate e problematização, optamos pela temática de radiação, um tópico da Física da cotidianidade dos alunos e presente nos discursos da mídia, em especial. Esse assunto da Física moderna e

contemporânea é paradoxal, mas não em nível conceitual – filosófico - porém em nível tecnológico – social. (AHARONOV; ROHRLICH, 2005)

O trabalho consistiu na leitura de um trecho do livro de Bruce (2001) [Anexo C] e em uma conversa informal sobre o tema da radiação. No “bate-papo”, buscamos levar para discussão as vantagens tecnológicas que a radiação vem nos permitindo, como a radioterapia, o raio-x e os problemas da mesma, como as bombas atômicas e os acidentes das usinas nucleares; possibilitando aos alunos uma visão da relação de via dupla entre ciência e política e ciência e sociedade.

Por exemplo, radiação ultravioleta, micro-ondas, radiações de aparelhos de comunicação etc. Além de escutarmos muito falar nos noticiários sobre lixo e usinas nucleares, que influenciam na proliferação do câncer, uma doença frequente na sociedade atual, por outro lado, é através da radiação que é realizado um dos tratamentos para esta enfermidade. Ou seja, a radiação causa benefícios e malefícios à saúde humana.

No presente estudo, a escolha dos livros para análise foi com base no primeiro estudo que realizamos com alunos do ensino médio. Eles ressaltaram, quando questionados se teriam interesse de realizar a leitura do livro todo, que a acessibilidade da linguagem seria o fator determinante para que tivessem interesse no livro. Diante disto consideramos que o livro “As Aventuras Científicas de Sherlock Holmes” (BRUCE, 2001), seguido do livro “Alice no país do Quantum” (GILMORE, 1998) possuíam uma linguagem mais acessível à compreensão dos alunos.

Outra razão da escolha foi pela associação dos livros com histórias de personagens famosas, como o Sherlock Holmes, de Arthur Conan Doyle [1850-1930], a obra de Bruce (2001) e, “Alice no país das maravilhas”, de Lewis Carroll (2010), de Gilmore (1998). Julgamos ser uma maneira de envolver os alunos, devido, atualmente, haverem sido produzidos filmes destes personagens e estarem refilmando as histórias do detetive.

Optamos por não caracterizar o livro de Colin Bruce (2001), nem Gilmore (1998) como FC ou DC, apesar de na área de ensino de Ciência autores como Almeida (2004), Silva (2006), Piassi (2007a,b,c) e Pinto (2009) caracterizarem de DC e/ou FC, ainda é tênue o limite entre estes tipos de discursos. Pois, como descreve Ferreira e Reis (2016)

Sendo uma forma de extrapolação do discurso científico, a ficção científica possui características favoráveis tanto à divulgação da ciência quanto à apresentação e contextualização de conceitos científicos nos seus diversos aspectos (FERREIRA; RABONI, 2013). O discurso ficcional contextualiza os objetos da ciência e mostra-se importante como uma forma de problematização, desautomatização e mobilização dos sentidos do discurso científico. Nesse viés, as relações entre as narrativas ficcionais e o conhecimento científico podem ser amplamente exploradas didaticamente, inclusive no estudo das concepções dos estudantes sobre o

empreendimento científico, sobre a atividade dos cientistas e as interações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente (REIS; GALVÃO, 2006, p.1357)

Nossa opção foi de entendermos esses livros como obras de DC com elementos de FC (DC/FC), por seus capítulos não se restringirem ao factual e serem criadas narrativas e enredos ficcionais (PIASSI, 2013). Contudo, chamamos a atenção de que outros trabalhos como “Literatura não canônica de divulgação científica em aulas de ciência”, de Gisnaldo Amorin Pinto (2009), os caracterizam como livro de DC e, os autores Colin Bruce e Robert Gilmore se definem como divulgadores de ciência.

Como relatado anteriormente, notamos que a prática de leituras é amplamente discutida na área de Ensino de Ciência (EC). Após um breve levantamento bibliográfico de alguns dos principais periódicos na área de EC, constatamos que existe uma diversidade tanto na faixa etária, quanto no tipo discursivo.

Assinalamos, entretanto, que diferente dos outros tipos discursivos, quando se trata de FC, há uma ocorrência maior de trabalhos com leituras voltadas ao audiovisual do que para a leitura de livros.

Aqui nos propusemos a trabalhar com a leitura de livros por sabermos que atualmente as escolas públicas carecem de verbas, o que dificulta o acesso às diferentes tecnologias, além de entendermos a importância do hábito à leitura. Por isso a relevância dela ser incentivada nas escolas. E reconhecemos que atualmente os alunos de EM estão mais envolvidos e interagem mais com a linguagem audiovisual, sendo que consideramos que os demais tipos de leituras devem ser trabalhados em sala de aula.

Um dos autores que tem mais discutido a temática da FC – seja audiovisual ou textos - em sala de aula, é Piassi (2007a,b,c; 2013). Concordamos, com base em nosso referencial teórico da AD, no qual forma e conteúdo não se dissociam, quando este autor aponta a maneira de se abordar o texto de FC em sala de aula, isto é, trazê-lo em sua complexidade e não como, exclusivamente, estimulador dos alunos ou introdutório ao conteúdo.

No início deste volume, estabelecemos como inspiração para nosso trabalho de pesquisa e atuação em educação os pontos de vista expressos por George Snyders, em favor de uma articulação entre os interesses culturais dos estudantes e aquilo que a escola pode oferecer. Não deve ser entendido, entretanto, que estamos propondo métodos inovadores e atraentes como forma de conquistar os estudantes. Encaramos os métodos, sim, como algo importante a ser considerado, mas como entende Snyders (1988, p. 13), não é “educarando” um saber com belas músicas ou com a exibição de um filme de super-herói que vamos garantir o aprendizado, pois isso apenas transforma o conteúdo em objeto de consumo, de satisfação. (PIASSI, 2013, p.205)

Ou seja, defendemos que o discurso de FC deve ser trabalho em seu enredamento discursivo e não como uma mescla de literatura com ciência. Tal como o discurso de DC, como afirma Orlandi (2005), não se simplifica a união de um discurso jornalístico e um discurso científico, ambos precisam ser entendidos em sua complexidade e individualidade discursiva.

Como veremos ao tratarmos de DC, envolvem-se diferentes abordagens discursivas, algumas sendo mais informativas e tendendo ao campo dos textos paradidáticos e outras, recorrendo às narrativas e aproximando-se, quando não se confundindo com o que usualmente é considerado o discurso de FC. Independente da abordagem discursiva que for tratada em sala de aula é interessante que ela ocorra a partir de um diálogo e de uma problematização, que o discurso pedagógico possibilita e é defendida dentro da AD. Isto é, trazer elementos da realidade “material” dos alunos para sala de aula, visto que nas mídias, em geral, há uma ampla exposição de DC.

No presente trabalho, buscamos compreender como textos de DC/FC apresentam a temática do paradoxo EPR. Em adicional, elaboramos uma unidade de ensino (UE) e, pelo nosso gosto pelas polêmicas filosóficas da ciência, optamos por também nos basearmos em discussões propostas pelo paradoxo EPR, como o processo de construção do conhecimento científico. Assim, neste estudo analisamos a produção de sentidos pelos estudantes ao participarem dessa UE. Propusemo-nos a compreender os sentidos que alguns alunos constroem na leitura dos textos nela incluídos e no debate com a mediação da pesquisadora-professora.

Na construção da UE, nos empenhamos em trazer diferentes tipos de DC/FC e DC, notamos que na construção o discurso varia a linguagem utilizada, alguns são mais ficcionais e outros mais direcionados para livros paradidáticos. Embora todos discutam concepções de ciência, os autores escrevem com foco em diferentes leitores imaginários. Sendo assim, o conteúdo e a forma que o enredo do discurso é produzido possibilitam diferentes leituras. Corroborando com a ideia de Orlandi (2005), da correlação entre forma e conteúdo, pois a maneira como dizemos, modifica o que dizemos.

Optamos por fazer a seleção das obras a serem analisadas, com relação ao paradoxo EPR, com base nos nossos trabalhos anteriores, os quais nos apontaram averiguar a possibilidade de inserir esses livros em aulas de Física para o EM. Como anteriormente, buscamos obras que fossem escritas por cientistas e, por ser um tema fisicamente problematizado, selecionamos autores físicos.

Com a realização deste trabalho nosso objetivo é compreender alguns aspectos de como textos de DC/FC, ou seja, como livros de DC com narrativas fictícias, podem ser trabalhados em aulas de ensino formal de Física. Com este propósito e, tendo selecionado textos dos livros de Bruce (2001), Einstein e Infield (1980) e Gilmore (1998), nossas questões de estudos são:

1. Como a Física está presente em textos de DC/FC, especialmente, como os autores interpretam o paradoxo EPR?
2. Como alunos de EM produzem sentidos ao lerem parte dos textos dos livros selecionados de DC e DC/FC?

Para responder a primeira dessas questões, selecionamos e analisamos dois livros que utilizam narrativas ficcionais relacionadas principalmente à Física. Quanto à segunda questão, desenvolvemos uma UE com textos de DC e DC/FC e trabalhamos com alunos de primeiro ano de EM de uma escola pública.

Esta dissertação está dividida em quatro capítulos. O primeiro capítulo trata sobre a questão da leitura nas aulas de EC. Iniciamos apresentando como pesquisadores da área a têm trabalhado nessas disciplinas. Mostramos que o enfoque da leitura é diferente daquele que acontece nas aulas de línguas, pois o contexto é diferente. A maneira como ocorre a mediação entre o texto trabalhado e os alunos se distingue. Em seguida, tratamos mais especificamente como textos de DC e de FC têm sido trabalhados nas aulas de EC. Por fim, concluímos esse capítulo apresentando o discurso entre FC e DC dentro da perspectiva da narrativa fictícia, nos atentando às alegorias nele discutidas.

No segundo capítulo, apresentamos uma breve análise das obras de Bruce (2001) e Gilmore (1998). Iniciamos analisando as alegorias feitas na obra em geral, em seguida, focamos nos capítulos que, por meio do índice remissivo, nos foram indicados que tratam do paradoxo EPR. Nosso critério de seleção foi baseado no enfoque de buscar compreender a leitura que os autores fazem do paradoxo EPR, sendo assim, buscamos onde eles indicam que está o paradoxo em suas obras. Primeiro analisamos a obra de Bruce (2001) e depois de Gilmore (1998), seguindo a ordem alfabética.

Nosso terceiro capítulo está dividido em três partes. Começamos apresentando o referencial teórico-metodológico, que consiste na análise de discurso (AD) vertente francesa que tem como um de seus fundadores Michel Pêcheux, pautando-nos principalmente numa das suas principais estudiosas no Brasil, Eni Orlandi, de cuja obra nos apropriamos de algumas noções. Entre elas, citamos aqui algumas, como a linguagem não ser transparente,

não haver uma unicidade discursiva, embora o sujeito de posição discursiva acredite nela devido a mecanismos ideológicos. Também, consideramos que os sentidos se estabelecem na relação língua e materialidade histórica. Na parte seguinte do capítulo, apresentamos uma breve bibliografia dos autores das obras que analisamos, Bruce (2001) e Gilmore (1998), na busca de entendermos de onde e para quem eles aparentemente falam. E, em seguida apontamos as condições de produção que inspiraram nossa UE, descrevemos um pré-projeto dessa unidade, incluindo aulas que consideramos poderem ser desenvolvidas.

No quarto e último capítulo, analisamos as leituras feitas pelos alunos durante a nossa UE e sobre a temática do processo de construção científica. Com enfoque em debates e diferentes perspectivas da ciência, com isso, pretendíamos retratar que a ciência não é apenas um produto, mas um processo em construção, que se estabelece em discursos feitos com base em diferentes produções de sentidos. Dividimos a análise nas atividades propostas aos alunos e, por fim, analisamos um estudante que participou de todas as atividades que propusemos.

Finalizamos a dissertação apresentando algumas considerações finais. Nelas trazemos alguns dos problemas atuais das escolas, especialmente os de muitas das escolas estaduais. Também, fazemos uma reflexão sobre a nossa prática durante a aplicada UE. Destacamos a importância da inserção de diferentes tipos discursivos em sala de aula, por sua heterogeneidade, tal como os diferentes tipos apresentam, de maneira distinta, uma mesma temática, possibilitando que os alunos tenham uma vivência diferenciada em suas leituras. E esta não unicidade dos discursos sobre os diferentes temas, possibilita que o discurso em sala de aula seja polemizado e, portanto, ajuda a contribuir para formação de um cidadão ciente das disputas sociais que se encontram na formação da sociedade civil.

## 1 LEITURA DE FICÇÃO E/OU DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA NO ENSINO DE CIÊNCIA

### 1.1 Leitura no ensino de Ciência

Pensando na problemática atual do ensino, nos deparamos com a relação do ser humano com o mundo e, por conseguinte, com a ciência. Como apresenta Silva (2012), ela segue do modelo de demonstrações de técnicas, mediadas por uma obstinação de objetos e de formas de vida buscando a manipulação e reprodução desses. Dentro dessa perspectiva de mundo, mostra-se uma educação cada vez mais instrucional, voltada para a preparação de indivíduos meramente funcionais, capazes de realizar aplicações objetivas, eficazes em seguir procedimentos em prol da materialização de mercadorias, como produtos ou serviços.

Neste processo, observamos uma negação do sítio do conhecimento científico que para restaurá-lo é preciso retomar as interações iniciais que singularizaram e efetivaram a prática científica. Sendo, assim, “(...) *aposta-se na articulação de uma concepção educacional aberta à apreciação estética dos artefatos simbólicos da ciência.*” (SILVA, 2012, p.1).

Como destaca o autor, a atividade científica passa a seguir modelos e formar sujeitos bons em reprodução procedimental. Ou seja, “[...] *em qualquer atividade científica os cientistas podem usar muitas caixas pretas sem questioná-las ou alterá-las. Assim como uma pessoa pode dirigir um carro sem ter a menor ideia dos conceitos físicos envolvidos em seu funcionamento.*” (BARCELLOS, 2008, p. 87-88).

Por outro lado, quando abordamos a aprendizagem significativa nota-se a necessidade da discussão de algumas destas caixas pretas inquestionáveis, independente do nível de estudo, seja superior ou básico, o que implica repensar as aulas de Física. Tal como trazer abordagens que envolvam e construam uma concepção de Física mais humana, ou seja, dentro de uma visão social, histórica e filosófica da ciência, por conseguinte da Física. Com isso, promove-se uma aprendizagem inserida dentro de uma perspectiva metodológica, abrindo-se novas caixas pretas aos estudantes. Embora estas caixas nem sempre sejam possíveis de resolução, elas são importantes para o processo de formação do sujeito e de sua identidade, elas permitem que consigam notar a possível execução do processo, mesmo sem resultados (GAMA; ZANETIC, 2013).

Com isso, notamos que atualmente, independente do grau da educação, como apresentam Michinel, Silva e Almeida (2003), os saberes científicos mostram-se como se fossem produzidos de maneira linear, sem conflito algum e como se fossem anacrônicos.

Muito antagônico ao que passou em seu processo de construção, repleto de debates, entraves, reflexão e retomada de teorias, além de diversas disputas políticas e visões de mundo. E, uma das maneiras de ensinar ciência, é buscar em sua história seus entraves, pontos de disputas e debates. Mostra-se, assim, a importância do ensino do paradoxo EPR, no qual físicos renomados e influentes na academia entram em conflito sobre a interpretação da Física atômica.

Um exemplo é o famoso debate de Einstein-Bohr com relação ao significado não-determinístico da mecânica quântica, enquanto um sistema interpretativo da realidade, que se estendeu até os dias atuais com grandes debates e, todavia, não tem recebido destaques nos livros didáticos. Assumimos que, a produção e divulgação científica, o processo de significação de um determinado tema é produzido como uma tensão entre o dito por si – paráfrases – e os múltiplos dizeres – polissemia. (MICHINEL; SILVA; ALMEIDA., 2003).<sup>2</sup>

Porém, o ensino escolar e superior permanece ainda focado em ensinar as fórmulas matemáticas da cinemática, sem retomar as concepções de mundo, nem o contexto histórico do desenvolvimento destas. Pouco se fala do próprio Isaac Newton, de maneira que o estudante apenas fixa que força relaciona-se com massa e movimento, sendo que muitos acabam por confundir a relação da força com a aceleração, pela velocidade. Como descrevem Michinel, Silva, Almeida, (2003) “[...] os livros didáticos confirmam o discurso único; quando são utilizados vários livros, o propósito é de complementar ausências do conteúdo, poucas vezes são usados com o intuito de informar do caráter polêmico que caracteriza a produção de conhecimento da ciência. [...]” (p. 41)<sup>3</sup> Ainda, mostram que o material didático passou a ser visto como livro de consulta, a que os estudantes recorrem como transmissores de conteúdo.

Embora, às vezes, se procure romper com esta educação linear, trazendo materiais diversificados para sala de aula, na prática, muitas vezes, acaba por não ocorrerem contextualizações e os trabalhos passam a ser vistos como algo extra, complementar (MICHINEL; SILVA; ALMEIDA, 2003) e não como o próprio conteúdo da matéria. Escuta-se muitas vezes: “*E o conteúdo?* ” “*Qual a relação com a matéria?* ”.

---

2 Tradução nossa de: Un ejemplo es el célebre debate Einstein-Bohr en relación con el significado no-determinista de la mecánica cuántica como sistema interpretativo de la realidad, que se ha prolongado hasta nuestros días en fructíferos debates y que sin embargo no ha recibido énfasis en los libros didáticos. Asumimos que, en la producción científica y en su difusión, el proceso de significación de un determinado tema es producido como una tensión entre decirlo mismo - paráfrasis - y los múltiples decires - polissemia. (MICHINEL; SILVA; ALMEIDA., 2003, p. 44)

3 Tradução nossa de: [...] los libros didáticos confirman un discurso único; cuando son utilizados varios libros, el propósito es de complementar ausencias de contenido, pocas veces son usados con el intuito de informar del carácter polêmico que caracteriza la producción de conocimientos de *la ciencia*[...] (MICHINEL; SILVA; ALMEIDA., 2003, p. 44)

Considerando o até aqui exposto, defendemos como sugere Piassi (2007a), que os recursos em sala de aula devem ser trabalhados em sua totalidade, isto é, a leitura de um livro deve ser entendida em seu contexto e não apenas dentro do que é considerado o conteúdo da Física.

Por outro lado, atualmente observamos que o discurso pedagógico, como apresenta Orlandi (1983), é um discurso autoritário. Porém, na perspectiva da autora, o discurso mais adequado seria o polêmico, esse também é o discurso que envolve as práticas científicas, como apresentam Michinel, Silva e Almeida (2003).

Ainda na perspectiva destes autores, os discursos constroem-se por meio de um processo dialético entre diferentes formações discursivas, em um meio conflituoso e polêmico em uma rede política de enfrentamentos de poderes, o que possibilita um corrente movimento de formação de sentidos.

Por outro lado, muitas práticas pedagógicas permanecem numa perspectiva autoritária sem abrir-se aos discursos dos estudantes e os negando. Entretanto, as pesquisas cada vez mais visam que o discurso pedagógico se construa nessa interface polêmica, traçada entre a formação discursiva do professor e a do aluno.

Concordamos com a visão de Moura (2014)

Discordamos, contudo, desse ponto de vista; que pressupõe o conhecimento como um conjunto de respostas. No nosso entender, conhecer equivale (em muitos sentidos) a questionar. Posicionamo-nos favoráveis à ideia de que ao educador não cabe apenas apresentar respostas, mas (e talvez aí resida um aspecto crucial do que entendemos que significa ensinar) promover o espírito questionador, problematizador (cf. Freire, 1988, *passim*). Concordamos com Bachelard quando aponta que “para o espírito científico, todo conhecimento é resposta a uma pergunta. Se não há pergunta, não pode haver conhecimento científico [...]”. (BACHELARD, 1996, p. 18). Quando se trata, em particular, de ensinar uma ciência como a Física, não se pode perder de vista que na história dessa ciência abundam episódios de questionamentos (de indagações sobre teorias hegemônicas de uma dada época; indagações essas que são, freqüentemente, fundamentais para o desenvolvimento da área do conhecimento em questão e, não raramente, para a elaboração de novas teorias). (p.33)

Com esta proposta de ensino e aprendizagem, podemos afirmar que mais do que aprender ciência é importante que se aprenda sobre ciência. Envolve, assim, pensar sobre o que é conhecido como ciência. Fazer com que os estudantes compreendam o que é ciência e seus preceitos, permite que concebam uma formação mais íntegra, crítica da realidade em que vivem e, se formem mais cidadãos politicamente responsáveis com o mundo. Consideramos que esta compreensão é fundamental na formação dos estudantes e, principalmente, do cidadão. Assim, destacamos a importância de se pensar o ensino de Ciência em todos os níveis de educação, como aborda Moura (2014).

Destacamos alguns pontos que Zanetic (1990) apontou como importantes para o ensino de Física: 1. A importância do conteúdo estar relacionado com temas contemporâneos; 2. Pensar na heterogeneidade da sala de aula – alunos; 3. Não podemos resumir a Física à cinemática, 4. A importância de trazer as concepções alternativas dos alunos para discutir em sala de aula.

Com isso, apresentamos aqui uma possível alternativa ao ensino clássico, que se resume muitas vezes na resolução de exercícios de cinemática. Com a análise de possíveis leituras, que discursos de escritores físicos produziram provavelmente com o objetivo de fazer uma literatura para um público leigo, o que permite trabalharmos o ensino dentro da perspectiva de uma formação cultural e de cidadania dos alunos no ensino escolar.

Notamos que alguns físicos escrevem livros que apresentam a Física dentro de uma perspectiva de discurso polêmico, no qual sua construção ocorreu em controvérsias que as teorias se deparavam. E na perspectiva de alguns dos pesquisadores em EC, como Zanetic (1989) e Almeida (2004), o conhecimento físico é construído e afetado pela cultura, assim não é neutro nem se abstém das polêmicas políticas.

Também é aconselhável que a escola não ignore a história de vida que os alunos trazem com eles. E uma maneira possível de abordá-la é pela leitura. Sua importância em aulas de Ciência vai além de trazer as histórias de vida dos alunos para sala de aula. Como destacam Giraldi e Cassiani (2009), a leitura e escrita têm sido muito debatidas nos meios de comunicação e nas pesquisas acadêmicas, porém, não podemos ver a leitura como uma ação que se resume em si, mas como um processo dentro de um contexto sócio histórico.

Ressaltamos que mais do que objeto de pesquisa, a questão da leitura em aulas de ciência é tomada aqui enquanto uma questão histórica, construída e compreendida como problemática no contexto de ensino de ciência. Não basta tratar a questão da leitura na escola enquanto problema, para o qual se busca uma solução, é necessário procurar compreender por que tal questão se coloca historicamente como um problema e a partir daí podemos buscar caminhos que visem superá-lo, sem apagar as contradições [...]

[...][Sobre pesquisa da UNESCO (2007)]Um dos focos de análise apresenta a perspectiva escolar frente à leitura e escrita sendo indicado pelos pesquisadores que a escola parece não ter sucesso em mostrar para seus alunos possíveis finalidades dos processos de leitura e escrita! Parece não haver uma ligação entre leituras e escritas desenvolvidas na escola e as desenvolvidas fora dela. Esse fato cria um distanciamento entre os entendimentos acerca da leitura e da escrita desenvolvido por professores e estudantes e conseqüentemente, produz limitações quanto ao desenvolvimento mais amplo de tais processos.

[...] Muitas são as formas pelas quais a leitura e a escrita se fazem presentes em nossas vidas. Seja por meio de textos escritos ou imagéticos, essa inserção no mundo permeada pela leitura faz parte da nossa cultura. Esses diferentes textos lidos chegam até nós de inúmeras formas: [...] (Ibid, 2009)

A prática pedagógica precisa ser revista e avaliada no diálogo com os alunos, de

maneira que o papel de aluno e de professor sejam sempre revisitados, reestruturados e construídos de acordo com seu contexto de condições de produção, sejam as imediatas – como uma sala sem diálogo, uma sala muito debatedora - ou as condições históricas – como contexto de ditadura, democracia, monarquia. Com isso, podemos afirmar, na perspectiva de Orlandi (1996), que a formação discursiva se constrói dentro de condições de produção do interdiscurso e do intradiscurso.

Ainda com base em Orlandi (1983), o papel do ensino é estabelecer com os alunos mecanismos de formação social por meio da relação de situações concretas e de suas representações.

Portanto, voltamos a destacar que como discute Piassi (2007a), um texto, independente do tipo discursivo para ser trabalhado em classe, é importante e interessante que não seja como uma atividade extracurricular, motivadora.

Logo, o texto deve ser lido dentro das condições de produção do ensino, pois se continuar a ser empregada uma função secundária aos textos, os alunos provavelmente também os deixarão em segundo plano. Pois, tampouco, podemos esperar que eles ao lerem os interpretem da maneira como o professor quer, o que podemos observar em pesquisas de iniciação científica e em estágios obrigatórios. Ou seja, a mediação do professor é fundamental e possibilita que as dúvidas e concepções interpretativas equivocadas sejam trabalhadas e esclarecidas.

Nos ensaios que desenvolvemos em sala de aula com leitura de textos de DC e FC, observamos que essas atividades envolvem mais os alunos que em geral são excluídos da disciplina de Física, quando esta se resume a aulas expositivas e resolução de exercícios, basicamente com fórmulas memorizadas. A leitura permite que as aulas sejam dialogadas e polemizadoras. Assim, por meio de tipos textuais diferentes, observamos a possibilidade de criar um discurso pedagógico polêmico, como defendido por Orlandi (1983), com caráter de discurso em prol de educação cidadã.

Nas pesquisas de iniciação científica (IC), relatamos como alunos recém-ingressantes numa universidade estadual do interior de São Paulo em cursos de exatas, apresentaram leituras sobre o paradoxo EPR a partir do trecho da obra de Oliveira e Vieira (2009). [Anexo A]

Notamos que o tema dá margem a discussões, inclusive tem polêmicas que geram maior controvérsia entre os físicos, os historiadores e os epistemólogos. Michel Paty (2001) apresenta a temática dizendo que:

Desde sua criação, a mecânica quântica tem suscitado problemas de “interpretação”

que rapidamente tomaram a forma de um debate filosófico sobre o conhecimento e sobre a realidade. Ao mesmo tempo em que permitia descrever e prever os fenômenos atômicos e da radiação, a mecânica quântica parecia mostrar limitações em relação aos cânones do conhecimento físico anterior: descrição probabilista, [...] relações de “indeterminação” [...], complementariedade das descrições duais em termos de onda e de partícula e das grandezas conjugadas [...] no lugar de uma descrição [...] (p. 69)

Observa-se um rompimento entre o modo de se fazer ciência da Física clássica e a interpretação da mecânica quântica, como ambos os autores afirmam. Destacamos que no ensino básico e no ensino superior no nível de graduação a Física que basicamente se estuda é a Física clássica, em que o elemento de realidade é fundamentado pelos pressupostos do artigo proposto por EPR em 1935, no qual cada elemento físico possui um elemento correspondente na realidade.

Por outro lado, constatamos em nossos ensaios que, especialmente nas salas de aula, onde há uma maior heterogeneidade entre os estudantes, não existe preferência por um único tipo discursivo. Existem alunos que gostam de ler mais romances, aqueles que preferem a linguagem matemática e etc. Bugliato (2016), a partir de uma UE que trabalhou com alunos de ensino médio, constatou que os diferentes tipos discursivos possibilitavam um maior envolvimento dos alunos e mais discussões.

Lembramos o que Almeida (2000), referindo-se a Einstein e Infeld (1980), disse:

[...] Por exemplo, independente para quem estes dois autores, Einstein e Infeld, estavam provavelmente se dirigindo em seu livro “Evolução da Física”, em alguns trechos do livro ilustram a preocupação deles. [com o leitor leigo]. No prefácio, quando os autores questionaram quem seria o leitor para quem eles estariam escrevendo, entendem que todo escritor imagina um leitor. Quando eles afirmaram que o leitor suposto seria completamente leigo em Física e matemática, parece que eles quiseram dizer que não se teria problemas na leitura do livro. (...) Mais adiante, eles presumiram que sabiam que “[...] **um livro de ciência, mesmo que de divulgação científica, não deve ser lido da mesma maneira que um romance**”. Ele deve ser lido de maneira apropriada – diferentemente de outros textos. [...] que a ciência tem que criar sua própria linguagem. Eles, também, disseram que os conceitos científicos, embora começando com a linguagem do dia-a-dia. Também afirmam que os conceitos científicos, apesar de frequentemente introduzidos com a linguagem comum “[...] são transformados e perdem sua ambiguidade associadas à linguagem comum e, transformam-se em mais formais, podendo, então, serem aplicados ao pensamento científico. ” Mais do que informação sobre as características da linguagem comum e da linguagem científica, esta última citação dá-nos uma opinião dos autores sobre a natureza do pensamento científico, que de acordo com eles requer o funcionamento de conceitos que não são imprecisos. No mesmo livro com relação à linguagem matemática, Einstein e Infeld afirmam que esta (a linguagem matemática) “[...] dá um recorte e possibilita uma descrição precisa do movimento com muito menos tinta que nós usamos para escrever uma sentença [...]”. Além disso, nota-se, uma vez mais, que o discurso não tenta apresentar apenas resultados científicos, os autores quererem induzir ao leitor uma ideia sobre o valor da matemática [...]<sup>4</sup> (p. 2 e 3, grifo nosso)

---

<sup>4</sup>Tradução feita por nós de: (...) For example, independently of to whom the two authors, Einstein and Infeld [14], were most probably directing their book, Evolution of Physics, some discourses illustrate this

Assim, não é de se espantar que alguns alunos nas aulas de Física, quando são propostas leituras sintam falta da linguagem matemática. E perguntam como o que está sendo discutido poderia ser representado matematicamente. Além disso, provavelmente pela ausência de atividades de leituras em aulas das disciplinas de Ciência, também, não são poucos os que perguntam se é aula de Língua Portuguesa quando proposto este tipo de atividade diferenciada, como pudemos notar quando realizamos nossa pesquisa de iniciação científica.

Outro ponto que destacamos é a dificuldade dos alunos relacionarem os sentidos estabelecidos em suas leituras com memórias de leituras. Ou seja, quando são propostas atividades de leitura em sala de aula, os estudantes acabam realizando a ideia de leitura fomentada pela escola, em que a boa resposta é aquela que o aluno “traduz” o texto para suas palavras. Diferentemente do que AD, especialmente a autora brasileira Eni Orlandi, propõe que a interpretação ideal seria a que apresenta elementos além do texto, incluindo memórias de leituras dos estudantes. Ou seja, que os mesmos estabeleçam relação entre a leitura realizada e sua memória discursiva ao interpretarem o texto.

Dentro das noções de análise de discurso (AD) Orlandi (1996), classifica:

- a) a repetição empírica, exercício mnemônico que não historiciza;
- b) a repetição formal – técnica de produzir frases, exercício gramatical que também não historiciza;
- c) a repetição histórica, a que inscreve o dizer no repetível enquanto memória constitutiva, saber discursivo, em uma palavra: interdiscurso. Este, a memória (rede de filiações), que faz a língua significar. É assim que sentido, memória e história se intrincam na noção de interdiscurso (p. 70).

---

preoccupation. In the preface, when the authors questioned who would be the readers whom the book was written for, it was understood that whoever wrote a text imagined the readers. When they affirmed that the supposed readers were completely ignorant about physics and mathematics it appeared that they wanted to say there would be no problems in reading the book. the readers whom the book was written for, it was understood that whoever wrote a text imagined the readers [...]Furthermore, they presumed *they knew that “(...) a scientific book, although it be a popular one, should not be read in the same way as a novel”*.p.12 *It should be read in an appropriate manner – different from other texts. (...) that science has to create its own language. They also said that the scientific concepts, although frequently beginning with an everyday language” (...) are transformed and lose ambiguity associated with everyday language, becoming more formal so that they may be applied to scientific thought.*”p.21 *More than inform about everyday and scientific language characteristics, this last quotation gives us an opinion of the authors about the nature of scientific thought, which, according to them requires for its functioning concepts that are not imprecise. In the same book in relation to mathematics, Einstein and Infeld affirm that it “(...) gives a shortcut and enables a precise description of movement with much less ink than we use to write a sentence.”*p.35 *Besides noting once again that the discourse does not attempt to present only scientific results, we can conclude that the authors appear to want to induce in the reader an idea about the value of mathematics (...)* (Almeida, 2000, p2 e 3)

## 1.2 Leituras de divulgação científica

Para analisarmos as leituras que alunos do ensino médio (EM) fazem de livros de divulgação científica (DC) e de livros de DC com narrativas de FC (DC/FC), buscamos nos principais periódicos da área de ensino de Ciência (EC) nacionais estudos que já tivessem trabalhado sobre o assunto. Esse levantamento bibliográfico foi feito com base em: Caderno Catarinense de Ensino de Física/ Caderno Brasileiro de Ensino de Física (arquivo de 1984 a 2015), Ciência & Educação (arquivo de 1998 a 2015), Ciência & Ensino (arquivo de 1998 a 2015), Investigação em Ensino de Ciência (arquivo de 1996 a 2016), Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (arquivo de 1999 a 2015) e Revista Brasileira de Ensino de Física (arquivo de 1979 a 2015); também consultamos uma revista internacional, Revista Electrónica Enseñanza de las Ciencias (arquivo de 2002 a 2015). O levantamento bibliográfico foi feito a partir da base eletrônica, nos números digitalizados.

Para realizarmos o levantamento, buscamos quais artigos continham a palavra leitura – título, resumo ou palavras-chave – e averiguamos a pertinência destes com a nossa proposta de leitura. Inicialmente buscamos todos os artigos que tratavam da questão de leitura, contudo observamos que a variedade era muito grande pela amplitude do que se entende por leitura. Assim, selecionamos apenas os artigos que tratavam sobre ato de ler textos de DC. Atentamos também para o fato que fosse trabalhado apenas a DC, nenhum outro tipo discursivo. Todavia, consideramos museus – embora não haja apenas discurso textual, o mesmo está presente; meios de comunicações, textos informativos – entendendo que DC é uma maneira de se informar; panfletos e alfabetização científica, como pertencente à categoria de tipo discursivo de DC. Como o levantamento foi feito até o ano de 2015 e realizamos a revisão em todos os números que estavam disponíveis no site das revistas, a data de início não é a mesma para todas as revistas.

Notamos que há um extenso número de pesquisas nesta área que utilizam o mesmo referencial teórico-metodológico que o nosso ao tratarmos de leituras em salas de aulas. Destacamos que pelo menos desde a década de 1990, no Brasil, os pesquisadores têm mostrado a importância da leitura de DC em salas de aulas de Ciência e suas diferenças com a leitura nas aulas de línguas. Constatamos que desde 1993 se discute a possibilidade de inserir textos de DC nas aulas de Ciência, entre eles (ALMEIDA & RICON, 1993; SILVA & KAWAMURA, 2001). Essas pesquisas apontam diversos motivos para importância dessa prática estar presente em salas de aula de Física.

Segundo Almeida e Ricon (1993) e Cassiani, Giraldi e Linsingen (2012), a leitura

realizada nessas aulas é diferente das feitas nas de Língua Portuguesa. Um dos objetivos das leituras em aulas de Ciência é trazer escritos científicos e explicar recursos da cotidianidade para os estudantes. Nesse sentido, a leitura também pode contribuir por levar à escola uma de suas funções de formação de cidadãos.

Ainda em Almeida e Ricon (1993), observamos que eles já introduziram o debate sobre a possibilidade de inserção de DC em aulas de Física e apontam que, muitas vezes, os textos de DC perdem o rigor científico em prol da linguagem comum. Destacam que não é um trabalho fácil unir o rigor científico e uma linguagem acessível.

Embora reconheçamos a dificuldade e possível imprecisão, de se apresentar alguns conceitos por meio da DC, destacamos que pode ser um meio para ajudar na alfabetização científica, como apontam Teixeira (2013) e Pereira e Terrazan (2011).

Em especial no artigo de Teixeira (2013), que consideramos pertinente ao nosso estudo bibliográfico, apesar de focar e trazer uma perspectiva histórica da alfabetização científica. Tal como as implicações dentro da área da Língua Portuguesa e de ensino de Ciência (EC) com relação a ela. Embora tente delimitar o conceito, apresenta uma perspectiva ampla do que é alfabetização científica, envolvendo leitura, escrita de texto científico, bem como entendimento e análise das informações. Mostra que há uma relação direta entre a alfabetização geral e a científica.

Entendemos que pensar sobre os significados de alfabetização científica é pensar sobre as funções da educação científica, qual o seu papel, onde ela acontece e de que formas; é, em última instância, pensar sobre o que é educação científica, o que se pretende com tal educação, de que forma podemos alcançá-la e quais os modos pelos quais podemos avaliar se, de fato, os objetivos almejados foram alcançados. (Ibid., 2013, p.796)

Logo, para o autor o EC se faz de maneira mais abrangente que apenas a aprendizagem de Ciência.

O ensino de ciência concebido à luz de objetivos educacionais mais amplos que o aprendizado de ciência per si (conhecimentos e procedimentos), assumido como parte da alfabetização, implica práticas pedagógicas que, a um só tempo, envolvem e desenvolvem: atividade intelectual, pensar crítico e autônomo, mobilização consciente e intencional de recursos cognitivos e metacognitivos. (Ibid., 2013, p. 806)

Neste sentido, concordamos com o autor, pois seria interessante que a educação estivesse em prol da formação do cidadão, ensinando-o a ler o mundo criticamente e, defendemos que, por meio da alfabetização científica, é possível ampliar esta compreensão do mundo. Tal como defendemos que a variedade de práticas didáticas possibilita que mais estudantes se envolvam nas aulas, visto que uma turma é integrada pela heterogeneidade de

alunos.

Retomemos a análise de Brugliato (2016) sobre trabalhar com diferentes tipos discursivos, o que possibilita que a dificuldade de compreensão da disciplina seja minimizada, além de abranger os mais diferentes tipos de leitores. Pois, cada tipo discursivo possui uma lógica própria, que permite que em diferentes momentos da aula, ao abordarmos diferentes tipos discursivos, um grupo de alunos seja contemplado.

Por outro lado, devemos estar atentos, pois,

[...] quando o professor busca proporcionar o aprendizado utilizando outros tipos de discurso, como os vídeos, por exemplo, se nota, muitas vezes, um descaso dos alunos, pois aparentemente supõem que a atividade não faz parte do conteúdo e irá acabar ali. [...]Essas situações apontam para uma possível falta de interpretação de leitura dos mais diversos tipos de discursos por esses alunos. (Ibid., 2016, p. 34)

Neste sentido, Pereira e Terrazan (2011) apontam a importância do letramento multimodal, o qual não é trabalhado nos cursos de formação inicial de professores. Os autores apresentam a problemática até como um ponto a se começar a discutir no currículo acadêmico.

Entretanto, sabe-se que grande parte dos professores ainda não está acostumada à leitura multimodal, o que torna tais recursos de uso limitado. Logo, os recursos multimodais parecem estar acrescentando outro desafio aos professores, o do desenvolvimento do próprio letramento visual, o qual se faz indispensável para que possam apropriar-se mais adequadamente desses recursos em sua prática pedagógica. (Ibid., 2011, p. 502)

Ou seja, os autores apontam que a educação atualmente, tal como a formação dos educadores, está muito voltada a um ensino unimodal, porém cada vez mais vivemos numa sociedade multimodal. Com isso é interessante que para uma educação cidadã, sejam incluídas as diferentes linguagens e modalidades de leituras.

Mostramos a importância deste aprendizado quando Pechula (2007) aponta que as leituras de ciência que meios de comunicação têm feito, em termos sensacionalistas, podem distorcer o processo de construção das ciências. Ou seja, Pechula (2007), neste artigo, busca analisar como diferentes meios de comunicações divulgam a ciência. Ela nos apresenta um cuidado que se deve ter ao inserir DC em sala de aula, ou seja, escolher o material cuidadosamente, de maneira que este não apresente a ciência apenas por imagens impactantes e espetaculares. Deve se fazer a seleção de maneira a não ser um material que banalize a ciência ou a simplifique como um produto a ser “[...] a única fonte solucionadora de todos os problemas [...]”. (PECHULA, 2007, p. 220).

Por sua vez no artigo de Silva (1998), o autor discute justamente a seleção do material e mostra que é importante que se pense na série, no seu objetivo e no tema da aula.

Nas palavras do autor:

São diversos os aspectos que podem ser considerados na escolha e seleção de textos para trabalho em sala de aula. O interesse e motivação dos alunos pelo tema do curso, a geração de debates e polêmicas, a apresentação de aspectos da produção da ciência e tecnologia, de aspectos do contexto histórico-social da produção do conhecimento científico, a introdução de conteúdos de maior relevância social, a série, o lugar dos textos no curso, a relação dos textos com outros recursos como vídeo e experimentação etc. etc. O texto escrito não só pode ser usado com diferentes intenções e objetivos, como funcionará de modos diferentes conforme a atividade, o contexto de interações, a história de vida e de leitura dos alunos e o trabalho sobre suas expectativas. (SILVA, 1998, p. 10)

Ou seja, uma atividade de leitura deve ser planejada e pensada, não se pode apenas solicitar aos alunos a leitura, sem ter um objetivo. Logo, não importa a didática que se proponha adotar, precisa-se com base nela ser coerente e planejá-la.

Considerando a perspectiva da AD pechetiana, Silva e Almeida (2015), também abordam a questão da importância da seleção dos textos a serem trabalhados em salas de aula. Porém, mostram que dependendo do texto resulta justamente naquilo que Pechula (2007) também critica dos meios de comunicação, ou seja, que ciência e tecnologia são a “salvação do mundo”.

Os autores Silva e Almeida (2015), destacam a importância do conhecimento para além do utilitarismo. Em outras palavras, defendem um conhecimento enquanto cultura. Tal como nós entendemos o ensino de Física em nível médio.

Eles enfatizam que, embora haja o risco de reafirmar o imaginário social de tecnologia e ciência serem a salvação do mundo, este poderá ser menor se comparado com as possibilidades abertas ao ensino que a DC traz, como Almeida e Rincon (1993) abordam com relação ao rigor da DC. Ou seja, que por intermédio de temáticas de objetos tecnológicos presentes em nosso cotidiano, possibilitem sensibilizar os alunos a se envolverem mais com as aulas.

Num referencial teórico distinto, Coelho e Marques (2007), que se apoiam nas ideias de educação libertadora de Paulo Freire, mostram que a contextualização do ensino pode ser um caminho para formação cidadã dos estudantes. A ideia de formação que defendemos, especialmente, na educação básica. No ensino superior e formação continuada, embora a ideia cidadã não deva ser abandonada, passa a ser direcionada, ou seja, o cientista cidadão, o professor e etc. Com isso destacamos a conclusão dos autores.

Para enfrentar e superar contradições sociais faz-se necessário ousar no constante ato de “desvelar” a realidade, o que possibilita a evolução da “consciência máxima possível”. Nesse intuito, a contextualização constitui-se como algo de suma importância para discutir, juntamente com professores e estudantes, o potencial que estes possuem como agentes transformadores da sociedade [...] (COELHO;

MARQUES, 2007, p. 72).

Aqui apresentamos apenas uma breve leitura do que vem se discutindo com relação à leitura de DC em sala de aula.

### **1.3 Leituras de ficção científica**

Seguindo o objetivo de nosso trabalho sobre a leitura de alunos de EM de textos de DC e DC/FC, optamos por fazer um levantamento bibliográfico do que vem sendo produzido na área de EC com relação à leitura de FC. Para selecionar os artigos tomamos a FC como um tipo discursivo literário. Isto é, entendemos que ela faz parte do universo literário, porém distinguimos o discurso desta narrativa de narrativas policiais, dramas, comédias entre outros. Entendemos, assim, que pode ser produzido tanto um romance, quanto uma crônica, quanto uma fábula ou um poema de FC.

Ainda para nossa seleção, entendemos que a linguagem de prosa e poema é muito diferente, pois levando em conta nosso referencial teórico-metodológico forma e conteúdo não se separam, em ambos os casos a maneira de se apresentar modifica suas interpretações. Sendo assim, optamos por pesquisar apenas trabalhos realizados com leitura de prosas, de acordo como se apresenta o tipo textual dos livros que nos propusemos trabalhar.

Também optamos por não trabalhar com os materiais que envolviam a linguagem de audiovisual, considerando esta multimodal. Ou seja, ela implica todo um letramento científico que não pretendemos discutir aqui.

Nosso levantamento bibliográfico foi realizado desde as publicações iniciais até o primeiro volume do ano de 2016, que estivessem digitalizados, dos mesmos periódicos que fizemos o levantamento para leituras em DC, sendo estes: Caderno Catarinense de Ensino de Física/Caderno Brasileiro de Ensino de Física (arquivo de 1984 a 2015), Ciência & Educação (arquivo de 1998 a 2015), Ciência & Ensino (arquivo de 1998 a 2015), Investigação em Ensino de Ciência (arquivo de 1996 a 2016), Ensaio Pesquisa em Educação em Ciência (arquivo de 1999 a 2015) e Revista Brasileira de Ensino de Física (arquivo de 1979 a 2015); também buscamos em uma revista internacional, Revista Electrónica Enseñanza de las Ciencias (arquivo de 2002 a 2015).

Procuramos os artigos que continham no título, resumo ou palavra-chave ficção científica e depois selecionamos se eram sobre textos de FC ou não. Notamos que mesmo que haja uma variedade no apoio teórico-metodológico, diferente do que ocorre em DC, não

encontramos textos que utilizassem a AD pechetiana na análise. Observamos que a maioria utiliza a semiótica – análise sociolinguística. Também, notamos que nesta vertente, há uma grande parte de trabalhos teóricos. Notamos que analisam a possibilidade de trabalhar com este tipo de obra em sala de aula, sem que seja apresentado um estudo empírico.

Ressaltamos que nosso levantamento mostrou que o uso de FC em EC data da década de 2000, e Piassi (2013) aponta que o uso de diferentes tipos de literatura no ensino da Física não é uma prática recente e afirma que vários pesquisadores vêm defendendo a utilização da FC como recurso didático. Todavia, reiteramos que, não obstante reconhecemos que a FC se situa num imaginário que difere de outros tipos de literatura e, aqui, consideramos apenas os trabalhos em que os autores afirmavam que estavam trabalhando com FC e não com obras literárias, literatura ou poemas.

Concordamos com Piassi (2012) quando disse que há várias maneiras de se trabalhar com a FC na escola, por fornecer uma gama de articulações com diferentes campos dos saberes. O autor defende que, embora a obra não tenha como objetivo definir conceitos ou ilustrá-los, tal como os livros didáticos, possibilita o trabalho conceitual, não é fragilizada neste aspecto.

Pelos conceitos científicos aparentemente não serem seu foco, notamos que não privilegia muitas vezes o rigor científico, e usualmente traz elementos futurísticos em prol do enredo da história. Em nossa opinião, neste ponto se a obra for trabalhada na escola seria importante o papel do professor como mediador, para fazer a ponte entre o que a obra aborda e os elementos da cultura científica.

Logo, o valor da utilização dessas obras está além das definições científicas. Está relacionado com a dimensão do social nos conceitos científicos, pois estes estarão sendo abordados dentro de sua dimensão política e cultural, assim traz a cultura científica para sala de aula.

Nesse sentido, a obra de ficção científica, como produto artístico de uma sociedade em que a ciência é um aspecto crucial, deve ser encarada menos como um recurso didático e mais como um objeto de estudo. A exibição de um filme ou **a leitura de um conto como “O Segredo”** talvez não deva ser entendida a partir do prisma do material didático, que ensina, ilustra ou demonstra conceitos sobre manipulação genética ou campos gravitacionais (PIASSI, 2012, p. 224, grifo nosso.)

Acreditamos ainda que ao fazer uso dos textos de FC podemos contribuir para estimular a reflexão dos alunos com respeito ao poder que a ciência exerce em nossa sociedade. E também possibilitar que determinemos as “posições ideológicas e as representações culturais a respeito da atividade *científica*” (Ibid., p.226).

Podemos observar ainda que tal como a DC pode se aproximar da maneira narrativa da FC, a FC também pode se aproximar da maneira informativa da DC. Ou seja, enquanto a DC pode tomar emprestado aspectos das narrativas fictícias da FC, a FC pode tomar emprestado a maneira de explicar ciência da DC. Nesse sentido, concordamos com Ferreira e Raboni (2013) ao fazerem análise do livro de Júlio Verne “Vinte mil Léguas Submarinas” e apontarem alguns aspectos que se aproximam da divulgação. Contudo, a FC é constituída por um tipo discursivo e a DC, por outro.

Entendemos que a leitura em sala de aula não supre outros aspectos que fazem parte da ciência, como a linguagem matemática no caso da Física. Nem pretendemos que a leitura seja sobreposta aos atributos matemáticos. Logo, estamos de acordo com Ferreira e Raboni (2013) quando afirmam que a leitura ao ser mediada pelo professor é muito enriquecedora, porém é importante que ela seja aliada de aulas com outras metodologias, pois apenas ela não abrange todos os atributos que circundam a ciência. Acreditamos que seria interessante o diálogo entre as diferentes metodologias e cada uma sendo tratada como a essência da aula, não apenas como motivadoras.

Ainda que o trabalho com livros de ficção, como os do autor estudado, não substitua o ensino de Física e de ciência para a apreensão de conceitos, expressões matemáticas, esquemas e gráficos, entre outros, tendo em vista que não é esse o objetivo do gênero, sua leitura, no entanto, pode complementar esse estudo, oferecendo aos alunos outras perspectivas para os conhecimentos, entre elas a de suas aplicações na vida real e a de seu caráter histórico. (Ibid., p. 101)

Acreditamos ainda que o trabalho em união da leitura de textos de FC, com outras metodologias de ensino em sala de aula, possibilitaria um maior interesse de muitos dos alunos. Além de permitir abranger as suas diferentes curiosidades e, com isso, desmitificar um pouco que a Física se resume a solução de exercícios com linguagem matemática, com uma mera aplicação de fórmulas.

Também, a leitura pode permitir que aproximemos os conceitos físicos da realidade vivida pelos alunos, e assim, possibilita estimulá-los a debater as preocupações acerca dos problemas sociais, políticos, econômicos e culturais que circundam o desenvolvimento tecnológico. E isso permitiria que os estudantes refletissem sobre os riscos que o atual desenvolvimento tecnológico desenfreado pode representar para a humanidade. Ou seja, como aponta Piassi e Pietrocola (2009):

A ficção científica, mais do que se fixar no aspecto das leis naturais envolvidas na bomba atômica ou de qualquer outro tema, suscita um debate sobre as implicações sociais das possíveis descobertas, invenções e fenômenos concebíveis. Põe em questão a tecnologia, que é fundamental na vida, que está visceralmente ligada à

ciência. (p.11)

Constatamos que Reis e Galvão (2006) apresentam a FC como sendo um dos caminhos para se alcançar “[...] o exercício da cidadania como a democraticidade da *sociedade* [...]” que se pretende com o ensino básico, “[...] que proporcione a qualquer cidadão os conhecimentos processuais e epistemológicos necessários à compreensão da natureza e das dinâmicas da *ciência*. ” (Ibid., 230).

Além disso, sobre a FC, consideramos que se bem selecionada e se feito um trabalho interdisciplinar, pode ser trabalhada como um clássico da literatura. Contudo, o nosso interesse não é classificar as obras ou a leitura como tipo cultural e nem apontar possível dicotomia entre cultura erudita e popular. É defender que, com a leitura pode-se apresentar problemas interessantes aos alunos, que talvez sozinhos eles não se colocariam, mas que com a mediação do professor pode instigá-los a refletirem e debaterem os assuntos (Piassi, 2015a).

Portanto, o intuito de trabalhar a leitura de determinada obra, não é com o mesmo objetivo usual do livro didático, ou de transformá-la em uma obra didática. É trazer ao aluno uma perspectiva cultural, indagadora.

Finalmente, articulamos ambas as perspectivas [SNYDER e FREIRE], procurando mostrar como a ficção científica possui características que justificam sua presença nas atividades educativas de ciência, com sentido efetivamente motivador, não como artifício para angariar a simpatia dos estudantes por ciência, e sim porque é capaz de apresentar questões significativas sobre as quais todos gostaríamos de nos debruçar (Piassi, 2015a, p.782)

Em síntese, vale lembrar que acreditamos que a leitura de FC em sala de aula possa permitir: 1. Motivar os alunos; 2. Produzir uma relação positiva do estudante com a cultura e o conhecimento científico; 3. Auxiliar na aprendizagem de conceitos científicos; 4. Despertar a criatividade e pensamento crítico. Além destas razões, cabe lembrar que Piassi (2015b) destaca que:

Talvez devêssemos acrescentar um novo tipo de motivação: a social. Shaw e Dybdahl [2000, p. 22, tradução nossa] apontam que as crianças não aprendem ciência apenas na escola: “esta aprendizagem inclui os seus encontros com a ciência na mídia não impressa, tais como filmes, programas de televisão e anúncios publicitários de televisão e mídia impressa, como jornais, revistas e livros”. Elas argumentam que essa aprendizagem informal é um fato inevitável e, por isso, os educadores devem estar preparados para levar em conta as interações entre a aula de ciência do ensino formal e informações de outras fontes que as crianças obtêm. A ciência está presente nos meios de comunicação, simplesmente porque, cada vez mais, toma parte na nossa vida sociocultural como um todo. Para a estudiosa de mídia holandesa, J. Van Dijk (2003, p. 183, tradução nossa), “temos de reconhecer como todo o aparato de entretenimento audiovisual de massa é mais que um simples mediador, é um importante espaço onde a construção e constituição da ciência são

negociadas”. Neste contexto, a ficção científica tem um lugar especial. Deste ponto de vista, não deve ser considerada como um simples auxílio de ensino, mas como uma fonte de questões atuais e as preocupações sobre o papel da ciência e da tecnologia em nossa sociedade, a “resolução imaginária de contradições reais” visualizada por Talbot [1995, p. 6]. (p.216)

Por fim, são inesgotáveis as razões para se ler um livro de FC, logo, o trabalho em sala de aula com uma leitura deste tipo, na nossa opinião, pode ser motivador não apenas para os discentes, mas possivelmente também para o docente. Assim, essa literatura pode permitir um diálogo e a formação de um discurso polêmico dentro de sala de aula.

#### **1.4 Semelhanças e afastamentos entre os textos de divulgação e de ficção**

Na área de EC, observamos que, apesar de, como destaca Silva (2006), haver uma estabilidade na possibilidade do uso de DC em sala de aula, defini-la ainda é um grande desafio. Nosso objetivo aqui não é conceituá-la, mas apresentar algumas noções que nos possibilitem caracterizar as obras que trabalhamos e aprimorar a UE que desenvolveremos com alunos de ensino médio.

Destacamos que muita DC se confunde com outros tipos discursivos, como os paradidáticos, FC e até biografias, história da ciência, entre outros. Por isso, torna-se tão difícil dizer o que é a DC. Por outro lado, podemos dizer que é produzida a partir de uma maneira de criar conhecimento, nas palavras de Silva (2006):

[...] A aparente obviedade da expressão divulgação científica faz-nos esquecer de sua associação a todo um conjunto de representações e valores sobre a própria ciência, os textos que lhe são associados e o imaginário que os diferencia em termos de legitimação com relação ao conhecimento que veiculam os lugares por onde este e não aquele texto pode/deve circular. O que está em jogo é a questão da multiplicidade de textualizações do conhecimento científico. [...] Parece que o termo divulgação científica, longe de designar um tipo específico de texto, está relacionado à forma como o conhecimento científico é produzido, como ele é formulado e como ele circula numa sociedade como a nossa. (p.4)

Ainda na perspectiva do autor, a DC não é fenômeno da sociedade atual. Desde o século XVII quando do nascimento da ciência moderna, o discurso da DC surge como uma maneira de fazer circular o conhecimento científico socialmente. Com o passar dos anos, a divulgação científica foi se cristalizando enquanto profissão e se distanciando de seu modo inicial de produção, feita apenas pelos próprios cientistas. Assim, foi tomando uma linguagem própria, logo associar a ideia da DC à “disseminação”, acaba por tomar um tom pejorativo a este tipo discursivo, pois dá ideia de “uma atividade unidirecional produto da interlocução exclusiva entre cientista (ou jornalista) e o não cientista.” (Ibid., 2006, p.6)

Ou seja, enfraquece o que é a DC, toda interlocução que ela envolve entre

cientistas. Logo, na interlocução que se estabelece entre as diferentes esferas, produzem-se diferentes textualidades, assim, a DC, não deve ser entendida como um discurso para simplificar a ciência a um público não cientista, mas deve ser entendida em sua complexidade discursiva, visto que diferentes interlocutores produzem diferentes intertextualidades, possuem diferentes memórias de leituras. Ou seja, “[...] *diferentes textualidades produzem diferentes efeitos leitores, produzem/reproduzem diferentes relações sociais entre os sujeitos.*” (SILVA, 2006, p.5)

Portanto,

O que chamamos de divulgação científica é o reflexo de um modo de produção de conhecimento restringido e, conseqüentemente da constituição de um efeito-leitor específico relacionado à institucionalização, profissionalização e legitimação da ciência moderna, e que opõe produtores e usuários/consumidores e, cria a figura do divulgador, que viria, imaginariamente, restabelecer a cisão, e minimizar a tensão instaurada ao longo da história no tecido social da modernidade. Essa cisão não é mantida sem tensão, sem a (re)produção tensa de um imaginário que a mantém. É nesse imaginário que trabalha a divulgação científica (Ibid., 2006, p. 6)

Como aponta o autor, embora a ciência seja feita de um leitor discordante, em meio à resistência, em posicionamento político, epistemológico, por exemplo:

Quando Einstein intitulou seu artigo “Sobre um ponto de vista heurístico sobre a produção e transformação da luz”, em 1905, a expressão “ponto de vista heurístico” representava um ponto de vista de natureza epistemológica e ontológica sobre a teoria quântica, nos primórdios de seu desenvolvimento, envolvido desde então num debate cujos termos não estavam formulados no próprio artigo, mesmo que, ao formular seu título dessa forma, o autor já tomasse uma posição nessa polêmica que iria se arrastar durante décadas. (Ibid., 2006, p. 5)

Orlandi (2001) ao tratar do jornalismo científico, descreve dentro das noções da AD o discurso da DC,

[...] o que deve ser decisivo nas práticas de divulgação de ciência não é somente o tipo de meio utilizado (a videoconferência, a internet, a televisão, as mídias impressas, etc.), mas a concepção de linguagem que permeia o processo. [...] o leitor não interage com o texto, mas com outro sujeito [...] nas relações sociais, históricas, ainda que mediadas por objetos (como o texto). Ficar na objetividade do texto, no entanto, é fixar-se na mediação, absolutizando-a, perdendo a historicidade dele, logo sua significância [...] (Ibid., 2001).

Por sua vez, na formação da exclusão social, surge então um discurso de DC que homogeneíza a ciência, a torna natural, com isso, diferencia os produtores de ciência dos consumidores. Como se a ciência fosse feita de maneira unitária.

A partir da Primeira Revolução Industrial no século XIX, o caráter social, político e econômico da ciência tem se ampliado de maneira a tornar a essência das relações nestas diferentes esferas da sociedade. Nessa perspectiva, torna-se inevitável o acesso à ciência pelo público leigo e que está de fora da posição de sujeito científico, de maneira que a escola deixa de ser o único intermeio entre formação do sujeito e ciência, que passa a ter acesso a estas

informações por meio de diferentes meios de comunicação – imprensa impressa, digital e virtual. Informações que anteriormente, eram, muitas vezes, vedadas pelo clero, em prol da virtude religiosa.

Nestes termos, notamos que ao longo dos anos muitas obras literárias passaram a introduzir ideias científicas, algumas se tornando o fundamento essencial da narrativa, assumindo como gênero literário de ficção científica (FC). O tipo discursivo da FC teve seu auge na década de 1920, com as revistas estadunidense, denominadas de pulp magazines. Piassi (2007a), afirma que:

[...] a ficção científica se espalhou por diversos meios dando origem a filmes de cinema, produções televisivas, histórias em quadrinhos, desenhos animados e, mais recentemente, jogos de interpretação de papéis (RPG) e jogos de computador (OLIVEIRA, 2004). A indústria cinematográfica e televisiva norte americana popularizou o gênero mundialmente em séries como **Jornadas nas Estrelas** e filmes de enorme sucesso como **Guerra nas Estrelas** e **Matrix**, entre inúmeros outros. (p. 92)

Observamos que com isso a FC, embora em tipo discursivo seja diferente da DC, passou a ser uma importante forma de divulgação científica e a constituir o imaginário social da ciência. Logo, notamos que muitos dos trabalhos de DC recorrem à narrativas de FC, o que torna ainda muito difícil conceituar FC, pois além disso, a última pode ser vista como ficção surrealista por fazer menção a “fatos que se verificam em ambientes sociais não existentes na atualidade e que jamais existiram em épocas anteriores.” (ASIMOV, 1984 apud PIASSI; PIETROCOLA, 2009).

Nas palavras de Silva (2008), a FC é “[...]aquela que antecipa possibilidades de futuro, baseada na história e sobretudo, nas possibilidades científicas, mesmo que aparentemente crie o inverossímil, o não verdadeiro ou até mesmo o *impossível*.”

Portanto, esse contexto apresenta que não importa se as ideias que são veiculadas são distorções ou simplificações das científicas, mas, que, por meio delas, a cultura científica pode ser introduzida à sociedade em geral. Possibilita-se, assim, que a sociedade assuma mais uma maneira de se colocar frente ao mundo.

Outra característica que destacamos da FC é o contraste entre o poder e a limitação humana, o deslumbramento pelo desconhecido que podem, ou não, enfocar a catástrofe. Além do desejo humano de domínio da natureza, pela conquista de novas terras, pela superação da gravidade e o segredo das águas. (BALDESSIN, 2006)

Nessa perspectiva, em diálogo com o texto de Silva (2006) que faz uma leitura sobre a formação discursiva da DC, podemos dizer que ambas se relacionam, ao possibilitarem a veiculação das ciências à sociedade em geral. Contudo, nem toda obra de FC

pode ser vista em termos de DC, nem vice-versa. Por sua vez, em alguns casos, notamos que os limiares entre os tipos discursivos se tornam emaranhados e pouco nítidos.

Retomando a FC, ressaltamos que a ficção, deste tipo discursivo, é produzida em determinadas condições sociais, culturais, políticas e marcadas pelo autor, que estão localizadas num contexto social, histórico e cultural, que fundamentiza suas representações discursivas. Ou seja, ao escrever o autor imprime sua marca e como em todo discurso que estabelecemos, apresentamos nossas memórias discursivas, nos colocando e nos posicionando enquanto sujeitos de discurso. De maneira que toda obra é autobiográfica, possibilita que o leitor construa uma imagem de como um autor, de como ele é e se posiciona socialmente e historicamente. (PIASSI, 2007b).

Contudo, os meios de comunicação artísticos (seja filme, livros, fotografias, teatro, música, artes plásticas) são apenas um dos locutores do discurso científico à sociedade. Esta com uma formação de memória discursiva que inter-relaciona com discursos científicos estabelecidos pelos meios de comunicação de massa e pelas escolas. Portanto, o autor de FC, além de pensar no discurso da ciência, deve pensar como despertar o interesse pela leitura de sua obra, o que ela abre de oportunidades ao seu leitor. Uma das maneiras de realizar esta tarefa é atender os anseios de seu leitor e possibilitar reflexão crítica a respeito da ciência que lhe é ensinada e veiculada pelas escolas e mídias. Torna-se atraente propiciar uma aproximação de sua obra à realidade do seu leitor. Segundo, Gonçalves (2013) as publicações de FC cumprem uma função social importante de “[...] entender, explicar e interagir com o leitor, assegurando às pessoas a consciência de sua cidadania [...]”.

Se levarmos em conta esse objetivo proposto pelos textos de FC notaremos que muitos dos autores se valem da linguagem e da narrativa de ficção para exprimir de maneira acessível e interativa os conceitos científicos. As obras de FC constroem por meio de tramas históricas que se dilatam de maneiras alegóricas com o objetivo de inserir a cultura científica ao público em geral. São as alegorias que vão promover a distinção entre a história que é contada e os fenômenos conceituados, promovendo uma “(...) *descontinuidade entre o real e o imaginário* [...]” (Piassi, 2007b, p. 174).

Por alegoria, entendemos a representação estabelecida para impulsionar a ideia e a inferência moral de termos e conceitos, aqui por nós trabalhados, científicos em contramão de noções sociais cotidianas. Carlos Ceia (1998) aponta que o significado em grego da palavra “allegoría” é “[...] dizer o outro [...] dizer alguma coisa diferente do sentido literal [...] reporta se a uma história, uma situação que joga com sentidos duplos e figurados, sem

*limites textuais [...]”.(s/p)*

Importante notar que ao estabelecermos diálogo com Carlos Ceia (1998), devemos ressaltar a ideia de sentido literal trazida pelo autor. Ou seja, o sentido literal é o sentido institucional e formatado pelas gramáticas e dicionários, que é reordenado com as nossas posições de sujeitos de discurso. Ou seja, as palavras não são unilaterais em termos discursivos, logo é o que possibilita a formação de alegorias. Também notamos que as alegorias ampliam a interpretação que pode ser estabelecida nos discursos, ao ampliarmos os sentidos com a figuração dos mesmos.

Retomando a função autor de FC, admitimos que este produz uma história em que as noções científicas ficam subordinadas às narrativas. Nesta noção estabelece-se uma possível diferença entre DC e FC, pois na primeira o objetivo do autor é basicamente a ciência, a narração é um recurso interativo de comunicação científica. Na segunda, o processo quase sempre ocorre na mão inversa, a narração é objetivo, a ciência torna-se o veículo por onde se estabelece a história.

Observamos que Pinto (2009) entra na discussão sobre o que é uma obra canônica e não canônica. De maneira que, para o autor, há DC em ambas as literaturas. Assim, debate o que é uma literatura não canônica, que seriam as obras humanizadas, na qual a narrativa se faz como objetivo da obra. Diferente da literatura canônica, em que as narrativas são utilizadas para o desenvolvimento e o debate dos conceitos científicos. Nas palavras de Pinto (2009),

Diferentemente das obras canônicas, que usam da formação humana como mero recurso para se chegar à divulgação de conceitos e dos aspectos estruturais da ciência, as obras não canônicas centralizam o foco na apresentação de aspectos ligados ao desenvolvimento da formação de consciência, o que, em geral, não passa pelo discurso direto da ciência, mas pelo entendimento da dimensão subjetiva, apelando, em alguns casos, para reflexões relativas à dimensão do inconsciente. A literatura canônica debate a formação humana visando atingir a dimensão conceitual da ciência, enquanto a literatura não-canônica lança mão do discurso da ciência como um artifício para reflexão sobre grandes inquietações da alma humana, no que ela detém de mais subjetivo, também intrinsecamente associado às interações advindas das experiências interacionais. (p. 305)

Dentro desta perspectiva, o autor (2009) caracteriza as obras com que trabalhamos como literatura canônica de DC, o que nos parece pertinente com a sua definição de literatura canônica. Porém, não podemos deixar de considerar que são narrativas ficcionais que envolvem a imaginação e a abstração do leitor.

Entretanto, não é tão simples assim, pois ao construir uma narrativa, ela assume um formato discursivo, que não pode ser isolado de seu conteúdo e vice-versa. Logo, a narração passa a ser a base daquele discurso DC/FC. Ressaltamos ainda que a história de ficção tanto na DC, como na FC, nos leva para um mundo que não é o nosso, mas é um

mundo onde existe uma temática e regras a serem seguidas, mesmo que dentro duma outra visão de mundo. O tema da narrativa é a ciência real ou extrapolada e suas repercussões práticas sobre a sociedade ou o indivíduo. (PIASSI, 2007b).

Na perspectiva da FC, o autor explora assuntos que poderiam ser possíveis, porém por falta de recursos tecnológicos e/ou conhecimentos científicos, ainda não estão culturalmente inseridos em âmbitos sociais. (ZANETIC, 1990).

Além do que a escrita da FC é feita na perspectiva de duas regras básicas. A primeira, escrever de forma racional abrindo margens a possíveis realidades, todavia, estas devem respeitar as regras do mundo natural. A outra se baseia em responder perguntas que estão socialmente abertas, por meio de uma lógica de pensamento racional. (SILVA, 2008)

Piassi (2007c), ao se referir a Umberto Eco, aponta que a FC se caracteriza por um dos quatro caminhos a seguir:

I. Alotopia que é a construção de um ambiente próprio “*que uma vez imaginado o mundo alternativo, não nos interessa mais as suas relações com o mundo real, a não ser em termos de representação alegórica*” (Umberto Eco, apud Piassi, 2007c, p. 96).

II. Utopia é uma representação do mundo ou sociedade ideal, mas difere da utopia clássica, utilizada em termos das ciências sociais, como a sociedade ideal. Ou seja, aqui ela assume um caráter caricatural, como uma deformação irônica da realidade. O importante na utopia é o valor alegórico de representar o mundo real através de outro. A FC russa tem muitos exemplos deste tipo de narrativa, porque na época de Stalin não havia liberdade de criação e os autores deviam trabalhar apenas com o realismo socialista.

III. Ucronia, o que poderia ter ocorrido caso a história tivesse ocorrido de maneira distinta. Por exemplo, se não houvesse a ditadura militar no Brasil, poderíamos descrever diferentes caminhos históricos para o Brasil atual. É o que se conhece como a história alternativa. Piassi (2007c) lembra que há várias obras de FC dentro desta perspectiva lógica.

IV. Por último, devemos destacar a questão da temporalidade, nas obras de FC são sempre o passado ou o futuro, mas não são como na literatura fantástica um futuro ou um passado atemporal, por exemplo, “*um dia....*” “*Era uma vez.....*”, são sempre determinados de alguma forma, pois estão diretamente relacionados ao presente.

Segundo outro autor, Leonardo (2007), devemos considerar também nas narrativas de FC, seus personagens e o espaço em que elas são construídas. Sendo que em geral, o espaço localiza-se de maneira paralela ou fora da terra, podendo ser também um espaço psicológico criado pelo personagem. Além do que os personagens das FC são

dominados pelo enredo, tornando este o ponto central das narrativas, que podem ser seres humanos ou qualquer outra criatura dentro da lógica da FC.

Nesta perspectiva, retomamos a importância do elemento das alegorias na FC, por ser uma narrativa ficcional, logo, como já discutimos anteriormente, Piassi (2007c) e Carlos Ceia (1998), apontam a importância das alegorias na construção de discursos como da FC. Pois, é por meio delas, que os cenários, espaços e personagens se estabelecem e dialogam em suas relações sociais e tecnológicas da narrativa. O mesmo ocorre nas narrativas ficcionais da DC, porém com uma menor frequência, além de elementos, como alegorias, não serem tão usuais, elas são mais aparentes nas FC. Ou seja, as figuras de linguagens em geral, são recursos literários e, quanto mais ficcional o tipo textual, elas se tornam mais frequentes.

Por fim, apesar do que apontamos anteriormente, consideramos tênue a distinção entre o discurso de DC e FC.

## 2. OS LIVROS

Neste capítulo fazemos uma síntese dos livros selecionados para estudo e analisamos como os autores interpretam o paradoxo EPR.

### 2.1 “As Aventuras Científicas de Sherlock Holmes”: a narrativa fictícia da DC

A temática do livro de Colin Bruce (2001) é dividida em 13 casos, distribuídos em 12 capítulos, que podem ser lidos separadamente, pois há pouca interação entre eles. São contos, semelhantes em vários aspectos à obra “A volta de Sherlock Holmes”, de Artur Conan Doyle (1903/4). Entretanto, nem todos os livros de Doyle são compostos de contos, alguns deles, como “Um estudo em vermelho”, são romances policiais.

A principal diferença entre os livros de Conan Doyle e de Bruce (2001), está no fato que no primeiro, Sherlock Holmes utiliza apenas a lógica policial, já no de Bruce, para solucionar os casos, Sherlock Holmes se apoia, além da lógica policial, no seu conhecimento científico e, ao longo do livro, recorre a cientistas para auxiliá-lo. A cada conto, capítulo, o leitor é envolvido por situações fabulosas com o objetivo de discutir princípios físicos de forma que estes podem se encaixar no seu cotidiano, ou seja, propor situações vivenciais e assim desvendar os “mistérios” da Física.

Na obra de Bruce (2001), há um posfácio que explica o último capítulo do livro, além de fazer um resumo dos demais capítulos. As narrativas são uma combinação de uma história de suspense e aventura, como casos de assassinato e de problema de herança. Para solucioná-los será preciso investigação científica, combinada com investigação policial. Misturam-se, assim, os personagens cientistas de Conan Doyle e seus detetives.

Em grande parte dos casos apresentados, a obra foge à lógica do senso comum. Somente com conhecimento científico é possível solucioná-los. Muitos casos, embora aparentem ser homicídios, fraudes científicas comprovam que não houve crime. Igualmente, casos que aparentavam não ter crime ou sem solução, por intermédio das teorias científicas se mostraram diferentes. Apesar de todos os casos serem de mérito policial, nenhum se resume a esse aspecto, todos envolvem discussão científica, abordando questões polêmicas, como a questão da luz ser onda ou partícula.

Segundo Colin Bruce (2001), em seu prefácio do livro “As Aventuras Científicas de Sherlock Holmes”, a Física, no final do século XIX, parecia estar acabada. O universo funcionava com leis simples e compreensíveis, e que estavam descritas de forma clara e

precisa. Sendo assim, não restava nada para os cientistas senão fazer determinações cada vez mais acuradas das constantes Físicas.

Contudo, no final do século XIX e começo do século XX, questões como a natureza da luz e fenômenos como do corpo negro, passam a ser estudadas mais a fundo, resultando em paradoxos e contradições com a teoria clássica que parecia consolidada, até então. Por exemplo, a quantização da energia emitida por um corpo negro, descrita por Max Planck.

Ou, problemas associados à natureza da luz, como o efeito fotoelétrico, apresentado por Albert Einstein, juntamente com a teoria da relatividade restrita, com a premissa de não ter uma velocidade mais rápida que a da luz. Como acentua o autor, esses “(...) paradoxos que ainda persistem são mais fascinantes do que qualquer quebra-cabeça concebido por seres humanos (...)” (BRUCE, 2001, p. 7).

O autor discute no prefácio a possibilidade de tratar os conceitos físicos sem a complexidade da linguagem algébrica, recorrente nas teorias da Física, em que o rigor científico se baseia. Em prol de uma divulgação e ampliação do acesso às ciências por todos, mesmo os que não possuem domínio da matemática, que o autor caracteriza pela personagem do Dr. Watson, que em uma de suas falas iniciais já expõe sua dificuldade com essa disciplina.

Observamos também que o autor faz uma aproximação entre o trabalho científico e a investigação policial. Ambos partem de hipóteses e buscam provas. Porém, no caso policial, o crime já ocorreu – o produto; enquanto no científico, o que interessa é o processo, isto é, através de experimentos se busca corroborar teorias. E, por outro lado, algumas vezes, essas abrem portas para novas observações de fenômenos a serem estudados.

Com base nas noções da relação e divergências entre a investigação científica e policial, Bruce (2001) escreveu o seu livro e estruturou os crimes que compõem os capítulos de sua obra, que tem por objetivo apresentar as teorias da Física, por meio da narrativa de casos de policiais a serem desvendados.

Embora se aproprie da linguagem comum, utiliza muitos dos conceitos estabelecidos na formação discursiva dos físicos.

Por falar nisso, o fluxo de partículas carregadas transforma o ar nas proximidades do ídolo num condutor de eletricidade – não como um metal, é claro, mas como conduz alguma coisa – e foi isso que você viu o eletroscópio se descarregar. (BRUCE, 2001, p. 80)

No livro “As Aventuras Científicas de Sherlock Holmes”, percebemos que Bruce

(2001) opta pela narrativa ficcional científica policial para difundir conceitos e discutir os paradoxos apontados no prefácio do livro. Ou seja, o seu personagem é baseado no de Arthur Conan Doyle (1892), um detetive que não utiliza apenas a lógica e o raciocínio, mas também a imaginação para solucionar os mistérios e se coloca no lugar do outro, para entender a sua mente criminal, no caso de Doyle.

O primeiro capítulo “O caso do cientista aristocrata” começa como as histórias de Conan Doyle, com Sherlock Holmes, detetive particular, e Dr. Watson, médico, conversando. O autor assume o Dr. Watson como o narrador principal, embora, em algumas passagens assumam a voz de outra personagem como narradora. Nesta conversa entre as duas personagens principais, Sherlock Holmes está falando sobre conhecimento geral, sendo que, como uma introdução ao livro, o autor utiliza deste diálogo para apresentar como construiu a sua obra. O diálogo trata de DC.

Dr. Watson lê um artigo de DC e comenta sobre este artigo com Holmes. E, como nas obras de Conan Doyle, este diálogo inicial aponta para tema central do caso, a questão temporal (período), o artigo tratava da máquina do tempo. Durante esta conversa surge a personagem, como em geral nas obras de Conan Doyle, apresentando um problema a ser investigado e solucionado por Sherlock Holmes.

A personagem que está à procura de Holmes é um visconde, cujo pai faleceu, sendo ele o principal suspeito da morte do pai. Sendo assim, ele quer que Holmes descubra o que realmente aconteceu, limpe o seu nome. Para provar a inocência do visconde, Holmes tem que descobrir o verdadeiro assassino.

Como normalmente são os casos de Holmes, ele começa por escutar a versão de seu cliente. Durante a narração, Holmes vai questionando alguns detalhes e Watson, para mostrar seus aprendizados, vai acentuando alguns detalhes da narrativa do visconde. Holmes em seguida o parabeniza por ter aprendido algo com ele.

Na história contada, o filho do falecido apresenta alguns pontos importantes. Diz que a família era de cientistas e que o último local que viram seu pai foi no museu de ciência. Ao longo da história narrada pelo visconde, surgem mais alguns personagens, relacionadas com a ciência, o cientista Sumerllee, outra personagem de Artur Conan Doyle, mas não das histórias de Sherlock Holmes, a que o autor faz referência direta no título da obra, e o diretor do museu de ciência.

Holmes diz que para saber exatamente o que aconteceu precisa ir ao museu e conhecer estes cientistas. Logo, o visconde os apresenta quando vão ao museu. Então,

começam a investigar do que pode ter ocorrido ali, enquanto o pai do visconde lá estava. A primeira versão que surge é a possibilidade de ter sido um suicídio. Porém, quando abrem esta hipótese ela é desmitificada pelo fato dele estar no meio de uma investigação científica, então não teria razões para se suicidar antes de finalizá-la.

Na sequência o autor aponta que sua pesquisa era sobre a variação do período do pêndulo, sendo o que provocou sua morte. Ao realizar alguns cálculos, cometeu erros com relação ao momento pendular, assim, não esperava que ele o acertasse quando estivesse em determinada posição. Porém, se os cálculos estivessem corretos saberia que o pêndulo o acertaria ali. Nessa passagem, introduz um pouco das teorias de Galileo Galileu e Isaac Newton, com relação à Lei da Gravitação e as três Leis de Newton, envolvendo força, ação e reação. Utilizando apenas aspectos da base filosófica conceitual das teorias, o autor não utiliza nenhum cálculo. E, com isso, inocentam o visconde.

Aparentemente, a característica principal do autor, Colin Bruce (2002), nos seus textos é apresentar a Física de forma a instigar o raciocínio lógico dedutivo do leitor, ou seja, tornar a leitura um exercício de lógica, sem usar a álgebra, como prometido ao Dr. Watson, mas fazendo com que se pense cientificamente para solucionar o problema apresentado. Como o próprio autor escreve:

(...) queria discutir os paradoxos [...] em termos puramente visuais e lógicos, de modo a dar a todo leitor uma chance razoável de pensa-los por si mesmo e concluir se há alguma alternativa para a extravagante descrição da Natureza fornecida pelos físicos contemporâneos. (Ibid., 2001, p.7)

O capítulo seguinte, “O caso da energia desaparecida”, trata sobre mergulhadores que estão desaparecendo. Para desvendá-lo, precisam recorrer às teorias da termodinâmica. Apesar de terem procurado Holmes para desvendar o caso, ele estava comprometido com outro caso da Scotland Yard, agência policial do governo britânico, sendo assim, diz para Watson ir em seu lugar à viagem.

Nessa viagem Watson reencontra com o cientista Sumerlee, sendo que ele e Holmes não tinham empatia. O cientista ajuda Watson a descobrir o que está acontecendo com os mergulhadores. À primeira vista se assemelhava a um caso de assassinato, parecia haver uma fraude nos tubos de oxigênio, estes aparentavam estar desregulados e, com isso, estavam causando a morte dos mergulhadores por queimaduras no fundo do mar. Porém, como Sumerlee explica isso é um fenômeno que ocorre com a movimentação das marés. No fundo do oceano, havia mais energia que a da superfície, a qual junto com oxigênio acabava incendiando os mergulhadores.

Ao final do capítulo, Watson conta a Holmes que reencontrou com o senhor Sumerlee, o qual o ajudou a entender o que estava acontecendo aos mergulhadores.

No terceiro capítulo, “O caso do médico pré-atômico”, o autor discute os modelos atômicos. Começa com uma discussão sobre a confiabilidade da medicina baseada em cristais. Embora, Holmes estivesse estudando-a, ele, como uma personagem bastante cética, não acreditava que ela fosse plausível. À primeira vista, quando tratada por Holmes parece pura crença de seus praticantes, mas conforme as personagens vão discutindo o assunto, nota-se que elas se apoiam em conhecimento físico-químico das construções atômicas dos cristais. E, com base, na formação das moléculas e dos íons, fica evidente que um médico estava utilizando de terapia de cristais para enganar seus clientes.

Neste capítulo o autor novamente fornece dados para que os leitores se entretendam na leitura envolvendo alguns conhecimentos científicos. Isto é, a partir do movimento de desvendar conceitos físico-químicos das construções atômicas dos cristais, numa linguagem entre lúdica e polêmica, ele fornece ao leitor a possibilidade de compreender algumas situações que se apresentam no seu cotidiano e, com isso, ele pode estabelecer relações e construir regularidades de significados.

No quarto capítulo, “O caso do cientista sabotado”, a cena do crime, como no primeiro capítulo, é o museu de ciências de Londres, o que faz com que as personagens retornem a encontrar o diretor do museu.

O capítulo começa de uma maneira peculiar, porém próxima a outras narrativas de Conan Doyle, quando Watson e Holmes olham pela janela e especulam sobre as pessoas. Eles estão observando um homem na rua, que acreditam estar à procura de Holmes. Acertam o sujeito que está em busca de Holmes para desvendar o que tem acontecido com seu experimento. Segundo o cliente de Holmes, alguém está sabotando suas placas de raios-x. É um experimento que está produzindo algumas chapas de raios-x para fazerem fotografias, porém, por alguma razão, após a sua produção quando eram armazenadas no museu em uma sala de acesso restrito, seus negativos estavam sendo queimados.

À primeira vista, Holmes não quer assumir o caso, porém com certa persistência de Watson, eles o assumem. Holmes propõe que Watson passe de guarda à noite no museu, para ter certeza que ninguém estava sabotando as placas. Realmente, ninguém estava. Porém, além das placas queimadas, nesta noite um gato morre ali. E, na manhã seguinte, Holmes aparece com a solução, as placas estavam sendo queimadas devido a um objeto radioativo na sala. Assim, neste capítulo apresentam os três tipos de radiação ionizantes “alfa, beta e gama”.

O conto seguinte, “O caso das balas voadoras”, envolve o tema da luz. Nesse capítulo, são apresentadas duas teorias explicando o fenômeno da luz. O autor apresenta a discussão sobre a natureza da luz, na perspectiva corpuscular e na ondulatória. O problema em pauta é a questão de um assassinato em uma universidade em Londres. Tudo corroborava aspectos psicológicos, motivacionais, que o culpado fosse uma única pessoa. Porém, como foram duas mortes, o horário entre elas não estava permitindo que o culpado tivesse conseguido cometer os dois assassinatos.

O autor aponta que os conhecimentos científicos de Holmes já não são suficientes para compreender a situação e conseguir desvendar o caso, então é introduzida uma nova personagem que ajuda Holmes e Watson com o problema temporal entre os acontecimentos, o diplomata científico, o irmão de Holmes, Mycroft.

Como sempre em uma narrativa surge uma visita bem oportuna, no caso é o irmão de Holmes, que o deixa muito surpreso, pois eles não são muito próximos. Porém, ele estava fugindo da discussão que envolvia o cientista, já conhecido por nós, Sumerlee, e outro o Prof. Challenger, personagem rival de Sumerlee, como nas histórias de Conan Doyle, eles queriam que o irmão de Holmes – diplomata na versão de Conan Doyle e aqui diplomata científico - solucionasse a discussão sobre a natureza da luz. Com isso, ele traz informações científicas fundamentais que permitem solucionar o caso dos assassinatos na universidade, porém a discussão da natureza da luz é ainda um problema a ser tratado nos casos seguintes.

No próximo capítulo, “Três casos de ciúmes”, o autor discute a teoria da relatividade restrita de Albert Einstein. Para explicá-la, utiliza o exemplo tradicional do trem e do raio de luz, ou seja, coloca-se um observador fora do trem e um raio sendo emitido de maneira que o observador veria o raio chegando primeiramente ao final do trem do que no começo do trem devido à contração do espaço.

O capítulo inicia com Holmes lendo uma notícia de jornal para Watson durante a viagem que estão realizando para visitar o irmão do detetive. A notícia trata sobre o assassinato do monarca, o qual seria o futuro herdeiro do trono. Porém, para decidir o futuro herdeiro do trono, era necessário saber quem foi morto antes, o rei ou a rainha, pois dependendo o herdeiro seria um ou outro.

Embora em primeira instância a viagem aparente estar perdida por já terem a solução de quem havia sido o assassino dos monarcas, ainda faltava resolver o problema de quem havia falecido primeiro, se era a rainha ou rei, visto que eles não tinham filhos. Observamos nesse capítulo o diálogo entre a ciência e as questões políticas e econômicas.

Além das rivalidades políticas internas da ciência, como discutem no capítulo quatro.

A solução do caso é dada pela ideia de relatividade da expansão do tempo e contração do espaço de Albert Einstein. Ou seja, o tempo deixa de ser absoluto na teoria da relatividade restrita, a velocidade da luz, além de constante, também como a maior velocidade universal.

O segundo caso deste capítulo é sobre o “Paradoxo dos gêmeos”, diretamente relacionado à questão da relatividade restrita de Einstein. São dois irmãos gêmeos, que o tutor veio a falecer, então, é preciso descobrir qual é o irmão mais velho, pois no testamento é dito que apenas o irmão mais velho ficará com toda a herança. Só se for esse o assassino do tutor que o outro ficará com a herança. Logo, eles precisam descobrir qual é o irmão mais velho.

Sabem, também, algumas informações relativas aos irmãos. Um dos irmãos é estudioso e vive acobertando o outro, para não reprovar nas disciplinas. Outro ponto que se tem conhecimento é que um dos irmãos saiu em um cruzeiro e ficou dois meses viajando. Enquanto isso, o irmão estudioso resguardou o irmão festeiro.

Com esses dados, buscam novamente o irmão de Holmes, para ajudá-los avaliar a questão da idade dos irmãos. Assim, notam que devido à viagem que um dos irmãos realizou, passou menos tempo para ele que estava com velocidade maior que o irmão que o ficou acobertando, logo o que permaneceu em terra firme seria o herdeiro do tutor. Holmes fica feliz pela solução do caso, pois ele, apesar de não ter como provar, acredita que o irmão que esteve viajando assassinou o tutor.

No capítulo “O caso do homem de negócio mais rápido”, um sujeito chega à casa de Holmes com uma proposta milionária. No primeiro momento, devido às questões éticas, Holmes recusa o caso. Porém, o sujeito não convencido da decisão do detetive, o desafia. Holmes como um bom jogador, acaba cedendo e aceita o desafio. O sujeito propõe a Holmes que em um determinado período de tempo, teria que descobrir se haveria algo mais rápido que a velocidade da luz, para receber uma quantia milionária.

Para tal desafio, Holmes sabia que não poderia desvendar o mistério sozinho, então recorre aos seus conhecidos cientistas, que por coincidências narrativas, estão justamente no meio de uma discussão dessa natureza. Conhecendo também as dificuldades matemáticas, que o Dr. Watson tem, passam a apresentar algumas das soluções que obtiveram para suas teses sem muitos aspectos matemáticos.

Por fim, com base no conhecimento que tinham até então, concluem que a velocidade da luz é mais rápida, apenas mais adiante com desenvolvimento de outras teorias,

pode-se afirmar que a velocidade informacional entre partículas – sendo fruto para estudos de computação quântica – é mais veloz que a luz, porém dentro do mundo visível, isso não ocorreria.

O capítulo “O anarquista energético”, começa com uma ameaça de bomba no metrô de Londres. Não era uma bomba relógio, porém tinham colocado uma grande massa de algodão que a qualquer instante explodiria devido à energia concentrada nesta massa de algodão dentro da bomba. Ou seja, por trás desta bomba estaria a relação massa-energia, quanto maior a densidade de massa mais energia acumulada, mais difícil de romper as moléculas. Entretanto, quando rompessem, mais energia seria esparramada. O capítulo faz referência à ideia por trás da energia nuclear com a qual foram construídas as bombas atômicas.

Para entender o funcionamento da bomba no metrô de Londres, recorrem à teoria de Einstein, da relação entre a energia e a massa de repouso que é dada pelo fator da velocidade da luz ao quadrado. Isto é, um corpo possui uma massa de repouso, porém quando o corpo sai deste estado de repouso, sua massa modifica-se e a mudança que ocorre é relacionada à energia necessária para essa mudança de estado, dividido pela velocidade da luz ao quadrado. Isto ocorre se o corpo entrar em novo estado de inércia. Caso contrário a massa do corpo será medida pela relação entre a energia de massa de repouso mais o quadrado da energia cinética do corpo. Pode-se dizer que quanto mais veloz estiver um corpo, mais energia ele possui, assim mais difícil será tirá-lo deste estado, ou melhor, mais energia será necessária para mudança de estado.

A bomba dentro dessa ideia de energia e massa de repouso e energia liberada pela colisão de uma partícula com essa massa de repouso explodiria no centro do metrô de Londres, logo Holmes e Dr. Watson deveriam entender o seu funcionamento e desativá-la, para que não explodisse e matasse vários cidadãos ingleses.

“O caso do criado desleal” é sobre um nobre que morreu em uma praia. Considerando o narrado pelo cliente de Holmes, à primeira vista parece que foi um homicídio. Porém, é um homicídio bastante estranho, pois além do sujeito ter morrido em uma praia com uma batida na cabeça, devido à maneira como a pancada aparentava apenas o próprio morto poderia ter ferido a si próprio, levando-se em conta o ângulo da marca da bordoadada.

Entretanto, não aparentava ser um caso de suicídio, pois para que isso ocorresse havia um problema de proporcionalidade entre o ângulo da pancada, o tamanho do sujeito e o tamanho da arma. Portanto, é iniciada a investigação de novas causas para o acontecimento.

E, notam que há um desnível da maré, que varia ao longo do dia.

Novamente, com a ajuda do cientista Summerlee, conseguem desvendar o acontecido. Ou seja, não foi um homicídio, nem suicídio, foi um acidente natural. Em outras palavras, o cientista foi pego de surpresa pela alta da maré, a qual o levou a bater a cabeça e devido à intensidade da pancada resultou um traumatismo craniano e a morte.

O capítulo seguinte, penúltimo capítulo, “O caso da gata da Sra. Hudson”, é sobre o paradoxo EPR, que analisamos isoladamente, com maiores detalhes na parte “Paradoxo EPR: o estranho caso da gata da Sra. Hudson”.

O último capítulo “O caso dos mundos perdidos” é sobre a teoria que o autor do livro defende, todavia não há nenhum experimento que corrobore, nem que a destrua. Mas, no pós-fácio, quando finaliza o livro, ele evidencia que esse capítulo é sobre teorias que estão sendo desenvolvidas, ainda sem nenhuma comprovação experimental.

O capítulo trata da história de uma escola preparatória para a universidade, um internato, onde apenas os melhores alunos permanecem e vão para a universidade direto. Um dos meninos mais inteligentes da escola, segundo o diretor, é morto eletrocutado. O estudante não era de nenhuma família nobre e reconhecida da Grã-Bretanha, como a grande maioria dos estudantes do colégio, todavia, não passava nenhuma dificuldade financeira. Não havia nenhum motivo plausível para que se suicidasse. Segundo os amigos e os professores ele era um menino bastante alegre e comunicativo e interessado pela ciência.

Um dos meninos conta que viver ali no colégio distante da sociedade era bastante difícil, pois era como um retiro, tinham que se desligar socialmente. Sendo assim, o falecido estava tentando construir um rádio de maneira que os meninos não ficassem tão isolados dos acontecimentos do mundo. O funcionamento do rádio seria baseado em um acordo entre os estudantes que se conectariam a certa hora e depois de uma hora/uma hora e meia, todos desligariam. Tudo parecia funcionar bem.

Entretanto, o falecido apoiando-se na teoria dos múltiplos universos, na manhã que antecedeu sua morte, passou nos quartos mudando as regras do uso da rádio. Cada menino escutaria a corrida de cavalos e, caso o seu cavalo perdesse a corrida os meninos teriam que conectar seu plugue ao contrário. Em uma das possibilidades de universo, o falecido teria sobrevivido e estaria rico. Nas outras ele teria morrido, e isso ficamos sabendo pela carta que ele deixa ao professor pedindo que peça desculpas à sua família por ter se matado.

A proposta do autor é utilizar um discurso em linguagem considerada comum, por

meio de situações instigantes com possibilidades de pensar em solucionar os “mistérios” da Física de forma lúdica, com grau de polêmica, sem o uso de cálculos matemáticos característicos dos livros didáticos. Consideramos que o texto pode ser um auxiliar para alunos que têm dificuldades com essa linguagem nas aulas de Física.

Apontamos, ainda, como Bruce apresenta alguns conceitos físicos em situações altamente contextualizadas, enredadas por uma situação de mistério e perigo causadas por um possível crime, possibilitando ao leitor uma compreensão diferenciada da situação Física envolvida, do que aquela que possibilitaria a interpretação de diagramas e fórmulas matemáticas.

Sugerimos que o livro ainda pode permitir ao leitor atento aos conceitos científicos apresentados por Bruce (2001) com o enredo proposto, vivenciar uma abundância de possíveis leituras do mundo, polemizadas por suas personagens.

### **2.1.2 PARADOXO EPR: “O estranho caso da gata da Sra. Hudson”**

Como já dito, a obra de Bruce (2001) é baseada nas personagens de Arthur Conan Doyle, mas a situação se modifica um pouco, primeiro, por misturar as personagens da área de investigação policial com os cientistas. O autor coloca a personagem Mycroft, ao invés de um diplomata de relações internacionais, como um diplomata das ciências, ele que faz o entremeio entre Challenger, físico experimental, e Sumerlee, físico teórico, especialmente.

Também, é a personagem de Mycroft, quando as teorias Físicas entram no ramo da Física do século XIX em diante, quem se preocupa em explicar em grande parte para o Dr. Watson - leigo em Física e linguagem matemática. Algumas vezes, Sumerlee ou Challenger explicam, com ar de menosprezo diferente de Mycroft.

Após a breve retrospectiva dos temas abordados em cada capítulo, passamos à análise de como o autor apresenta o paradoxo EPR. Embora tenhamos identificado que em capítulos anteriores<sup>5</sup> ao 11º, Bruce (2001) traz aspectos relacionados às teorias Físicas: à FQ, ao EPR e à escola de Copenhagen, representada por Bohr. Segundo o índice temático o assunto encontra-se apenas neste penúltimo capítulo e no posfácio, no qual o autor faz um resumo de cada capítulo e suas temáticas.

Sendo assim, nossa análise do paradoxo EPR no livro resumiu-se ao capítulo 11 e

---

<sup>5</sup> Desde o capítulo 7, o autor começa a apresentar questões Físicas relacionadas à discussão dos artigos de EPR e de Bohr, como a possibilidade de existir alguma velocidade que seja maior do que a da luz, implicando a não localidade das partículas, rompendo com o princípio de localidade da Física clássica.

ao posfácio, no qual é demarcado o tema oficialmente. Sublinhamos algumas expressões e vocabulários que compreendemos não serem usuais e que poderiam causar dificuldades na leitura. Tal como nos leva a defender que, embora consideremos que seja um livro composto na linguagem comum ainda possui sua complexidade e deve ser tratada diferentemente da leitura de romances, como lembra Einstein e Infield (1980), referindo-se a DC. Além de destacarmos alguns trechos fundamentais para compreensão das possibilidades de leituras que o autor nos proporciona.

Começamos nossa análise pelo penúltimo capítulo (11), “O estranho caso da gata da Sra. Hudson”. O capítulo pode ser dividido em três partes. A primeira seria o início do capítulo, após o Dr. Watson, que está responsável por tomar conta da gata da Sra. Hudson, deixá-la escapar, até o Holmes chegar à casa e começarem a conversar sobre os medos de Mycroft com relação ao desenvolvimento das teorias Físicas e o que poderiam causar à futuras guerras, como desenvolvimento de arma com alto poder de destruição. Citamos o desenvolvimento da bomba atômica, descrita no capítulo oito do livro, “O caso do anarquista energético”. Seguido de bombas de hidrogênio, além de questões como radiação. Nesse trecho, propõe que haja genialidade, com a fala de Holmes com relação ao seu irmão.

O autor apresenta a perspectiva política das ciências, quando Watson questiona Sherlock se há alguma crise política e ele diz que não exatamente, mas que pessoas com um grau intelectual maior que conseguem ver mais longe, como seu irmão, sentem que o desenvolvimento científico pode gerar problemas futuros. Holmes ironiza um pouco a perspectiva de seu irmão, dizendo que a imaginação dele foi longe nessa situação. E ainda diz que Mycroft acredita que a ciência conduzirá a guerras, agora, é vez de Watson desdenhar a opinião de Mycroft, que afirma que a guerra está longe de ser uma novidade.

Desta vez, porém, acho realmente que ele se deixou **levar pela imaginação**. Ele insiste em que é capaz de prever o surgimento de problemas no século vindouro. Diz que forças inexoráveis da história **vão conduzir guerras**, Watson: entre as grandes potências **numa escala nunca vista antes**.

Dei um suspiro. – Bem, isso é trágico, Holmes, **mas guerra está longe de ser uma novidade**<sup>6</sup>. Não posso imaginar nenhum “bookmaker” me dando uma grande vantagem se eu quiser apostar que o mundo vai permanecer em paz pelo próximo meio século.

Holmes sacudiu a cabeça. – As preocupações dele vão além disso. **Prevê que nosso crescente conhecimento científico vai levar ao desenvolvimento de armas cada vez mais aterradoras**.<sup>7</sup> Suas visões da guerra futura superam até as piores idéias pesadelares **desse tal Wells**<sup>8</sup> cujos romances científicos você tanto aprecia, Watson.

---

6 Problemas sociais que nos conduzem a um estado de Guerra constante, seja pelo poder ou pela vida.

7 Caráter político das ciências.

8 Autor famoso do começo do século XX de obras de Ficção Científica.

Ele teme particularmente as implicações da nova Física, cuja emergência nós mesmos testemunhamos: a Relatividade e a Teoria Quântica.

- Bem, **os paradoxos do movimento relativo e da velocidade da luz levaram a uma bomba horripilante**<sup>9</sup> – eu disse, estremeando à lembrança de um dispositivo do tamanho de uma bola de futebol que poderia ter devastado Londres. Mas o que é essa Teoria Quântica? (BRUCE, 2001, p.208, grifo e destaque em negrito nosso)

Após esta introdução ao tema, os dois personagens passam a conversar sobre questões tratadas em capítulos anteriores<sup>10</sup>, como a teoria ondulatória e corpuscular da luz e da matéria, em que Challenger tentava provar a teoria ondulatória, e Sumerlee a teoria corpuscular. E, ao final, o teórico Sumerlee assume uma perspectiva de onda de probabilidade, que para Challenger é insatisfatória. Neste sentido, a complementariedade das teorias propostas por Niels Bohr em seu artigo de 1935 em resposta ao EPR, tampouco agrada Mycroft.

- É apenas um novo nome cunhado para a natureza, **tanto ondulatória quanto particulada da luz e da matéria**<sup>11</sup> tal como revelado pelos últimos estudos de Challenger e Sumerlee. Entidades ou probabilidades contínuas, de tipo ondulatório, se convertem em quantidades discretas específicas – como elétrons e fótons, cuja energia admitida é estritamente definida – quando observadas.

- Parece-me difícil imaginar algo de ameaçador surgindo de uma teoria que só é relevante para descrever **entidades microscópicas**, eu [Dr. Watson] disse.

- Bem, nada poderia ter parecido mais misterioso e abstrata que as tentativas para medir a velocidade da luz que levaram à Relatividade, disse Holmes. O que atemoriza Mycroft particularmente é sua percepção de que nossa compreensão da Teoria Quântica, e portanto de suas possíveis consequências, **ainda é muito deficiente**.<sup>12</sup>

- Mas pensei que os resultados da **teoria ondulatória** haviam sido testados com elevado grau de precisão, respondi, surpreso.

- Quantitativamente, sim. Mas o fato é que a **mecânica newtoniana** parecia ter grande exatidão, até que a **Relatividade** foi descoberta. Com consequências não só para objetos que se movimentam **com velocidades extremas**, mas para todos aqueles que não querem ser explodidos. Mycroft pensa que a verdadeira compreensão da teoria – sua **interpretação**, ou visualização, se você prefere, de como **uma entidade pode ser ao mesmo tempo partícula e onda** – está muitíssimo imperfeita.

– Mas pensei que Challenger havia resolvido isso habilmente, com sua imagem do movimento sobre a onda ou do surfe, eu disse

- **Mycroft está insatisfeito** com ela sob dois aspectos, Watson. Primeiro, há questão das partículas **que se movem mais rapidamente que a luz** em seu surfe. Não está de todo claro que isso não pode levar a **consequências paradoxais**. Segundo, há questão de como a mera realização de uma **observação pode ser o ato que reduz instantaneamente um mar sempre crescente de possibilidades a um único resultado real**. (Ibid., 2002, p. 208-209, grifo nosso)

9 Retoma o capítulo “O caso do anarquista energético”, sobre uma bomba no metrô de Londres.

14 Sendo mais uma razão para escolha da análise deste capítulo.

11 Ideia da dualidade da luz e da matéria que se concretizaria com a teoria da complementariedade de Bohr, definida em seu artigo de 1935 em resposta ao artigo de EPR.

12 Problema da nossa ignorância sobre uma teoria e seu manuseio sem pensar nas consequências.

Para explicar a teoria quântica, Holmes descreve um experimento feito com elétrons e uma armadilha magnética, no qual inicialmente os elétrons encontram-se no estado de energia mais baixa, porém o sistema se desenvolve, assim os elétrons assumem inúmeras posições, que como defendido por Sumerlee, estas posições podem ser descritas por ondas de probabilidade. Para explicar melhor o experimento e as ideias desenvolvidas com ele, utiliza o que se passa com a gata Henrietta da Sra. Hudson. Ou seja, ela está no cio e os gatos estão em volta da casa, próximo ao telhado, de repente eles passam a escapar, perdemos o controle de onde os gatos podem estar, porém conseguimos prever com um certo grau de certeza possíveis estados que eles possam ser encontrados.

Aqui é posta a importância do observador na redução dos estados quânticos.

[...] Mas aqui está a coisa estranha, Watson. Se você observar periodicamente a posição desses elétrons – **meramente observar, sem perturbá-los de nenhuma maneira**<sup>13</sup>– eles permanecem cravados perto de seu estado fundamental mais provável: nunca se elevam o bastante para fugir.

[...] [Holmes continua] Essas coisas não podem ser observadas com um microscópio. Detecta-se **o nível de energia dos elétrons disparando breves pulsos de luz**<sup>14</sup>. É a presença ou ausências desses pulsos, e não de uma testemunha real, que faz a diferença.

Dei uma risadinha de desdém. – Realmente, Holmes, isso é exatamente uma influência Física sobre os elétrons; isso nada tem a ver com algum tipo de **efeito psíquico**<sup>15</sup> da presença de um observador.

Holmes sorriu – **Seu senso comum é tranquilizador**<sup>16</sup>, Watson, disse. Foi exatamente isso que eu tentei dizer a Mycroft. Mas ele insiste em que esses **“efeitos de observador”** são fortes na presença de observação em muitas situações diferentes, os detalhes do meio de mensuração escolhido sendo completamente indiferentes. A presença de qualquer efeito que poderia em princípio amplificar o estado do sistema quântico em estudo, alterando assim o ambiente circundante de uma maneira que poderia ser medida subsequentemente, altera o comportamento desse sistema. É como se a disponibilidade por outras leis Físicas conhecidas e fosse inexplicável por elas. (Ibid., 2001, p.208, grifo nosso).

A teoria da complementariedade, proposta por Niels Bohr, estaria resumida, simplificada na frase “(...) *uma entidade pode ser ao mesmo tempo partícula e onda* (...)” (Ibid., 2001, p. 209). Assim, nem a teoria ondulatória, nem a corpuscular poderiam explicar as implicações da mecânica quântica, mas a complementação entre elas. Por conseguinte, no

---

13 Utiliza a ideia de observar e perturbação da teoria clássica, assim, observar não é o mesmo que perturbar, pois na teoria da mecânica quântica a observação implica na perturbação do sistema e, portanto, na determinação do estado quântico da luz e matéria.

14 Efeito observador não humanos mas feitos pelas interações quânticas.

15 Ideia difundida em oposição às discussões dentro da mecânica quântica, como se o indivíduo fosse o determinante da realidade e nas condições ambientais.

16 Ideia do psiquismo da Física quântica que é promovida pelo senso comum, que é bem diferente da teoria dos “efeitos de observador” da mesma, que envolve meios de mensuração, ou seja, ambiente circundante.

último parágrafo da citação, quando Holmes explana sobre a insatisfação de Mycroft ao Dr. Watson, observamos que nele é sintetizada a posição do artigo de EPR. Isto é, se a teoria da mecânica quântica estiver certa e completa, traz consequências paradoxais para a ciência, pois as partículas se moveriam mais rapidamente que a luz e a observação seria importante para determinar o estado das partículas, que a priori da observação estariam em um estado de superposição. A interação com o meio/ “mensuração” torna-se essencial para definir o estado da matéria.

Neste trecho, a filha da Sra. Hudson entra e diz que sua mãe está querendo sair para encontrar a gata que escapou, logo, Watson, que se sente culpado, oferece a ajuda para encontrarem a gata. Diz que ele e Holmes estavam buscando um pretexto para sair, tentando acalmar as duas (filha e mãe).

- Não se incomode, Sra. Hudson, gritei para baixo. O Sr. Holmes e eu estávamos exatamente procurando um pretexto para dar uma pequena caminhada; ora, uma caça ao gato vai lhe dar um objetivo. [Saíram conversando, mesmo contra vontade de Holmes] (Ibid., 2001, p.211)

Com a missão de buscarem a gata da Sra. Hudson, o autor explica e exemplifica a questão da observação que reduz os estados quânticos e a sobreposição de estados. Além de diferenciar do senso comum, que toma como “efeito observador” apenas a interação da mente humana com o mundo retomando a ideia de “penso logo existo”, uma nova visão do idealismo científico. Enquanto a teoria quântica ao dizer do “efeito observador” está remetendo as interações entre objeto e meio de inserção do objeto, não necessita ter uma consciência envolvida na redução dos estados quânticos.

[...] Ocorreu-me [Watson] o pensamento extravagante que, inobservada, Henrietta poderia não estar em nenhum lugar específico, existindo antes como uma multidão de gatos fantasmas, à espera de **um olhar humano para reduzi-la à realidade novamente**.<sup>17</sup> Seria o pensamento de fato extravagante? Não era exatamente isso que a Teoria Quântica implicava, segundo estavam dizendo as melhores mentes? Avistei Henrietta no instante exato em que Holmes me chamou, com voz abafada: - Cá está ela, Watson!  
 - Não ela está aqui. Eu a reconheço sem sombra de dúvida, exclamei de volta. Inclinei-me para pegar a gata, mas ela rosou para mim e fugiu como um raio. Ouvi Holmes praguejar ali perto. Tropecei nele: estava acarinhado um dedo arranhado.  
 - Qual de nós dois estava certo? Perguntei, perscrutando o neveiro.  
 - **Provavelmente nenhum dos dois**.<sup>18</sup> Que empreendimento absurdo, procurar no meio de um neveiro londrino numa noite escura uma gata que não quer ser encontrada. Belo serviço para alguém que se tem na conta de um detetive! Fungou. Esperemos que Lestrade nunca fique sabendo disto, Watson, ou vou ouvir sobre esta

---

17O autor introduz o conceito de redutibilidade do estado quântico, porém neste trecho, ainda o Dr. Watson insiste na ideia do psiquismo que o senso comum coloca a teoria quântica.

18 Experimento do gato de Scroedinger, onde nem quem afirma que o gato está morto, nem vivo tem razão, mas o estar dele vivo e morto, simultaneamente.

história pelo resto da minha vida... Ahm boa noite, Lestrade! Que o fez sair numa noite tão tenebrosa? (Ibid., 2001, p.211, grifo e destaque em negrito nosso).

Nessa parte, notamos como o autor explica o experimento idealizado do gato de Schroedinger, enquanto o mesmo e Albert Einstein indignados com a teoria quântica por corromper com o princípio de localidade e/ou de realismo determinístico das teorias clássicas, buscam o ponto onde o realismo probabilístico da quântica passa ao realismo determinístico da Física clássica. (PATTY, 2001) O mesmo experimento levou Erwin Schroedinger a “mudar de lado”, ou seja, após refletir sobre este experimento, como Kaku (2005) descreve, faz o cientista abandonar a interpretação clássica da Física quântica e começa a ser adepto da teoria da mecânica quântica (interpretação da escola de Copenhague), aceitando como adequada para explicação dos fenômenos quânticos.

O experimento do gato, proposto por Schroedinger, consiste em um gato dentro de uma caixa, onde sua vida depende do decaimento atômico, se este átomo decair, o martelo é disparado e quebra o vidro de veneno que cairia na comida do gato e este morreria. Antes de abrir a caixa, o gato está vivo ou morto. Sua conclusão é que o gato está em dois estados ao mesmo tempo (morto e vivo).

Após a descrição do efeito observador, o autor introduz o que consideramos o caso principal do capítulo, que consideramos, seria a segunda parte do capítulo. Notamos que o ocorrido com a gata da Sra. Hudson é apenas motivador para nos levar ao problema dos bilhetes lotéricos que aparentam ser fraudulento, porém dentro da teoria quântica é possível verificar a propriedade de emaranhamento o que explica os princípios ativos do bilhete e a razão das possibilidades de ser sorteado, não ser aquela que parece ser pelas leis de probabilidade básicas.

- O problema não parece muito dramático, sr. Holmes. Certamente não está na mesma categoria que um assassinato ou um sequestro. No entanto, deixou perplexos os melhores cérebros de nosso departamento de fraudes. Segundo nosso cientista consultor – um homem com tarimba em invenções criminosas! – é sem dúvida a coisa mais estranha com que já topou. Aqui está a causa de nossas dificuldades. Lestrade puxou do bolso o cartão [...]

- Estes cartões apareceram recentemente em bancas de jornal por toda a cidade. Estão à venda por um xelim cada, e constituem uma espécie de loteria instantânea. As instruções estão impressas no verso. (Ibid., 2001, p.215, grifo nosso)

O autor continua a partir do comentário do Dr. Watson,

- [...] **Em cada círculo há quatro lugares em que pontos brancos e pretos são adjacentes, e 16 escolhas possíveis de pares de pontos adjacentes. Portanto a chance de ganhar é quatro em 16, ou de um em quatro. Para cada xelins gastos, a pessoa vai ganhar cinco em média. Vejam só, a companhia que administra este esquema deve estar tentando jogar dinheiro fora!**

Lestrade sorriu – Realmente, doutor, pela cidade toda **homens tão astutos**<sup>19</sup> quanto

19 Aponta a uma ignorância do senso comum em oposição a genialidade científica.

o senhor têm chegado à mesma conclusão, e os cartões estão vendendo como pão quente. No entanto, não ficará muito surpreso, sr. Holmes, ao saber **que na prática as chances não são tão favoráveis assim. Testamos<sup>20</sup> na Scotland Yard um grande número de cartões** comprados ao acaso, e descobrimos que **a chance real<sup>21</sup>** de vencer é de apenas cerca de um em sete. Está assegurado um considerável lucro para o vendedor.

Sherlock Holmes franziu a testa. – Presumo que, após cada tentativa, os senhores raspam os pontos restantes no cartão para **verificar se o padrão subjacente** corresponde ao que é anunciado, não?

Lestrade tossiu com certo embaraço – Na verdade, não. Os cartões foram feitos por algum químico habilidoso que decidiu que eles devem ser completamente **à prova desse tipo de investigação**. Tente o senhor mesmo, e verá o que quero dizer.

[...]

-[...] **Não se consegue de maneira alguma obter mais do que uma informação mínima de cada olho**, isto é, verificar se um único ponto é preto ou branco. Assim, não podemos descobrir que padrão está realmente impresso sob cada um, e não podemos provar que a descrição apresentada é fraudulenta. O problema real é que, por mais que demos tratos à bola, não conseguimos pensar em nenhum tipo de padrão que nos forneceria os resultados que observamos.

Não pude mais me conter. – Misericórdia, Lestrade. Não vejo nenhum mistério aqui! **Obviamente, os olhos são coloridos segundo alguma regra simples que produz os resultados que viu**. Ora, eu mesmo posso pensar em uma. **Em seis cartões, a cada sete, ambos os olhos são ou completamente pretos ou completamente brancos. O sétimo tem um olho preto e um branco**. Assim, seja qual for o ponto que escolhamos, vamos ganhar uma vez em sete, como os senhores constataram.

Lestrade sorriu – Essa foi nossa **primeira hipótese**, doutor. Mas podemos **fazer vários testes que estão dentro das regras e não levam as cartas a se autodestruir<sup>22</sup>**. [...] Portanto, a alegação de que os pares de olhos são todos idênticos deve ser verdadeira, e certamente não há gatos com um olho inteiramente branco e outro inteiramente preto.

Pensativamente, Sherlock Holmes falou. – Embora idênticos, os padrões devem evidentemente ser algo diverso de quartos alternados, pelo menos em alguns casos. Bem, **o exemplo me lembra nitidamente uma bola de praia não em duas, mas em três dimensões<sup>23</sup>**. Sendo assim, o padrão pareceria por vezes muito diferente. (Ibid., p.215-216, grifo e destaque em negrito nosso)

O policial Lestrade continua descrevendo o que já foi realizado pela polícia para solução do caso:

- Bem, sr. Holmes, talvez o senhor esteja acostumado a lidar com criminosos galantes, mas, na minha experiência, o criador desse tipo de trapaça está longe de ser um homem às direitas! Seja como for, já descartamos essa possibilidade. Tentamos raspar pontos, em olhos diferentes, é claro, olho esquerdo e o mais à direita do olho direito. Se o padrão é realmente como se alega, deveríamos ver uma cor diferente em todos esses casos. Mesmo para um interrogatório. Mas a cor foi de fato

20 Ideia de usar experimentos em prol de verificar a teoria proposta. Defende de que os mistérios para serem desenvolvidos, precisam que hipóteses sejam criadas.

21 Apesar de outros trechos o autor apresentar que a Física é experimental e teórica, quando ele usa a expressão “chance real”, nos leva a pensar que a teoria é “uma leitura” e o experimento que trará a realidade, enquanto ambos se formam na interpretação da realidade.

22 Diferentes medidas podem ser feitas com base em um tipo de experimento e, assim conseguir diferentes dados para compor a teoria e a verificação das hipóteses.

23 Busca recursos para explicar o modo de pensar de Holmes.

diferente.<sup>24</sup>

- E isso certamente prova que **o padrão deve ser de fato de quartos de círculo alternantes**, exclamei.

Sherlock Holmes sacudiu a cabeça, impaciente. – Não, Watson, **prova apenas que ele exhibe certa simetria quádrupla**, da seguinte maneira: **tome qualquer segmento de quarto de círculo, gire-o 90 graus e inverta suas cores – preto para branco e branco para preto – para produzir o segmento adjacente. Gire e inverta de novo para produzir o terceiro segmento, e mais uma vez para produzir o quarto e concluir o círculo.** [...]

- Bem, disse Lestrade alegremente, é uma **excelente hipótese**, mas há um empecilho com esse padrão são vizinhos de pontos pretos, e a chance de se ganhar a loteria com um desses cartões seria não de um em sete, mas de três em quatro! [...]

Entregou-nos uma pilha de cartões virgens para **fins de experimentação** e rumou alegremente para a porta. [...]

- Vamos, Holmes, eu disse, **não pode haver paradoxos na vida real. É tudo uma simples questão de encontrar o padrão certo.**

- Cuidado, Watson! **Ser incapaz de resolver um paradoxo é uma coisa, mas não conseguir perceber a existência de um é menos perdoável.** Vamos proceder passo a passo. [...] (Ibid., p. 215-16, grifo e destaque em negrito nosso)

Então, Holmes perplexo com a situação e querendo entender o que estava por de trás do bilhete, passa a testar os bilhetes. Passa a noite toda investigando os bilhetes, quando Dr. Watson acorda, o detetive fica contente, pois para prosseguir com sua investigação necessita da ajuda de seu companheiro. Assim, sugere que há um montante de bilhete lotérico com os olhos direitos e outro com os olhos esquerdos, oferece o último para Watson e manda que ele vá ao quarto, enquanto ele raspava o olho na sala, de maneira que eles não tivessem contato. Holmes achou que as chances de vitória seriam diferentes das encontradas na Scotland Yard. Porém, não foi o que aconteceu, as probabilidades continuam sendo a mesma razão de um para sete.

- [...] Você sabe que sempre sustentei que, **quando outras explicações são “impossíveis”, aquela meramente “improvável” deve ser aceita.** A única maneira de explicar os resultados observados, Watson, é admitir que o padrão subjacente aos pontos não é fixo, mas fluido. Ou, como você poderia igualmente dizer, **que não há nenhum padrão real presente até o momento em que rasparmos um dos pontos e o observamos**<sup>25</sup>. A própria ação de raspar um ponto particular num olho – quer você opte por começar pelo esquerdo ou pelo direito – determina em que o padrão do outro se transforma. Portanto a pergunta: “Qual é o padrão sob os pontos?” é inicialmente sem sentido: **não tem nenhuma resposta definida até que uma observação seja feita.**

O mecanismo requer alguma **forma de comunicação entre os olhos direito e esquerdo.** Como não acredito na chamada **“ação à distância”**,<sup>26</sup> isso pode presumivelmente ser evitado isolando-se os dois olhos. Assim, preparei um grande número de cartões cortando-os ao meio. Por gentileza, leve esta pilha de metades direitas para o seu quarto e raspe um ponto de cada cartão aleatoriamente,

24 Nesta fala o detective coloca que é diferente do que se espera, que haja trapaça. Porém, ao mesmo tempo que não se prova trapaça não a nega, porém perante a lei todos somos inocentes até que se prove o contrário.

25 Efeito do observador explicado com o sumiço da gata Henrietta.

26 A ação à distância, também, está relacionada com a não localidade das partículas. Ou seja, a teoria quântica acaba por romper com o realismo ou com localidade da partícula ou ambos da teoria clássica.

mantendo-os em ordem. Farei o mesmo aqui com minha pilha de metades esquerdas. Quando os reunirmos para uma comparação, não sei ao certo o que veremos. Mas aposto a minha vida que o resultado vai diferir de algum modo das observações de Lestrade.

Foi uma sorte que ninguém mais estivesse presente para cobrar do meu amigo a sua aposta, pois quando terminamos a comparação, as estatísticas eram exatamente as mesmas de antes. (Ibid., 2001, p.218, grifo e destaque em negrito nosso).

Tudo isso é apresentado por um bilhete de loteria, que segundo as instruções, o participante teria que raspar dois círculos que compunham o olho do gato da cartela e teria que encontrar dois círculos de cores distintas. Aparentemente, dir-se-ia que a probabilidade de uma pessoa vencer no jogo, era uma em quatro, porém, não era o que ocorria. Assim, a suspeita é que havia alguma fraude no jogo, que para complicar a análise do caso, ao tentar obter informação além das duas indicadas nas instruções a cartela se autodestruía. Notamos que o caso traz várias alegorias que podemos relacionar aos debates da FQ, entre elas apresentamos algumas mais evidentes.

Primeiramente, a referência ao gato, sendo o experimento do gato de Schroedinger um marco sobre a superposição de partículas. Após, podemos citar a proposição de realidade, quando uma cartela não se destruiria por cometermos um ato não permitido. Por conseguinte, a questão da probabilidade ideal e a probabilidade do jogo, ou seja, não haveria um sistema único de um olho, mas apenas o sistema composto pelos dois olhos. Impedindo, assim, também obter esta informação além da correspondência das partículas entre os olhos (velocidade da luz).

Com isso, destacamos a terceira parte do capítulo em que os cientistas apresentam a Holmes e Watson no que estão trabalhando e a relação com os cartões lotéricos. Podíamos dizer que é o desfecho do caso, contudo ainda nos dias atuais as pesquisas na temática continuam.

Esta parte começa com Dr. Watson sugerindo que deviam recorrer a algum especialista no problema, que não é vergonha alguma fazer isso. E Holmes se mostra contrariado, mas vencido pelo cansaço aceita a ideia. Antes de aceitar, faz uma ressalva que seu orgulho impede de tomar esta atitude, pois sempre acreditou que poderia haver uma conclusão lógica simples, que seria capaz de desvendar sozinho.

Após este diálogo, vão para sala de Challenger. Lá encontram os dois cientistas, Sumerlee e Challenger, que estão fazendo um experimento e Watson e Holmes entram no meio do experimento, o que deixa Challenger nervoso, por atrapalharem suas medidas. Watson nota que os cientistas como Holmes aparentavam terem virado a noite no estudo deste experimento, descrito e esboçado no livro; aqui apenas utilizamos a descrição do autor.

[...]

- Bem, para usar de toda franqueza, estamos **num impasse** aqui. Summerlee e eu [Challenger] estivemos fazendo um enorme esforço para **reproduzir um experimento**<sup>27</sup> que acaba de ser realizado na Europa. Nenhum de nós dois acreditou nos relatos que foram feitos dele: mas foi fácil demais **reproduzir um resultado totalmente desconcertante**. Talvez uma pausa para tratar de um **problema mais fácil**<sup>28</sup> refresque nossas cabeças.[...] (Ibid., 2001, p.220 grifo e destaque em negrito nosso)

O cientista Challenger mostra o problema de sua interpretação dos fenômenos quânticos:

[...]- Sabem quais são os problemas potenciais com minha **interpretação de transporte-sobre-onda da Teoria Quântica** – ou, quanto a isso, de qualquer aparentemente, mover-se **mais rápido que a luz** de vez em quando. Segundo, que uma observação – **a mera obtenção de informação sobre um sistema quântico** – parece **reduzi-lo de uma superposição de estados possíveis a uma realidade única**.<sup>29</sup> Ambos fizemos sinais de assentimento.

- Bem, ele [Challenger] continuou, um cientista na Europa projetou um experimento destinado a elucidar esses dois problemas ao mesmo tempo. É talvez o **experimento mais engenhoso** que já vi e o que produziu os resultados mais difíceis de explicar.

- Uma pálida fonte de luz – mostrou a lâmpada azul – de tipo bastante especial emite pares de fótons que se deslocam em direções opostas. O par é emitido por um processo que assegura que os dois fótons possuam **propriedades idênticas**, inclusive, e em particular, **sua polarização**.

Tossi – Desculpe minha ignorância: não reconheço esta última palavra.

Challenger me fuzilou com os olhos, impaciente. – Isso tem a ver com uma propriedade dos fótons análoga ao **spin**. Para nossos propósitos imediatos, imagine que cada fóton é **como um pequeno disco**<sup>30</sup>, que voa com a borda para a frente, mas pode ser inclinado em qualquer ângulo. Agora imagine que o disco se aproxima de uma grade, certo? Fiz que sim com a cabeça.

- Se o disco estiver **alinhado paralelamente** às barras da grade – ele continuou - , há todas as chances que deslize entre elas. Por outro lado, se ocorre de ele estar **em ângulos retos** com as barras, ele vai certamente ricochetear. Podemos revestir um pedaço de vidro para que se comporte exatamente como uma grade dessas com relação aos fótons: **isso é chamado filtro polarizador**. Esses discos de vidro nas duas pontas da bancada são filtros desse tipo, e podem ambos ser girados independentemente, de modo a ficar no mesmo ângulo ou em ângulos diferentes, conforme se queira.

Agora, **como os dois fótons são idênticos, devemos considerar que os discos análogos estão sempre inclinados no mesmo ângulo**. De fato, a soma do **momento angular** dos dois é zero, de modo que se um está **girando no sentido horário**, o outro **gira no sentido anti-horário**, mas os dois se situam no mesmo plano. Agora diga-me, que acontece quando cada fóton atinge o polarizador?

- Bem, se ocorrer de estar **paralelo à grade, ele passa por ela**; se estiver **em ângulos retos, ricocheteia**, eu disse. Mas que acontece no caso de algum ângulo

27 Possibilidade de reprodução que a ciência deve disponibilizar aos experimentos, ou seja, a reprodutibilidade científica.

28 Ideia de que a ciência é mais complexa que o de for a são problemas mais simples.

29 Neste trecho, Challenger se coloca na posição de EPR, mostrando que não está satisfeito com a teoria quântica, por permitir velocidades maiores que a da luz e definir que as reduções dos estados quânticos dependem da interação com o ambiente.

30 Novamente, para explicar o autor recorre a analogias.

intermediário?

Challenger fez um sinal de concordância. – Nesse caso **é uma questão de probabilidades. A probabilidade da passagem é dada na realidade pelo quadrado do co-seno do ângulo entre a grade e o plano de polarização do fóton.** Mas – levantou a mão para impedir meu protesto – não há nenhuma necessidade de acompanhar a trigonometria para compreender o problema<sup>31</sup>.

- Agora – olhou-me furibundo – parecia evidente **que não pode haver nenhuma comunicação entre os dois fótons.** Cada um tem de tomar sua própria decisão, por assim dizer, quanto a ricochetear ou não.

- Ora, isso é óbvio até para mim, eu disse. De fato, **já que os fótons atingem os filtros em instantes idênticos, e nenhum tipo de sinal pode se mover entre eles mais depressa que a luz, é manifestamente impossível que uma colisão possa afetar a outra seja como for.**

Challenger abriu-me um sorriso triunfante. – Isso mesmo, disse. **Mas veja, até que um ou outro seja medido, os fótons formam um único sistema quântico cujo estado é indeterminado: é uma mera superposição de probabilidades.** Pelo menos isto é o que a teoria estatística de Summerlee nos diz.

- Examinemos o que a teoria dele prevê, sem nos deixar **emaranhar pela matemática**<sup>32</sup>. Se os dois filtros são posicionados em ângulos idênticos, os dois fótons sempre se comportam identicamente. Ambos passam, ou ambos ricocheteiam. O senhor poderia dizer que é como se o primeiro fóton, ao atingir a grade, é torcido até o ângulo exato em que pode passar pelas barras, ou no ângulo oposto, formando ângulos retos com a grade, e então o segundo fóton é virado por alguma força estranha no mesmo ângulo que o primeiro. **Assim, ambos sempre se comportam de maneira idêntica.** (Ibid., p.220-21 grifo e destaque em negrito nosso)

O autor continua com a observação curiosa de Challenger sobre a linguagem matemática:

[...] – Não, senhor: **nenhuma fórmula, por mais complicada que seja, pode explicar os resultados, a menos que os fótons estejam de algum modo numa impossível comunicação entre si.**

[...]

Emitiu um gemido oco. – **Isso não escapa apenas à compreensão; escapa ao senso comum, mesmo que se esteja disposto a formular as hipóteses mais absurdas, e lançou-me um olhar furioso. Situações desesperadas pedem medidas desesperadas.** Summerlee e eu estivemos discutindo se, afinal de contas algum sinal mais rápido do que a luz poderia passar entre os dois fótons.

**Mesmo nesse caso, haveria o problema de saber qual fóton afeta qual, porque a relatividade nos diz que a sequência aparente dos eventos é puramente uma questão de sistemas de referência. Para um observador que viaja para o leste com relação ao laboratório, por exemplo, aquele fóton da esquerda atinge seu alvo primeiro, e apontou para a ponta esquerda do aparelho. Mas para um observador que segue para o oeste, o da direita chega primeiros. Assim, para um observador, o fóton da esquerda deve decidir sua ação em primeiro lugar, controlando depois o comportamento subsequente do outro. Para outro observador, é o fóton da direita que decide, e o da esquerda deve segui-lo. É um ponto de vista muito pouco lógico.**<sup>33</sup>(Ibid., 2001, p.223 grifo e destaque em negrito nosso)

31 Mostra que pode se explicar os princípios físicos sem uma matemática mais sofisticada.

32 O autor faz um jogo de palavras, pois está explicando emaranhamento quântico, então brinca com a ideia de emaranhamento matemático.

33 A inconsistência entre a teoria quântica e a teoria da relatividade de Albert Einstein.

Retomam o cartão e explicam tudo o que foi discutido, especialmente, entre Challenger e Watson no cartão, o que isso representaria ao realizar o experimento com a cartela.

[...] Holmes suspirou- Nenhuma estratégia vai funcionar, ele disse. O problema é que **você não pode forçar nenhum ponto do seu cartão a ser preto ou branco**. A cor da mensagem que você envia está fora de seu controle: a correlação entre nossos cartões só aparece quando os juntamos para compará-los. É como se quem projetou os cartões tivesse tido **todo o cuidado em proteger o mecanismo interno de comunicação** que os faz funcionar contra abelhudos estouvados. Seu tom parecia somente meio brincalhão.

- **Emitir sinais através do tempo não é permitido**, Watson. **O universo não é tão estranho assim. Mas parece sem dúvida bastante esquisito**. De certo modo, uma vitória de Pirro para Summerlee, acho eu: a matemática dele triunfou, mas produziu um resultado sem na medida certa para desconcertar o mundo. (Ibid., 2001, p.217, grifo e destaque em negrito nosso)

Ao final do capítulo, mencionam o desenvolvimento da linguagem matemática da quântica sobre os fundamentos experimentais. Dizem que ainda seriam necessários anos para que pudesse se experimentar o que os cálculos indicavam, o que dentro da história da ciência ocorreu, ou seja, apenas após três décadas do debate entre EPR e Bohr. Que os experimentos feitos dentro da FQ, até os dias atuais corroboram a posição de Bohr. Não obstante, ainda o argumento lógico do paradoxo de EPR está em aberto (WHITAKER, 2006 e FREIRE JR & GRECA, 2013).

Com relação ao posfácio, notamos que o autor sintetiza basicamente os conceitos e problemas envolvidos na teoria quântica, não constrói uma narrativa, tampouco faz analogias entre os eventos da história e a teoria quântica. O autor resume o capítulo e o paradoxo a um parágrafo, no qual explica que o problema da teoria quântica está na multiplicidade de estados que o sistema quântico pode evoluir, porém ao realizar uma “mensuração” ou interação com o meio – efeito observador – o sistema se reduz ao medido.

### 2.2.1 “Alice no país do Quantum”: a narrativa fictícia na DC

O livro “Alice no país do Quantum”, de Robert Gilmore (1998), é estruturado em 10 capítulos, nos quais Alice, uma adolescente entediada em suas férias, entra no universo quântico. Em função de sua curiosidade e de personagens que encontra pelo caminho, como o Mecânico Quântico e o Clássico, vivencia a teoria quântica. Esta obra é uma alegoria com a Física quântica, assim como a obra “Alice no país das Maravilhas”, de Lewis Carroll (2010), é uma alegoria com a Matemática, na qual a obra de Gilmore (1998) se baseia. Ou seja, seu autor era um matemático professor da Universidade de Oxford, como Gilmore (1998) discute

em seu prefácio. No clássico juvenil de Carroll (CAMARÃO, 1990), o autor utiliza de noções matemáticas e ressalta uma crítica à sociedade de sua época.

Por sua vez, o físico, no prefácio de sua obra “Alice no país do Quantum”, explica que se baseia em alegorias para apresentar a Física quântica. Ou seja, faz uso de uma história fantástica para compor um “tratado” sobre a Física quântica. Possivelmente, o autor busca, por meio dessas alegorias, aproximar a Física quântica do público leigo não familiarizado com a formação discursiva dos físicos. Logo, notamos que o autor não está escrevendo para seus pares, pois utiliza analogias e metáforas, ao optar por conversar com seu leitor através de uma obra do absurdo como “Alice no país das Maravilhas” (DE SOUZA; NEVES, 2016).

Com isso, aparentemente se pretende mostrar noções científicas de maneira distinta da dos livros didáticos e da dos artigos científicos, especialmente os últimos que são basicamente interpretados apenas pelos pares de quem escreve e não por leigos no assunto. Todavia, Gilmore (1998) utiliza vários conceitos que fazem parte da formação discursiva dos físicos, como elétrons, fótons, spins, energia cinética, entre outros, que demonstram sua inserção nesta posição discursiva. Entretanto, este livro, portanto, é uma alegoria da Física quântica, no sentido dicionarizado de

(...) uma narrativa que descreve um assunto sob o disfarce de outro. (...) O modo pelo qual as coisas se comportam na mecânica quântica parece muito estranho para nossa maneira habitual de pensar e torna-se mais aceitável quando fazemos analogias com situações com as quais estamos mais familiarizados, mesmo quando essas analogias possam ser inexatas. Tais analogias não podem nunca ser uma representação verdadeira da realidade, na medida em que os processos quânticos são de fato bastante diferentes de nossa experiência ordinária. (GILMORE, 1998, p.7)

Ao compararmos as duas obras, do matemático e do físico, notamos que os dois autores nomeiam o personagem principal de Alice, que para ambos é caracterizada como uma adolescente curiosa. Sendo que esta última característica da personagem é que possibilita que passe para um mundo fantástico, em Carroll (2010), isso ocorre através da toca de um coelho atrasado. E, para o mundo do quantum, Gilmore (1998), através do tubo de raios catódicos do aparelho televisor. Na história do físico, essa realidade paralela é uma discussão sobre a teoria quântica no nosso cotidiano, enquanto no clássico juvenil, seria uma realidade fantástica apoiada em uma visão matemática de mundo.

Ainda sobre as diferenças entre os livros, Gilmore (1998) em seu prefácio faz uma breve introdução da história da quântica, o que não é feito por Carroll (2010) com relação à matemática. Gilmore refere-se ao início dessa teoria no final do século XIX e começo do século XX e conta que foi uma reviravolta na compreensão de realidade que existia. Devido à

nova percepção da realidade, houve muita resistência em ser aceita. Os princípios que a fundamentavam eram totalmente divergentes dos fundamentos da Física clássica e desviavam muito das concepções do senso comum, porém, até hoje, suas previsões teóricas têm sido corroboradas experimentalmente.

Além dessa introdução à quântica, no prefácio, o autor explica ao leitor como realizar a leitura de sua obra. Sobre a estruturação do livro, diz que ao longo dos capítulos haverá notas de rodapé e quadros explicativos, que não precisam ser lidos para entender a história, porém, ele aconselha que leiamos para entendermos as alegorias com a Física. Enquanto que Carroll (2010) não apresenta notas ou passagens que possam ser puladas sem comprometer a narrativa da obra.

Se tomarmos a narrativa em seu caráter científico notamos que a figura da personagem Alice se dissolve e o espaço torna-se predominante caracterizado por sua virtualidade, sendo o teórico, o real justaposto ao ficcional, estranho. De Souza e Neves (2016) afirmam que o espaço ficcional se torna o cenário da narrativa, mas pode ser mensurável (pode ser determinado, verificado), horizontalmente, é próprio do ambiente humano ou natural. O espaço adquiriu, assim, uma importância particular, pois objetos e situações são descritos em si, independente da referência à ação ou à atitude da personagem Alice.

No primeiro capítulo Gilmore (1998) nos apresenta a personagem principal da história: Alice é uma menina que está entediada com as férias, pois só tem assistido televisão. Em um momento entre um estado de sonolência e seu imaginário dos programas televisivos, acaba sendo capturada para dentro da televisão e embarca para o país do quantum. Inicialmente, a adolescente encontra-se numa estação de trem com destino ao país do quantum. Ali, encontra seu primeiro companheiro de viagem, o elétron, que o autor o antropomorfiza. Isto pode ser observado quando Alice se encontra numa estação ferroviária lotada de figurinhas que se espremiavam e movimentavam rapidamente, todas muitíssimo parecidas (GILMORE, 1998).

Curiosa, Alice, ao se deparar com a cena, pergunta a razão pela qual o elétron não pode embarcar, este responde dizendo que o vagão está lotado para ele, mas que não há nenhuma outra Alice com o mesmo spin dela no vagão, que a impeça de embarcar. Ou seja, segundo o autor o elétron só poderia embarcar em um vagão que não tivesse nenhum elétron com mesmo spin que ele.

Em outras palavras, o elétron antropomorfizado representa a voz do autor que

explica os conceitos físicos, que estão envolvidos naquela cena do livro. Ou seja, que um elétron, por ser uma partícula férmion segundo o princípio genérico de simetria de Pauli, mais pontualmente, pelo princípio da exclusão de Pauli, não pode ter os quatro números quânticos – posição, spin, momento magnético e linear - igual à outra partícula férmion. Alice, na situação, não encontra a mesma restrição de embarque, por não haver outro personagem idêntico a ela. O tema da relação massa e energia é introduzido à menina, que por indicação do elétron deveria ir ao Banco de Heisenberg.

O segundo capítulo é justamente sobre o Banco de Heisenberg, em que a menina indaga sobre a relação citada no primeiro capítulo da massa e da energia. Ali, o autor passa a explicar todo o princípio da massa e energia das partículas subatômicas. Estas são “compostas” por uma energia de massa em repouso. Todavia, há uma classe de partículas existentes no estado do sistema de menor energia – determinado pelo vácuo – denominadas partículas virtuais, por não possuírem a energia de massa de repouso. Sua existência é condicionada ao empréstimo de energia por um determinado tempo, sendo este mais ou menos instantâneo, conforme maior a energia recebida. Alegoricamente no livro o empréstimo é feito no banco – permitindo associar aos empréstimos que são feitos no banco.

Porém, diferente do banco real, no país do quantum o preço do empréstimo é dado pela relação de incerteza de Heisenberg, quanto maior a energia menor o tempo de sobrevivência e vice-versa, de maneira que a relação de incerteza seja a menor possível. Nessa explicação, o autor apresenta a ideia das partículas de curto alcance, que possuem um alto valor energético, mas uma durabilidade extremamente baixa. Com isso, surge a dúvida para Alice, o que seria energia.

A gerente do banco tenta explicar exemplificando, cita a energia cinética (movimento), potencial (a energia potencial gravitacional), química ou elétrica (energia dos elétrons nos átomos) e de massa de repouso. Diz que uma energia pode ser convertida em outra, exemplifica com o carrinho de montanha-russa, que seria o mundo clássico. Ao perder altura, na descida, transforma sua energia potencial em energia cinética, aumentando sua velocidade de queda. Pensando na ideia de movimento, da energia cinética, o autor introduz o conceito de momentum. Afirma que para descrever uma partícula é necessário que se saiba o tempo, a posição, o momentum e a energia da partícula, porém é impossível ter a informação completa destas grandezas, pois quanto mais se sabe da energia, mais se perde a informação do tempo e o mesmo ocorre entre posição e momentum, o que se justifica pelo princípio da incerteza de Heisenberg.

Um novo personagem aparece, o contador de incerteza, que alegoricamente representa a formalidade matemática da Física quântica. Ele começa por explicar a Alice que a energia total não desaparece, nem aumenta, seguindo a Lei de Lavoisier (1777) “Nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”. Logo, a energia é apenas convertida entre os seus diferentes tipos. O contador explica que o empréstimo de energia feito pelo banco é realizado através de variações quânticas, ou seja, para um receber energia outro tem que ter perdido. Nesta noção quântica, a alegoria do banco se distancia do banco real, pois a inflação gera um aumento ou redução na economia do dinheiro veiculado, enquanto no banco da obra de Gilmore (1998), a moeda de troca sempre é a mesma dentro de um sistema. Então, surge a dúvida de Alice com relação aos estados quânticos. No texto é sugerido que busque o Mecânico Quântico no Instituto de Mecânica.

Consideramos que essa alegoria feita pelo autor possibilita a compreensão da importância da energia dentro da Física, seja clássica ou quântica. Também, auxilia a reflexão sobre a energia de massa de repouso, bem como ajuda a entender a relação entre a energia e o tempo. Destacamos que nestes termos há um diálogo como apresentado por Bohr (1935), ou seja, que em prol de maior informação da energia, perde-se informação sobre o tempo.

No terceiro capítulo, Alice vai ao Instituto de Mecânica, conhece o Mecânico Clássico e o Quântico, que estão jogando bilhar. O primeiro a jogar é o Clássico, que faz sua jogada através de cálculos meticulosos e determina com certeza a trajetória de sua bolinha. Em seguida, o Mecânico Quântico faz sua jogada, como a do Clássico, alcança a caçapa, todavia a trajetória que se pode descrever é através de probabilidades.

O primeiro a tomar a palavra é o Mecânico Clássico, com certo tom de indignação, afirma não entender o mundo quântico. Pois, como evidencia, no mundo clássico é possível se determinar tudo como um sistema linear de causa e efeito, trata-se de um mundo previsível. Mostra, também, que algumas ideias assumidas pela quântica, como interferência, são conceitos do mundo clássico, também. Para explicar o conceito de interferência clássica, relacionado à teoria ondulatória, leva Alice a uma sala de experimentos de pensamento e diz que os experimentos ali são feitos através da imaginação. Para exemplificar o que seria a interferência clássica, escolhe um experimento de ondas aquáticas. Por meio deste, explica que ondas com diferentes fases e mesmo período interferem. Há dois tipos de interferência: construtiva – a intensidade aumenta, os picos são maiores - e destrutiva – a intensidade diminui, os picos são menores.

Por outro lado, é mostrado que há questões da quântica para as quais não há

correlação com a Física clássica, entre elas a dualidade de onda-partícula das teorias. E, segundo, o Mecânico Clássico uma partícula não passaria por um estado de interferência. No mundo clássico só vemos parte da onda, pois ela se dissipa por todo um plano. Por sua vez, a partícula é pontual, está localizada em um ponto determinado do espaço.

O Mecânico Quântico entra na sala e propõe um experimento de lançamento de elétrons contra uma parede com duas fendas. Nesse experimento, cada vez que o elétron ultrapassar uma das fendas será emitido um flash de luz, para saber onde o elétron foi. Observa-se que os elétrons interferiam como ocorria com as ondas d'água e, por isso, há regiões mais densas e regiões menos densas. E, embora o elétron seja detectado apenas em uma posição, devido ao efeito do observador, existe a probabilidade dele ser detectado em outras.

Para representar melhor o efeito de interferência dos elétrons, o autor opta por tomar apenas um e mostrar que ele se auto interfere. Sua trajetória é alterada sem necessidade de fatores externos, ele mesmo produz esta alteração. Logo, o elétron poderia passar pelas duas fendas ao mesmo tempo, porém ao realizarmos um experimento – medição – sabemos exatamente a trajetória do elétron, sendo assim, a distribuição de probabilidade perde seu caráter ondulatório e assume a distribuição das partículas do mecânico clássico. Na explicação da auto interferência dos elétrons é introduzido o conceito de grandezas conjugadas. Seriam as grandezas conjugadas do Banco de Heisenberg. Ou seja, quanto mais se conhece a informação de uma delas, perde-se da outra.

O Mecânico Quântico conta à Alice que a teoria da mecânica quântica não tem sentido, nem é possível compreendê-la em sua maioria. Porém, ela se torna plausível no âmbito da descrição dos fenômenos. Adentra, assim, no conceito de superposição de estados. Isso se fundamenta na ideia de que a partícula/onda está em todos seus estados possíveis e incluso no compulsório até o momento que se realiza uma medida e, estes estados se reduzem a um único estado, o medido. Com isso, Alice se depara com o problema da medida. Para solucioná-lo é sugerido que vá até a escola de Copenhagen.

O autor representa a mudança, as novas ideias, os novos conceitos em oposição ao velho. O novo é representado pelo Mecânico Quântico, enquanto o Mecânico Clássico personifica o velho. Este capítulo coloca em oposição os conceitos novos e os antigos, os últimos eram os dominantes no mundo da Física, enquanto a quântica, caracterizada pelo novo, está despontando e colocando em cheque os conceitos clássicos. O confronto entre as ideias clássicas e quânticas é apresentado através da alegoria do jogo de bilhar, que envolve

uma disputa entre os mecânicos clássico e quântico.

Além disso, notamos que as características de velho e novo estão simuladas pela caracterização Física de cada um dos mecânicos, um é “(...) *alto de silhueta angular, usa camisa engomada com colarinho alto e duro, vestindo um macacão (...)*” (Ibid., 1998, p.40), representa a mecânica clássica, com seu desenvolvimento empírico, laboratorial. “(...) O outro é jovem e menor rosto redondo, óculos grande de metal, usando um avental de laboratório e camiseta com estampa atômica não muito nítida, com as cores desbotadas(...)” (Ibid., 1998, p.40), o Mecânico Quântico.

Ambos os mecânicos expõem suas explicações sobre os fenômenos naturais à Alice, que escuta e observa atentamente procurando tirar suas conclusões. Esse episódio, segundo Lima (2014), sugere alusão ao livro clássico “Os diálogos sobre os dois principais sistemas de mundo”, de Galileu Galilei (1632), no qual três personagens distintos da história das ciências discutem sobre temáticas científicas, Galileu Galilei, Simplício e Salviati expõem seus argumentos e posições para Sagredo, tal como os mecânicos fazem para Alice. No capítulo, o autor faz referência a conceitos essenciais da Física quântica, como por exemplo, a dualidade onda-partícula.

No capítulo quatro, no caminho à escola de Copenhagen, a adolescente encontra o gato de Schroedinger, com quem começa a conversar sobre o conceito de superposição de estados. Toma-se dois estados o A e o B e, dois momentos, o 1 e o 2. Como A pode ser o estado da menina tanto no momento 1, como no momento 2, ela está em A, nos dois momentos. E, passa o mesmo ao B, ela pode estar em B, tanto no momento 1 como no 2. Ela vive uma superposição de estados, pois no momento 1 ela pode estar em ambos os estados, idem no momento 2. Ao fazer a medida ocorre o colapso para apenas um estado. Ou seja, se no momento 1 ou 2, for feita alguma medida, os estados que Alice estava colapsam em apenas um estado. Assim, ela passa a ter um estado no momento 1 ou 2, porém se nunca for feita nenhuma medida, ela permanece em uma superposição de estados. Logo, não é possível se determinar – prever – algo se não houver uma observação – um experimento. A probabilidade de colapso em um ou outro estado é definida pela redução dos estados quânticos, ao se realizarem experimentos ou por intermédio de uma linguagem matemática probabilística, dentro das noções de matrizes de Heisenberg e/ou função de onda de Schroedinger. Não se determina o estado por escolha do observador, este é definido probabilisticamente.

Durante esta introdução ao tema, Alice começa a se indagar sobre o observador, quem seria este observador? Discute a questão da consciência do observador, ou seja, seria

necessário haver um observador consciente ou não? A resposta a estas indagações dentro da teoria da MQ é dada no artigo de Bohr (1935), que aponta que o observador é dado na interação de elementos quânticos com outros elementos quânticos ou não efeitos experimentais. Em suma, a consciência não é determinística. No livro, o autor trata as diferentes maneiras de interpretar a Física quântica, entre elas, apresenta a teoria da MQ, porém ao longo do livro ela é a teoria explorada. Essas outras teorias são apresentadas dentro de uma sala de aula pelos diferentes estudantes ali presentes no capítulo quatro.

A discussão inicia-se com o mestre da turma. Este apresenta que no mundo real, por haver várias partículas que interferem e auto interferem, não é possível pensar numa única probabilidade de estados, mas em inúmeras delas. Logo, elas não estão em um estado não definido, mas realmente estão em todos os estados. Entre as diferentes teorias tratadas, pelos alunos, destacamos o que descrevemos nos parágrafos seguintes.

A primeira teoria, justamente da relação mente com a matéria. Como a mente está fora do mundo quântico, o estado quântico é definido quando chega ao conhecimento desta mente soberana, justifica-se pela perspectiva da ideia anteriormente apresentada pelo mestre, sobre estarmos colapsados em um único estado, enquanto o mundo quântico, que não possui consciência, está em um estado compulsório – superposto. A teoria é bem fundamentada, porém, surge a questão que há fenômenos que não têm a mente humana, como a fotografia, que não é uma superposição de estados. Esta teoria tenta solucionar o problema, afirmando que a foto, por exemplo, é feita a partir da observação de uma mente consciente e, por meio de troca de informações, todas as fotos a partir dessa assumiriam o estado da foto determinada por uma mente consciente.

A segunda teoria que os alunos apresentam é dos múltiplos universos. Nessa visão a mente do observador não se exclui da superposição, logo, a mente também está superposta, de maneira que em diferentes realidades ela observa diferentes estados. Ela possui a capacidade de observar todos os estados quânticos e os estados se expandem para incluir o observador. Há uma divisão de universos. Alice protesta contra esta teoria dizendo que então se teria mais universo que grãos na areia, porém para os defensores desta corrente, isto não seria um problema, mas uma consequência.

A terceira teoria trabalha com a ideia de que tudo é muito complicado e na verdade não se entende muito, apenas sabe-se que há uma mistura de estados interferentes.

A última teoria abordada é de rodas dentro de rodas, para os defensores desta teoria os elétrons não sofrem superposições ou interferências de estados, mas variáveis

externas os afetam. O elétron por si possui apenas um estado.

Nesse capítulo, o autor utiliza alegoria do gato. O mesmo não ajuda muito sobre os questionamentos de Alice, pois, embora seja a teoria da MQ a mais aceita, hegemônica, ela não é a única e a questão continua em aberto. Vide pela importância atual do paradoxo EPR (1935) no desenvolvimento de questões científicas vigentes.

Após a discussão destas teorias, Alice prossegue pelo mundo quântico, chegando à Academia de Fermi-Bose no quinto capítulo. Essa academia se destina aos elétrons e aos fótons. É retomado de maneira mais detalhada o Princípio da Simetria de Pauli, que aborda a diferença entre os bósons e os férmions, que explica o Princípio de Exclusão de Pauli, citado no primeiro capítulo.

Alice reencontra seu amigo, o Elétron Menor, que é um férmion. Ali, conhece o diretor da academia, que ao assumir a função imparcial de partícula, pode lhe explicar a diferença entre os bósons e férmions, que são os tipos de partículas que compõem a natureza como um todo. Logo, sua explicação trata que tanto os bósons, como os férmions são todos iguais, não é possível diferenciá-los. Assim, um observador não consegue determinar quando duas partículas mudaram de posição, visto que são descritas por funções de ondas, que permitem que as partículas estejam probabilisticamente em uma superposição de estados.

Porém, a diferença entre os bósons e os férmions, está no fato que enquanto entre os primeiros, duas ou mais partículas podem assumir a mesma função de onda, não se passa o mesmo com os férmions. Ou seja, o menor estado de energia nos bósons possibilita a formação de aglomerados, produzindo a condensação de Bose. Para os férmions, o menor estado de energia decorre de uma distribuição eletrônica entre os diferentes níveis energéticos possíveis quanticamente.

Outro ponto importante, os férmions permanecem em uma quantidade definida, não podem aparecer e desaparecer, isso porque dois férmions não podem estar fazendo a mesma coisa. Por isso, se pode ter apenas um em cada estado. Os bósons são distintos, pois pode haver qualquer número de partículas em um mesmo estado. Por sua vez, os férmions possuem uma propriedade que está ausente nos bósons, o estado estacionário, ou seja, ao observar um férmion, é selecionado um dos estados que estava no momento anterior, enquanto os bósons estão sempre em movimento.

Alice reencontra o Mecânico Quântico, que explica que um estado estacionário é relativo àquilo que olha para ele, podendo mudar o estado estacionário de momentum e posição. Um elétron pode estar em um estado estacionário para posição, isto é, sempre resulta

na mesma posição para o observador. Neste caso, o resultado para o momentum varia, por serem grandezas conjugadas. O estado estacionário de um férmion é sempre com relação a uma grandeza e indeterminado na grandeza conjugada. Portanto, podemos saber ao certo o que observamos, mas não o que realmente existe ali.

Sobre o nível de valência, para explicar o autor utiliza uma assembleia de estudantes na academia, enquanto os fótons estavam dispersos, os elétrons não podiam se movimentar, assumindo sempre uma mesma posição, pelo número de valência da assembleia estar completo. Durante a assembleia, o diretor explica a Alice os diversos pormenores relacionados aos elétrons e à corrente elétrica, que são alegoricamente apresentados nas questões propostas na assembleia.

Trata, também, do decaimento quântico, através dos diferentes estados de energia, que devido à necessidade dos férmions, de duas diferentes partículas não possuem uma mesma função de onda, logo eles podem estar em níveis de energia que não são o menor possível. E, vagando um nível de energia menor que o do estado atual do elétron, gera um decaimento eletrônico, no qual um fóton é liberado pelo elétron, para que este assuma um nível menor de energia. Por outro lado, um fóton pode colidir com o elétron, excitando-o para um nível superior de energia, decorrente dessa excitação gera um decaimento atômico, esses são conhecidos como decaimentos induzidos.

Com relação aos fótons, o autor trata da temporalidade relativa ao referencial. Ou seja, a teoria da relatividade restrita, para essas partículas que estão na velocidade da luz, seu tempo é menor do que no nosso referencial que não estamos à velocidade da luz.

O sexto capítulo, “A realidade virtual”, irá tratar das partículas virtuais. O autor inicia com a Alice em um parque, onde há várias Alices - Alices negativadas ou AntiAlices. As Alices se colidem com a Alice da história e nestes momentos um clarão é produzido. A menina cansada e confusa no parque sai e vai até uma planície, onde encontra apenas um edifício com um corretor de imóveis. O personagem representa a energia doada às partículas virtuais. Ou seja, ao alugarmos um imóvel é por um tempo determinado, o mesmo se passa com a energia doada às partículas virtuais, que têm uma sobrevivência determinada pela quantidade de energia a elas doada. Porém, distintamente do que passa na imobiliária real, que o tempo de aluguel é definido por um contrato acordado entre o locatário e o locador, no mundo quântico, a quantidade de energia “doada” determina o tempo de sobrevivência das partículas, quanto maior a energia, menor o tempo que ela existirá. O autor retoma de maneira mais detalhada a questão do vácuo e das partículas virtuais discutidas no capítulo 2.

Então Alice retoma a discussão do capítulo anterior sobre a transição de estados dos elétrons. Segundo explica o corretor à menina, as partículas reais possuem uma relação entre as massas individuais, momentum e energia. Elas fazem tudo dentro da camada da massa, ou seja, o momentum e a energia se relacionam necessariamente nas partículas reais. Isto é, se quiser mudar o estado da partícula, precisa aplicar uma força, logo é preciso modificar o momentum, isto significa que está mexendo no movimento da partícula e, movimento é momentum.

Todas, independente de sua massa, precisam de uma energia cinética para terem momentum, o que inclui os fótons, que mesmo sem massa de repouso possuem momentum. Logo, é possível entender que as partículas, que obedecem esta relação entre energia cinética e momentum, são energeticamente livres. Tudo que for proibido é realizado de maneira rápida, tal como agem as partículas virtuais.

O corretor explica sobre essas partículas, as quais se comportam de maneiras distintas das leis clássicas. Elas são fruto das flutuações quânticas, podendo transferir momentum, mesmo que não possuam massa, pois, podem desfrutar de todos os benefícios energéticos, desde que seja por um curto período de tempo.

O corretor explica que uma partícula real pode mover-se no tempo presente para o futuro – partícula; ou para o passado - antipartícula. Porém, elas são definidas por sua carga e seu estado de antipartícula é definido conforme sua trajetória no tempo. Ou seja, se for no sentido linear do tempo clássico, suas cargas permanecem as cargas classicamente definidas. Porém, ao andarem no tempo no sentido linear oposto ao clássico, passam a ser definidas como antipartículas e assumem a carga inversa à partícula “clássica”. Logo, quando a antipartícula colide com uma partícula, surge uma explosão.

Para determinar se é uma partícula ou antipartícula, busca-se observar se inicialmente foi aniquilada (coalisão e extinguida) ou se ela inicialmente foi originada. Ou seja, em ambos os casos a aniquilação e surgimento é dado por transferência de momentum, respeitando a lei de conservação de momentum dos sistemas.

No capítulo seguinte, “Átomos no vácuo”, o corretor começa introduzindo a menina aos espectros atômicos, que seria como uma identidade atômica, depois fala dos conglomerados atômicos. Ela curiosa pede-lhe que explique melhor sobre os conglomerados atômicos, ele a leva até o Pier Periódico ou “Estaleito do Universo”, uma alegoria com a tabela periódica, retratada por um porto em que o cais é formado por plataformas atômicas.

Os átomos vivem nesse porto até passarem para o estado de compostos químicos.

No meio do caminho, atravessam um poço de potencial, composto por fótons virtuais. Cada plataforma do poço possui uma etiqueta dizendo o número de elétrons e o átomo, por exemplo, 1H, 2He e assim por diante. Os gases nobres, devido não necessitarem de mais elétrons na camada de valência, estão separados em plataformas distintas.

Na sua curiosidade, a menina decide entrar numa das plataformas para entender melhor o átomo, porém ela começa a cair e cai indefinidamente, sem nunca chegar ao fundo do buraco. Nota que na verdade está flutuando juntamente com os elétrons de nível fundamental. Alice passa a conversar com um elétron do átomo de hidrogênio, a plataforma em que ela entrou.

O elétron aborda o Princípio de Pauli para explicar a composição eletrônica do átomo, ou seja, há apenas dois elétrons em cada posição, sendo que eles têm de estar com spin opostos. Em especial, na camada que se encontram, a movimentação é muito flutuante dos elétrons por estarem próximo ao poço de potencial atômico. A energia deste poço é transformada em energia cinética, a qual gera movimentação dos elétrons que resulta na nuvem eletrônica do átomo.

Curiosa, resolve ir ao núcleo do átomo. Para um elétron chegar lá precisa ser excitado por um fóton; ela, como não é um elétron, poderia utilizar-se de recursos matemáticos – teóricos – que a fariam percorrer o caminho da primeira camada de valência até o núcleo atômico. Durante esse percurso é apresentada a compostos iônicos, ligações covalentes, além de neutralização das cargas atômicas. Em suma, discute sobre o processo de equilíbrio atômico.

O capítulo seguinte “O castelo de Rutherford” é sobre o núcleo atômico. Alice finalmente, com ajuda do fóton, chega ao núcleo do átomo, que o autor alegoricamente denomina como castelo de Rutherford. Pois foi Rutherford o primeiro a propor um modelo atômico com um núcleo positivo e uma camada eletrônica negativa. Assim, enquanto o autor compara as zonas eletrônicas dos átomos com um poço sem fundo, o núcleo é comparado a uma torre sem fim.

Alice observa que há uma parede impedindo a entrada de partículas carregadas positivamente. Por outro lado, partículas neutras e negativas não são barradas na barreira de Coulomb, formada pelos prótons. Começa por explicar que o núcleo é composto por partículas denominadas nêutrons e prótons, que possuem duas mil vezes a massa dos elétrons. Todavia, parecem ser mil vezes menores que os elétrons, isso se supõe que seja pela razão que os elétrons possuem duas vezes mil a massa de repouso dos núcleos enquanto massa em

movimento, lembrando a equação de Einstein em que energia é igual à massa vezes à velocidade da luz ao quadrado. Ou seja, a energia do núcleo está concentrada e a energia dos elétrons está esparramada pela nuvem eletrônica, o que nos faz conjecturar que a massa dos elétrons é duas mil vezes a do núcleo.

A menina estava observando o nêutron, com interação de curto alcance, que precisa de contato para interagir, por não possuir carga elétrica. Então, o nêutron toma a palavra, e diz que no núcleo central estão os prótons, ali na camada externa são apenas os nêutrons. Como o núcleo é um poço de energia potencial, sua estabilidade não depende das partículas externas, porém ali são criados dois potenciais, um garantindo a estabilidade do núcleo e outro que mantém os elétrons no átomo.

Ou seja, enquanto os prótons têm por função criar um potencial mantendo os elétrons ali, os nêutrons são responsáveis por manter os prótons no núcleo, que seria a interação nuclear forte. Se não fosse pela interação nêutron-próton, os prótons nucleares se espalhariam, visto que os prótons entre si se repelem. Como esta interação é de curto alcance, apenas nota-se sua existência dentro dos núcleos, fora deles sua expressividade é mínima e outras formas de interação predominam.

Embora os elétrons também se repilam como os prótons, eles estão a uma distância um dos outros o suficiente que os mantém ali, não precisando que haja uma interação forte entre eles e os nêutrons – ou seja, uma interação de curto alcance, superior às demais interações. Em contrapartida, os elétrons estão sempre a ameaçar a estabilidade do núcleo, portanto, dificilmente surge um elétron no núcleo, caso contrário o núcleo e, conseqüentemente o átomo como um todo, se desestabiliza.

Em geral as partículas criadas pela interação nuclear forte são píons e bósons, que aparecem e desaparecem. Existem momentaneamente apenas na necessidade da interação entre nêutrons-prótons mantendo os prótons no núcleo. Os píons são partículas que possuem a massa muito superior à do fóton. Além disso, quem determina a quantidade de elétrons que um átomo pode suportar é a quantidade de prótons que ele possui e esse valor determina o número atômico. A quantidade de nêutrons determina os tipos de isótopos que o átomo permite, variação da massa dos átomos sem variar o número atômico.

A estabilidade nuclear é dada pela interação nuclear forte. A interação forte para ser rompida precisa de muito mais energia que outras interações, como nuclear fraca, elétrica ou gravitacional. Desta maneira, o átomo se encontra no estado de menor energia da interação das partículas nucleares.

As reações nucleares ocorrem quando uma partícula energeticamente carregada invade o núcleo, com energia igual ou superior ao próximo estado energético atômico. Ou quando uma partícula consegue se desvincular das interações fortes e sair do núcleo, rompendo as paredes de potencial Coulomb do átomo.

Contudo, o átomo não é uma partícula estável, é composto por partículas alfa que são positivamente carregadas, que podem ser expelidas a todo momento devido à força de interação existente entre os nêutrons e os prótons, que a faz agir de maneira autônoma dentro do núcleo. Por sua vez, ela não é tão facilmente emitida, demora anos, por haver mecanismos que impeçam suas emissões.

Sobre a radiação ionizante, o texto fala sobre a diversidade de tipos de emissão de partículas, conhecidas por alfa, beta e gama. A última, a emissão de um fóton, ou seja, quando um átomo é excitado e cai de nível, o átomo emite um fóton. A beta surge quando um átomo emite um elétron do núcleo, justamente pelo fato do núcleo não poder conter elétrons. Por sua vez, a alfa, como dito anteriormente, é a mais rara, pois sua emissão energética custa muito ao núcleo do átomo o desformatando por completo.

Em seguida, é discutido o plasma. Os plasmas são átomos que perderam alguns elétrons e se tornaram íons positivamente carregados, no caso de um plasma de hidrogênio, ao perder seu único elétron, torna-se um próton, que por estar quente consegue se movimentar muito rápido, devido à alta energia térmica a que o átomo é submetido, convertida em energia cinética.

Neste momento, a barreira de Rutherford do átomo é rompida e começa uma confusão entre as partículas nucleares que se excitam devido a uma nova energia ser inserida. No meio desta confusão, surge o Mecânico Quântico com um convite para Alice, com isso a introduz ao capítulo seguinte.

Este é “O baile de massacarados de partículas”, que trata sobre a formação dos diferentes tipos de partículas, em especial os quarks. A alegoria está no fato das partículas nunca estarem na sua menor unidade. Assim, de tempos em tempos durante a festa, as partículas vão se despidendo. Este capítulo, em especial, é sobre Física de partículas, tema associado às pesquisas em Física de que Gilmore participou em sua estadia no CERN, tal como uma das razões de ter dedicado todo um livro de DC/FC para a temática da Física de partículas “O Mágico dos Quarks” (2002).

Retomando a história de Alice, o capítulo começa com a menina chegando à festa. Para entrar, é preciso apresentar-se enquanto partícula, pois a festa é exclusiva para elas. Para

isso, o autor considera que é preciso responder três perguntas: 1. Se ao ser observada deve estar bem definida; 2. Se deve ter uma massa definida, 3. Se deve ser estável. A estabilidade das partículas é mais complexa de responder, pois anteriormente apenas verificavam se a partícula decaía ou não, porém há partículas que podem ser estáveis por longos períodos e vir a decair após anos, logo em uma escala infinita de tempo, não é possível saber a estabilidade das partículas. Alice encaixou-se em todas as descrições, a porta a deixou entrar na festa.

Na festa havia várias partículas de diferentes cores, listradas e anticores, como antivermelho, antiverde e antiazul. Também, observou que havia várias partículas se movimentando em diferentes direções, o que aumentava a probabilidade de colisão; quando elas se chocavam, se tornavam maiores e mais exóticas, como a menina viu ocorrendo com os píons. Com o tempo, mais colisões ocorriam e Alice ficava a contemplar o surgimento de novas partículas.

Por outro lado, ia ocorrendo o desmascaramento das partículas, sob o comando do mestre de cerimônia. Isso pode ser entendido como uma alegoria da instabilidade das partículas. Alice logo se depara com o mestre, que explica que já havia perdido sua máscara, passando de átomo para um monte de núcleo e elétrons. Depois, dos núcleos tirou a máscara, passando para prótons e nêutrons. Chega ao desmascaramento final, quando o mestre a apresenta aos quarks, sendo estes três: o Downo, vermelho; Uppo, verde e Strangeo, azul.

Os quarks não se separam, porém eles mudam de cores. Logo Alice questiona o porquê desta mudança. A palavra passa aos quarks, que explicam que enquanto partículas carregadas trocam fótons, as partículas coloridas trocam glúons. As diferenças entre os fótons e os glúons são duas, a primeira que os fótons não possuem carga, enquanto os glúons transportam cores e, os fótons após serem trocados, deixam as partículas livres, os glúons impedem que haja um quark livre. Logo, os quarks sempre andam em três, embora, um fóton possa estar energeticamente carregado e colidir com os quarks rompendo a ligação entre os glúons, a energia que será liberada é muito alta de maneira que se criam novas massas de repouso e o surgimento de dois novos quarks, pelo isolamento de um deles. E, de um novo quark no par que se manteve.

Por fim, o capítulo 10, no qual o autor trata a temática do paradoxo EPR, assim, dado o foco deste trabalho discutimos separadamente mais afundo no item seguinte.

### 2.2.2 O paradoxo EPR em “A Pheira Phantástica de Física Experimental”

Para apresentar o paradoxo EPR, no livro de Gilmore (1998), utilizamos o mesmo critério que usamos no livro do Bruce (2001), nos apropriamos da parte do livro que o índice remissivo nos indicava que o assunto era discutido. Todavia, diferentemente do livro de Bruce (2001), no qual a unidade de ensino (UE) se facultou neste trecho do livro, com relação ao livro de Gilmore (1998), optamos por um trecho do capítulo 4, “A escola de Copenhagem”. Nossa opção se baseou no interesse em discutir com os alunos do EM, o estado de superposição das partículas. Também, é no capítulo 4 que o autor apresenta diferentes interpretações para Física quântica, bem como é nesse capítulo que mostra problemas não resolvidos na teoria da MQ. Em seu prefácio GILMORE (1998) afirma:

[Sobre resultados obtidos da Física quântica] (...) Intrigantemente, como discutido no capítulo 4, a mecânica quântica parece estar numa estranha posição de se adequar a todas as observações feitas, embora discuta quais observações pode efetivamente ser feitas. Parece que o mundo é mais estranho do que imaginamos e talvez do que possamos imaginar. (p.9)

Destacamos neste trecho que o autor basicamente, mostra que os conceitos físicos postos pelo EPR são predominantes problemas de cunho filosófico, sobre a interpretação da ciência. Notamos, também, ao longo do livro que o autor utiliza uma vertente de explicação próxima à sua área de formação, que é a Física de partículas, citando explicitamente o laboratório do CERN, onde ele trabalhou.

Importante destacar que apenas o capítulo 4, do qual tomamos um trecho para compor a UE, apresenta a teoria da MQ como uma das possíveis interpretações da teoria quântica. Mesmo no trecho do livro que considera a discussão do paradoxo EPR, GILMORE, 1998 diz que (...) como sempre a mecânica quântica parece estar correta (...) (p. 187)

Com objetivo de entender qual a interpretação do autor com relação ao paradoxo EPR, focamos a análise no último capítulo, especialmente, na penúltima atração da “Pheira Phantástica de Física Experimental”, o “Grande Paradoxus”, marcado como o trecho referente a esta temática.

Lembramos que a história do livro inicia com Alice, uma adolescente no tédio do começo de suas férias, que embarca no país do quantum. Ali conhece diversas personagens que através de alegorias entre a FQ e a fantasia são criadas, como o Mecânico Clássico e o Mecânico Quântico, o Elétron Maior e o Menor. Essas são as principais personagens que ao longo dos 10 capítulos do livro buscam explicar à Alice a teoria quântica. Tratam a diferença

da quântica para Física clássica, prosseguem por explicar questões da Física de partícula e nuclear. E, especialmente, mostram que a quântica não é uma Física intuitiva.

O livro flui em torno da odisseia da Alice, que atravessa diferentes espaços, contextualizando algumas noções da teoria quântica, através de alegorias que o autor faz entre noções de quântica e do mundo cotidiano. Notamos que ele supostamente escreve para um público idealizado que seria leigo na teoria quântica e até mesmo da Física clássica. Pois, lembramos que, no terceiro capítulo, “O instituto de mecânica”, Alice encontra dois personagens o Mecânico Quântico e o Clássico, em que a explicação de interferência é primeiramente feita sobre a teoria clássica, com a explicação do mecânico clássico.

Por fim, chega “A Pheira Phantástica de Física Experimental”. Esta feira é composta por atrações com base em diferentes experimentos físicos. Destacamos algumas delas, exemplificando os tipos de experimentos que o autor trata: ‘Viva as emoções das colisões de partículas’, ‘A caçada do neutrino’, ‘Arranque um quark e ganhe um Prêmio Nobel’, ‘Sinta a Terra se Mover!’, ‘Vejam-me Mover o Mundo!’, ‘Canhão Fotoelétrico’, ‘Vejam coleção de quarks em cativeiro’, ‘O grande Paradoxus’. Apesar da maioria dos experimentos tratados pelo autor neste capítulo ser com relação à teoria quântica, há alguns deles, tal como invenções científicas expostas que são relacionados a outras teorias Físicas. Apresentamos como o capítulo é introduzido ao leitor.

A escuridão em volta de Alice lentamente se desfez. As sombras desimpediram seus olhos, que imediatamente foram invadidos por um caos de luzes e cores brilhantes. Ao mesmo tempo, seus ouvidos foram tomados por uma agressiva confusão de sons. Olhando à sua volta, Alice percebeu que estava no meio de uma multidão de pessoas festivas e variadas. Parecia haver todo tipo de gente lá, vestida de todo jeito. Alguns deles, ela viu, vestiam aqueles **uniformes brancos que os cientistas supostamente usam em seus laboratórios, enquanto outros estavam vestidos com roupas informais ou com ternos sisudos**. Ela conseguiu diferenciar trajes típicos de outros **países e também de diferentes momentos da história**.

Havia homens em sobrecasacas elisabetanas, com fartas e impressionantes costeletas, outros usavam túnicas ou robes chineses tradicionais com mangas largas, acompanhados de compridos rabos-de-cavalo. **Um dos presentes era particularmente cabeludo e passeava entre os outros metido em peles de animais. Na mão, ele carregava o que parecia ser uma roda tosca, feita de pedra. Em um dos lados da roda, as palavras Patente Registrada tinham sido cuidadosamente esculpidas.** Um homem em especial chamou a atenção de Alice por algum motivo. Ela pressentiu alguma qualidade diferente nele, sem saber exatamente o que poderia ser. **Ele tinha um rosto pálido e marcante e estava vestido com calças, coletes e camisa do século 17. Ele estava andando distraído, comendo, com largas dentadas, uma maçã grande e vermelha.**

[...] "E o que você esperava? Todos são cientistas aqui. Este é o grande parque da observação experimental. Aqui você encontrará várias demonstrações de fenômenos físicos e shows de resultados experimentais." (Ibid., 1998, p.170, grifo e destaque em negrito nosso)

Destacamos que neste trecho o autor apresenta algumas de suas posições relativas

à ciência, por exemplo, no primeiro trecho aponta para fato de que nem todo cientista utiliza jaleco, tal como dá indícios de que a Física é uma construção histórica ao frisar que havia várias pessoas vestidas de acordo com diferentes momentos históricos. Também, pode-se dizer que faz uma anedota com a questão das patentes, ao colocar que uma personagem caracterizada por um homem do período paleolítico carregava uma placa de patente registrada, referente à descoberta da roda. Ainda no intuito satírico, apresenta a relação da teoria de Isaac Newton com a questão da maçã.

Cabe aqui, entretanto, considerar que nem sempre discursos satíricos são assim compreendidos. Sabemos, por exemplo, que mesmo no meio acadêmico, alguns estudantes atribuem o trabalho de Newton à queda de uma maçã, assim a sátira pode causar uma certa confusão no discurso, quando o seu interlocutor não possui a mesma formação discursiva do autor.

Em uma de suas notas explicativas, o autor posiciona-se com relação à teoria quântica e à quebra de nossas expectativas. Destacamos que estas notas, segundo o autor em seu prefácio, são supostamente para serem lidas, mas que podem ser puladas, eventualmente se o leitor não se sentir muito interessado pela teoria. Ou seja, as notas, durante e ao final do capítulo são indicadas pelo autor como um olhar diferenciado, mais próximo a formação discursiva da Física, que é apresentado ao longo do mesmo e não influenciam na leitura da obra.

Esta nota, que destacamos abaixo, é sobre a atração do “Canhão Fotoelétrico”, seguida de uma nota explicando o efeito fotoelétrico descrito em 1905 por Albert Einstein.

A descrição quântica do mundo **não é aquilo que normalmente esperamos. A razão para acreditar nela é que suas previsões são confirmadas por resultados experimentais. É a única teoria** que oferece algum tipo de explicação para o comportamento da matéria em escala atômica, e o faz admiravelmente bem. (Ibid., 1998, p. 173, grifo e destaque em negrito nosso)

O autor afirma ser a “única teoria” que explica os fenômenos em escala atômica, ressaltamos ser a posição do autor, sendo esta a teoria hegemônica e mais popularizada. Porém, como ele apresenta no capítulo quatro, existem outras teorias circundantes, que ainda não puderam ser experimentalmente corroboradas ou refutadas.

Logo, Alice se depara com a atração do “Grande Paradoxus: Ação e medo à distância! Abaixo do cartaz, uma série de grandes pôsteres circundava a entrada do pavilhão: Extraordinariamente Impressionante! Paradoxalmente incompreensível! Radicalmente surpreendente!” (Ibid., 1998, p. 177). Assim a atração é introduzida no livro.

Logo, Alice por ser caracterizada como uma menina curiosa, juntamente com o

mecânico quântico, se dirige para dentro de um local com uma plataforma elevada. Começa com o apresentador “Paradoxus” propondo um primeiro experimento, que poderia ser descrito pelas ideias clássicas, tomando que o spin<sup>34</sup> inicial da partícula já estaria pré-determinado na emissão das partículas. O autor explica esta interpretação experimental com a indagação do mecânico clássico, como veremos mais detalhadamente a seguir, após analisarmos como o autor trata do tema nas notas explicativas ao final do capítulo, que neste caso, em especial, as notas tratam do paradoxo EPR.

Nas anotações é frisada a origem do paradoxo EPR, que os experimentos feitos posteriormente estavam de certa forma propostos no artigo de EPR de 1935. Nelas, também são detalhadas tentativas de teorização da quântica, por meio da lógica clássica, que não se sustentaram. Apresentamos aqui primeiro a descrição que o autor faz por meio das notas, depois retomamos como apresenta no decorrer da história da Alice.

1. Já houve muitas tentativas de montar um experimento que **colocasse em xeque as previsões mais extremas da Física quântica, mas, por enquanto, a mecânica quântica continua invicta**. Um exemplo disso é o experimento de Aspect para investigar uma forma do paradoxo Einstein-Podolsky-Rosen (EPR). Esse paradoxo tem várias formas, que **envolvem medições do spin das partículas**, essa estranha rotação quantizada possuída por partículas elementares tais como elétrons e fótons. O paradoxo trata do caso de **um sistema que não tem spin, mas que emite duas partículas que têm spin e que se deslocam em direções opostas**. As restrições da teoria quântica nos diz que a medida do spin de qualquer uma das partículas só pode ter um de dois valores: spin-para cima ou spin-para baixo. Se o sistema original não tem spin, os spins das duas partículas devem se compensar; quer dizer, se uma tem spin-para cima, a outra tem de ter spin-para baixo, para que a soma dos dois resulte em um spin total de valor zero. **Se nenhuma medição dos spins das partículas for feita, a mecânica quântica diz que elas estarão em uma superposição de estados spin para cima e spin-para baixo. Quando se faz a medida do spin de uma, naquele momento o spin passa a ser definitivo, ou para cima ou para baixo. Mas, ao mesmo tempo, o spin da outra partícula também passa a ser definitivo, pois os dois devem ser opostos. Isso funciona não importa qual a distância entre as duas partículas. Essa é a essência do paradoxo EPR.** (Ibid., 1998, p. 187, grifo e destaque em negrito nosso)

Nesta primeira nota, destacamos a posição do autor com relação à teoria quântica. Ou seja, a descreve como invicta ideia de vitoriosa. E, ao final da nota, descreve o seu entendimento do que foi proposto por EPR no artigo de 1935.

Na nota seguinte, o autor introduz o experimento de Alain Aspect, que evidenciou que ideias como o teorema Bell, que introduzem noções de variáveis ocultas que possibilitariam explicar parte do paradoxo EPR. Isto é, por meio delas poder-se-ia afirmar que os spins das partículas emitidas já estariam pré-determinados, assim não importaria nem

---

<sup>34</sup> Spin, apesar de ser uma noção muito utilizada entre os físicos, é uma noção bastante complexa e não há um consenso entre os físicos sobre o mesmo.

tempo, nem a posição que medisse os spins seriam os mesmos. Porém, com alguns cálculos os resultados medidos aproximam-se mais do previsto pela teoria da MQ que os previstos pelo teorema de Bell. Finaliza a nota, explicando o motivo deste fenômeno não entrar em choque com a teoria da relatividade restrita.

**2. Seria razoável explicar o paradoxo EPR dizendo que, de alguma forma, os spins são predeterminados desde o começo;** que, de alguma forma, as partículas sabem qual terá o spin-para cima e qual terá o spin-para baixo no momento em que forem emitidas. Nesse caso, não importa o quão distante tenham se deslocado, elas teriam de trazer as informações consigo. **Os limites das informações que as partículas podem estabelecer com antecedência estão considerados no teorema de Bell, que trata daquilo que acontece quando as medidas dos spins não são feitas ao longo de uma direção específica, mas sim em uma seleção de diferentes ângulos para as duas partículas. Os cálculos são muito sutis, mas o resultado é que, em alguns casos, a mecânica quântica prevê uma correlação maior entre as medidas das duas partículas do que qualquer informação prévia,** enviada junto com as partículas, sem conhecimento anterior das direções ao longo das quais os spins seriam medidos, poderia possibilitar. **Alain Aspect, em Paris, mediu esse efeito e descobriu que, como sempre, a mecânica quântica parece estar correta.** Aparentemente, existe o envolvimento de algum tipo de informação que **viaja mais rápido do que a velocidade da luz. O resultado de Aspect não contradiz diretamente o entendimento normal da teoria da relatividade especial de Einstein.** Essa teoria diz que nenhuma informação, nenhuma mensagem, pode viajar mais rápido do que a velocidade da luz. **O efeito considerado no paradoxo EPR não pode ser usado para o envio de mensagens.** Se fosse possível decidir se o spin a ser medido seria para cima ou para baixo, o spin oposto da outra partícula transmitiria a informação em um tipo de código Morse, mas isso é impossível. **Não há meios de se exercer qualquer tipo de controle sobre o resultado de uma medição em uma superposição de estados quânticos; o resultado é completamente aleatório e nenhum sinal pode ser imposto a ele.** (Ibid., 1998, p. 187-8, grifo e destaque em negrito nosso)

Ressaltamos que consideramos que as notas, devido a sua linguagem se aproximar mais da científica, são feitas para um público que já possui uma afinidade por Física. Buscamos a seguir compreender como ele apresenta o conceito do paradoxo EPR ao longo da história de Alice, juntamente conseguimos notar algumas posições do autor.

Alice e seu amigo se dirigiram a essa exibição e se uniram à multidão que fluía através da entrada. No lado de dentro havia um teto altíssimo, e, ao centro, uma plataforma elevada. Pequenas rampas em ambos os lados levavam às portas nas duas extremidades do pavilhão. Sobre cada rampa foi colocado um pequeno cilindro de metal com um topo pontudo e asinhas na base. Na plataforma central ficava o Grande Paradoxus, (...) [O Grande Paradoxus apresenta o experimento] "Esta noite planejo realizar um pequeno experimento sobre a redução de amplitudes, (...). Aqui, na plataforma ao meu lado (...) vocês estão vendo uma fonte de transições, transições que liberarão dois fótons em direções diametralmente opostas. Como sabem, se um de vocês medisse o spin dos fótons em uma direção de sua escolha, descobriria que seu spin é para cima ou para baixo, sem opção intermediária." **Alice não sabia disso (...) como todas as outras pessoas presentes balançavam a cabeça com um ar de entendimento, ela deduziu que ele deveria estar certo.** (Ibid., 1998, p. 177-8, grifo e destaque em negrito nosso)

Destacamos algo frequente que ocorre em situações de salas de aula, onde os alunos tomam como certo aquilo que o professor diz, além de muitas vezes, por inércia dos alunos ou por vergonha, não questionam, tal como a adolescente fez, seguiu o que a maioria fez.

Voltando à história,

"Como eu disse, se um de vocês medisse o spin, veria que ele é para cima ou para baixo. Mas, se você não o mede, haverá uma mistura, uma **superposição de estados** com diferentes direções para o spin. **Somente quando se faz uma medida do spin é que as amplitudes são reduzidas.** Uma será selecionada, e a outra não estará mais presente. Agora (...) a fonte que veem aqui faz suas transições a partir de estados que não têm nenhum spin, de modo que **a soma dos spins das duas partículas produzidas também deve ser zero.** (...) Mas, vejam bem, **a direção do spin dos fótons só é selecionada a partir da superposição de estados quando uma medida é realizada — isso é de conhecimento de todos.** (...) quando uma medida é feita em um fóton e descobrimos que, digamos, ele tem um spin-para cima, a superposição de amplitudes para esse fóton será reduzida ao estado apropriado. "Contudo", (...) "a superposição para o outro fóton deve também ser reduzida, pois nós sabemos que ele deve ter um spin contrário ao anterior. Isso deve acontecer, **não importa quão distante os dois fótons estejam** naquele momento, mesmo que tenham chegado em diferentes estrelas no céu. (...) (Ibid., 1998, p. 178, grifo e destaque em negrito nosso)

Neste trecho da obra, notamos que o autor utiliza a noção de sobreposição de estados e de não localidade das partículas. Sobre a sobreposição, ele diz explicitamente, os fótons estariam em sobreposição de estados. Com relação a não localidade da partícula, apresenta de maneira implícita, dizendo que redução dos estados quânticos ocorreriam independente da distância que as partículas se encontrassem. Também, descreve a importância do experimento para fragmentação da realidade quântica, ou seja, por meio da introdução de uma observação os estados quânticos são reduzidos. Destacamos que o autor diz para “ver a nota 1 no final do capítulo”, pois ali explicará melhor as ideias Físicas às quais se refere, destacadas anteriormente por nós.

Em seguida desta nota, retoma a história, na qual “O Grande Paradoxus” busca por ajudantes para fazerem as medidas. Em uma analogia com a semelhança dos fótons, o autor coloca que os responsáveis por esta medida serão dois gêmeos. Embora o autor destaque que eles não eram idênticos, porque somente as partículas são completamente iguais, afirma que eram bem parecidos. Descreve também o caráter destes personagens, mostra, assim, que não seria um experimento manipulado, os dados obtidos seriam de total confiança, já que ninguém cogitaria discordar deles. Sendo assim, o Paradoxus deu um instrumento, polarímetro, utilizado para medir a direção dos spins das partículas. Para averiguarem se o instrumento estava em ordem, eles desmontam e remontam o aparelho, conferindo que estava tudo certo. O autor coloca duas ajudantes formosas, embora não lhes dê muito destaque.

Pensamos na ideia que temos dos programas de auditórios e de apresentação de mágicas, onde sempre há ajudantes formosas, em geral mulheres.

(...) [Após os voluntários entrarem nos cilindros] As assistentes fecharam as portas, acenderam os pavios na parte de trás dos cilindros, e logo se afastaram. Com um estrondo, os dois compactos foguetes dispararam pelas rampas, passaram pelas portas nos lados do pavilhão e sumiram no horizonte, em direção a opostos extremos do País do Quantum.

"E agora vamos esperar que eles voltem", disse Paradoxus. "Assim que estiverem em posição, cada um deles enviará uma mensagem através deste fio de telégrafo." Ele mostrou dois sinos colocados sobre duas mesinhas, um em cada lado da plataforma. Todos olharam para os sinos, esperando que eles tocassem, dando o sinal de que o show poderia continuar. Foi uma longa espera.

**"Todo mundo aqui é tão paciente!"**, observou Alice, que estava começando a ficar inquieta.

"Precisam ser", respondeu o Mecânico Quântico. **"Todos os cientistas experimentais aprendem a ter paciência.** (Ibid., 1998, p. 179, grifo e destaque em negrito nosso)

Salientamos aqui noções do autor sobre a Física experimental, ser uma Física demorada e que requer paciência, configurada de maneira distinta de como nossa sociedade vem se desenvolvendo, na qual "tempo é dinheiro". E também no dinamismo virtual e digital, em que a aquisição informacional e a simultaneidade dos fatos tornam-se estruturantes da nossa cultura.

Retomando a história,

Passado algum tempo, (...) e, pela porta em um dos lados do pavilhão, entrou um pombo-correio, que foi pego com perfeição por uma das assistentes. Não muito tempo depois, um pombo chegou pela outra porta, e as mensagens trazidas pelos dois puderam ser comparadas. Paradoxus exibiu as duas mensagens, que mostravam uma perfeita correlação com um fóton spin-para cima indo para um lado, invariavelmente acompanhado por uma versão spin-para baixo detectada no outro, apesar dos dois detectores estarem separados demais para terem tempo de trocar qualquer informação.

"Isso não é mistério nenhum!", gritou alguém da plateia. A voz tinha vindo de um homem alto que Alice não conseguiu ver direito, mas que se parecia bastante com o **Mecânico Clássico**. "É óbvio", ele continuou, "que **os fótons não são de fato completamente incertos, se são realmente spin-para cima ou spin-para baixo ao deixarem a fonte.** De alguma forma, eles sabem o que serão e sabem também que cada dois deles devem ser opostos um ao outro. **Não importa quanto tempo esperem até serem detectados; eles serão encontrados com a mesma direção de spin que já tinha sido estabelecida na hora em que foram emitidos.**" (Ibid., 1998, p. 180, grifo e destaque em negrito nosso)

Após a proposição do paradoxo EPR, como o autor marca, com a presença do Mecânico Clássico, alguns físicos buscaram outras explicações que não a teoria da MQ dentro do racionalismo clássico para explicar a Física quântica. Contudo, novo experimento foi proposto, que no livro é apresentado como uma generalização do experimento anterior, que

permitia ao Mecânico Clássico dizer que os spins estavam pré-determinados ao serem emitidos.

"Parece **um argumento bem razoável**, não parece?", sorriu o apresentador, sem demonstrar estar vencido. **"Teremos de ampliar um pouco nossa demonstração. Você diz que já teriam decidido na hora da emissão** se os fótons seriam spin-para cima ou spin-para baixo e que eles levam essa informação consigo enquanto se deslocam. O que aconteceria se nossos observadores fossem **medir o spin em outras direções, digamos, para a direita ou para a esquerda, ou em algum ângulo intermediário?** E o que aconteceria se **nossos observadores girassem seus polarímetros quando tivessem vontade, sem se reportarem a nós nem se comunicando entre si?** Seria possível para a fonte saber com antecedência qual informação deveria ser transmitida para as partículas para que seus spins se correspondessem adequadamente, não importando os ângulos que nossos amigos escolheram para tomar suas medidas? Acho que não!" (Ibid., 1998, p. 180-1, grifo e destaque em negrito nosso)

Neste trecho é descrito como se evitaria que a suposição de que as partículas já teriam o spin pré-determinados em suas emissões. Também, destacamos que o autor apresenta que a ciência é um processo em construção e debate, em que os cientistas chegam com novas propostas e questões, abrindo margens a novas interpretações e buscando modelos e teorias que melhor os reflitam. Assim, prossegue com a descrição dos resultados obtidos no segundo experimento.

Ele rapidamente escreveu novas instruções para os observadores, prendeu às pernas dos pombos e os mandou de volta. Após uma pausa, (...) com um floreio, ele abriu as janelas da fonte central e deixou que os fótons saíssem. Após um determinado tempo, (...) os dois foguetes vieram voando através das portas do pavilhão e pousaram nas rampas de onde tinham decolado. Enquanto os dois cilindros ainda soltavam fumaça, as portas se abriram e de cada veículo saiu um observador, ainda de cartola. Ambos marcharam até o apresentador, tiraram os chapéus, cumprimentaram-no e entregaram suas anotações. (...) Houve uma tremenda confusão de discussões e disputas, e todos começaram a fazer suas próprias contas. **Alice viu pessoas com pequenos computadores portáteis, calculadoras eletrônicas e régua de cálculo. Ela também viu uma pessoa com uma calculadora estranhíssima que tinha conjuntos de engrenagens. Os chineses que ela tinha observado antes tinham um ábaco cada um, e seus dedos ágeis moviam as contas para lá e para cá ao longo dos arames, rápido demais para que os olhos de Alice pudessem acompanhar. Mesmo o cavalheiro cabeludo que vestia peles de animais estava empenhado. Ele havia abandonado sua roda e realizava um complicado procedimento com pequenas pilhas de ossos.** (Ibid., 1998, p. 181, grifo e destaque em negrito nosso)

Aqui destacamos que o autor traz diferentes instrumentos de cálculo, trazendo um pouco de história da ciência. Também, mostra a importância do paradoxo EPR para a Física, caracterizado pelo cavalheiro cabeludo. Destaque para a importância do diálogo entre experimento e teoria, Física teórica e experimental.

**Finalmente, os grupos em discussão se acalmaram e chegaram a uma conclusão comum.** Era verdade, disseram, **que havia uma concordância inexplicável entre as direções dos spins dos dois fótons. Mesmo quando mudanças arbitrárias eram feitas na direção** ao longo da qual os dois spins eram medidos, as correlações observadas eram maiores do que se poderia explicar por qualquer informação enviada junto com as partículas. Estava tudo muito claro, eles concordaram; **na verdade, estava claro como cristal. Não parecia tão claro assim para Alice, mas, se todos concordavam, ela supôs que deveria estar correto.** (Ibid., 1998, p. 181, grifo e destaque em negrito nosso)

Frisamos que mesmo entre alguns físicos o debate ainda está em aberto. Então os resultados obtidos por Alain Aspect para eles não são tão claros. Porém, consideramos que a posição de Alice é muito similar do que acontece em situações gerais da vida, que as pessoas, aparentemente, têm dificuldade de se posicionar contrárias à maioria e/ou apresentar questões. Por fim, o autor conclui a parte do paradoxo EPR com a fala do Mecânico Quântico, mostrando que estes resultados trouxeram uma nova perspectiva para natureza quântica.

(...) [Mecânico Quântico diz] "É a prova de que o comportamento da função de onda em lugares diversos não pode ser causado por mensagens enviadas de uma posição à outra. Simplesmente não há tempo para isso. **É o desvelamento de um aspecto totalmente novo da natureza quântica.**" tinha ficado sentada é esperando por tempo demais e que queria mais ação. Então, eles saíram do pavilhão para dar uma olhada nos brinquedos da feira. (Ibid., 1998, p. 182, grifo e destaque em negrito nosso)

Aqui é introduzida a segunda nota, que anteriormente já apresentamos. Seria sobre o experimento de Alain Aspect. Em seguida, Alice, inquieta com toda esta demora experimental, decide ir para uma atração que fosse mais ativa, e eles foram parar em um acelerador de partículas. Logo, o Mecânico Quântico diz que ela teria que se comportar como uma partícula. Neste trecho, o autor não diz se tratar de acelerador de partículas, mas associa diretamente ao CERN, local em que ele trabalhou. Na nota explicativa, é que descreve como um acelerador de partículas e dá maiores detalhes de como funciona.

E, assim, por fim, Alice retorna ao sofá em sua casa. E fica em aberto se toda a história do livro foi um sonho de Alice ou se ela realmente esteve no país do quantum, tal como ocorre com a "Alice no país das Maravilhas", de Lewis Carroll (2010).

### 3 APOIO TEÓRICO-METODOLÓGICO, RECURSOS E CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO

#### 3.1 Análise de discurso

Nosso apoio teórico-metodológico fundamenta-se em noções da análise de discurso (AD), na vertente francesa originada principalmente por Michel Pêcheux. Nessa corrente teórico-metodológica, apoiamo-nos, especialmente, nas obras de Eni Orlandi, uma das autoras brasileiras que têm estudado e desenvolvido trabalhos neste campo do conhecimento.

Nessa perspectiva, entende-se que a linguagem não é somente suporte do pensamento e nem é apenas um meio de comunicação. Isto é, a linguagem é uma “[...]mediação necessária entre o homem e a realidade natural e social. Essa mediação, que é o discurso, torna possível tanto a permanência e a continuidade quanto o deslocamento e a transformação do homem e da realidade em *que ele vive*.” (ORLANDI, 2012, p. 15)

Com o nosso foco em compreender o processo interpretativo dos alunos de EM, apreendemos as suas histórias enquanto fatos a serem significados, não como uma sucessão cronológica de acontecimentos. Assim, por meio da língua, possibilitamos que a história passe a ser um processo interpretativo. (HENRY, 1994 apud ORLANDI, 1996).

Os sentidos que estabelecemos, logo, nossas interpretações, dependem das condições de produção, na perspectiva da AD. Devemos considerar as condições de produção imediata, mas também, devem ser consideradas as condições sócio históricas. Destacamos que as primeiras em geral são únicas consideradas no ensino escolar, pois incluem todo um entorno que desencadeia as atividades e leituras, como os diálogos estabelecidos, o tempo de realização da atividade, importância da atividade na vida acadêmica/escolar etc.

Ainda na perspectiva da AD, o sujeito se produz e produz sentidos, o ser humano enquanto sujeito do discurso, produz e se produz em suas interpretações. Os alunos, enquanto sujeitos em formação – como todos os seres humanos – estabelecem suas identidades na constituição de sentidos que estabelecem por meio do processo interpretativo. Na interpretação, acabamos retomando o já dito. A nossa realidade imaginária se forma no processo de esquecimento ocasionado pelo mecanismo do inconsciente do sujeito, a ideologia. (ORLANDI apud FÁVARO, 2012)

Logo, para compreender processos interpretativos, tomamos como base que estes dependem das

[...] condições de produção específicas, que, no entanto, aparecem como universais, eternas. É a ideologia que produz o efeito da evidência, e da unidade, sustentando-se

sobre o já-dito, os sentidos institucionalizados, admitidos como "naturais". Pela ideologia se naturaliza o que é produzido pela história; há transposição de certas formas materiais em outras. Há simulação (e não ocultação de conteúdos) em que são construídas transparências (como se a linguagem não tivesse sua materialidade, sua opacidade) para serem interpretadas por determinações históricas que aparecem como evidências empíricas. (Ibid., 1994, p. 57)

Entendemos que os acontecimentos materializados no discurso são fatos históricos, que podem ser apreendidos pelo discurso. Portanto, entender a historicidade dos sentidos é pensar não em uma determinação cronológica, mas como filiação que se produz, ou seja, “[...] *os modos como os sentidos são produzidos e circulam.*” (Ibid., 1994, p. 58)

Os sentidos são estabelecidos na relação entre acontecimento e estrutura. Além de serem elaborados pelo sujeito, que se produz ao produzir sentido. (Ibid., 1996). O sujeito sempre busca o sentido, o significado – o real - das relações simbólicas, interpreta seu entorno. Relaciona suas memórias com o objeto simbólico e estabelece dizeres. A necessidade de dizer está nos múltiplos sentidos que se criam. Assim, a polissemia da língua é condição de existência da mesma.

Além disso, os múltiplos sentidos abrem espaço para equívocos, ou seja, esta relação entre o discurso e a história permite que ocorram falhas. E, ao mesmo tempo, é este processo que admite o movimento dos discursos e dos sujeitos. Portanto, “(...) *não há discurso que não se relacione com outros (...) os sentidos resultam de relações (...). Não há desse modo, começo absoluto nem ponto final para o discurso. Um dizer tem relação com outros dizeres realizados, imaginados ou possíveis*” (Ibid., 2005, p. 39).

Há um silenciamento necessário e inconsciente que se define pela ilusão de que o sentido do discurso nasce e se constrói no texto/fala. Desse processo, resultam as repetições, em que se constrói um regime de anonimato e universalidade de sentidos, como se eles não tivessem história. Porém uma palavra só terá sentido se já tiver sentido a priori, ou seja, precisa que faça parte da memória discursiva (interdiscurso), assim toda fala/texto é um processo constituído pelo dito e pelo silenciado.

Neste processo de silenciamento necessário, Orlandi (1996) constrói sua noção de repetição. A noção de repetição assume a ideia de que obrigatoriamente “(...) *todo discurso remete a outro discurso [...]*” (Ibid., 1996, p. 57), que pode estar presente, explicitamente – dito – ou ausente, implicitamente – não dito. Só nesta relação – interdiscurso – que os sentidos são estabelecidos, apenas aí o discurso estabelece uma realidade significativa. Cada sujeito faz a sua relação com base em sua memória e relação com o ambiente, que diferem com relação às condições de produção.

A autora divide a noção de repetição em três categorias, como já explicitamos

anteriormente, que são: empírica, repetição mnemônica; formal, repete, mas é transformada por trabalhar com as palavras, “dizer com as suas próprias palavras” – segundo Orlandi (1998) é a repetição fomentada na escola; histórica, quando o sujeito relaciona o seu discurso associado com sua memória discursiva.

Utilizamos esta noção de repetição como dispositivo analítico, pois queríamos compreender como alunos de EM produziam sentidos em dadas condições de produção, que estabelecemos no trabalho sobre o paradoxo EPR, com base em leituras de textos narrativos.

O processo de silenciamento é induzido pela ideologia, que são mecanismos do inconsciente, ou seja, a ideologia “[...] não é “x”, mas o mecanismo de produzir “x”. “No espaço que vai da constituição dos sentidos (o interdiscurso) à sua formulação (o intradiscurso) intervêm a ideologia e os efeitos imaginários.”(Ibid., 1994, p.57). Em outras palavras (...) a ideologia é vista como o imaginário que medeia a relação do sujeito com suas condições de existência. ” Com isso, “[...] relação [do sujeito] com o mundo é constituída pela ideologia. (...)” (Ibid.,1994, p 58 )

Sintetizando como compreendemos ideologia dentro desta vertente da AD:

A ideologia, por sua vez, não é vista aqui como conjunto de representações nem como ocultação da realidade. Enquanto prática significativa, discursiva, ela aparece como efeito da relação necessária do sujeito com a língua e com a história, para que signifique. Ideologia e inconsciente, na análise de discurso, estão materialmente ligados. A interpelação do indivíduo em sujeito, pela ideologia, traz necessariamente o apagamento da inscrição da língua na história para que ela signifique. O efeito é o da evidência do sentido (o sentido-lá), e a impressão do sujeito como origem do que diz. (Ibid., p 58)

Ainda com relação à ideologia, podemos dizer que, segundo a autora, é uma condição para que o sujeito, por intermédio da linguagem, estabeleça relação com o mundo. Este processo resulta no discurso, em que o sujeito apreende e estabelece relação no mundo. Enquanto o analista buscará compreender a construção discursiva dos sujeitos.

Segundo Orlandi (1994), esta construção discursiva depende do modo como o sujeito se posiciona e como estabelece sentidos. Ou seja, uma palavra por si não tem sentido, precisa de textualidade para produzir sentido. A textualidade da palavra está no interdiscurso que o sujeito, por meio de suas formações discursivas, estabelece. Em outras palavras, a textualidade está na relação com a exterioridade, com relação da realidade discursiva. Assim, mesmas palavras podem ter diferentes significados dependendo de sua textualidade, sua relação discursiva com a exterioridade.

Ainda com base nessa autora, do ponto de vista do sujeito, este se estabelece enquanto sujeito e só se identifica, determinando sua posição discursiva. Por isso, o sujeito

aqui é entendido como posição, a qual não lhe é acessível, isto é, não possui acesso direto a ela. Pois, o sujeito não tem acesso à exterioridade que o constitui. Porém, essa posição não é entendida como um “lugar” subjetivo.

Na AD, entende-se o sujeito enquanto sujeito discursivo que se produz na materialidade da língua e da história, se diferenciando do abstrato e do empírico. Assim, como a língua, é entendida na sua materialidade diferenciando-se da língua empírica – completude textual – e da abstrata – transparente e unicidade de sentido.

Na materialidade da língua entendemos que essa não é transparente, tampouco que há um único sentido. Pois, há mecanismos inconscientes que produzem um silenciamento necessário, que constroem o ideal de língua unilateral e transparente.

Esse é silenciamento necessário, inconsciente, constitutivo para que o sujeito estabeleça sua posição, o lugar de seu dizer possível. Dessa ilusão resulta o movimento da identidade e o movimento dos sentidos: eles não retornam apenas, eles se transformam, eles deslocam seu lugar na rede de filiações históricas, eles se projetam em novos sentidos. (Ibid.,1996, p 71 e 72)

Importante dizer que a AD, embora trabalhe com a relação entre texto e história, não toma o texto enquanto documento, nem a história enquanto datas. Toma o texto enquanto um discurso, um fato com historicidade, um objeto simbólico. Ou seja, passa-se assim a definir o objeto de estudo da AD como o discurso, que se faz na relação entre o texto e sua exterioridade, logo o discurso é constituído na materialidade entre o social e o linguístico, porém não na somatória dos dois, mas, na relação conjuntural entre social e linguístico.

Na AD os processos são silenciados pelos mecanismos ideológicos do inconsciente, abrindo espaços para os equívocos discursivos. Pois, para que “[...] a língua faça sentido é preciso que a história intervenha. E com ela o equívoco, a ambiguidade, a opacidade, a espessura material do *significante*” (...) (Ibid., p. 67). Se a história é responsável por dar sentido à língua, esta é responsável por dar sentido à história, de maneira que o discurso se constrói nesse processo dual de sentidos.

[...] O real, nessa perspectiva que proponho, é função das determinações históricas que constituem as condições de produção materiais e a realidade é a relação imaginária dos sujeitos com essas determinações tal como elas se apresentam no discurso, num processo de significação para o sujeito constituído ideologicamente pelos esquecimentos. Estes esquecimentos resultam na sensação de que ele é a origem do sentido e na impressão de realidade do pensamento (Ibid., 1995, p. 31)

O discurso é construído em uma relação de projeção entre sujeito de discurso e interlocutor. Ambos se inserem em formações discursivas, definidas pelo social, que

[...] não são os traços sociológicos empíricos — classe social, idade, sexo, profissão — mas as formações imaginárias que se constituem a partir das relações sociais que funcionam no discurso: a imagem que se faz de um pai, de um operário, de um presidente, etc. Há em toda língua mecanismos de projeção que permitem passar da

situação sociologicamente descritível para a posição dos sujeitos discursivamente significativa. (Ibid., 1994, p. 56)

Com relação ao sujeito,

Abandona-se assim, na análise de discurso, a noção psicológica de sujeito, empiricamente coincidente consigo mesmo. O sujeito só tem acesso a parte do que diz. Ele é estruturalmente dividido, desde sua constituição. A falta o constitui. Ou, como diz Pêcheux (1975), é preciso que ele se despossua para possuir (linguagem). Não é o caso do sujeito psicológico, o das intenções. (Ibid., 1996, p. 28)

Em outras palavras, o sujeito se constitui pela ideologia – mecanismo do inconsciente - a ideologia se materializa no discurso que tem sua materialidade na língua, logo o sujeito só cria sentido à língua por meio da ideologia, sendo essa responsável pelo silenciamento necessário. A ideologia aqui é entendida como relação necessária entre a linguagem e o mundo.

Como todo ser humano busca o sentido dos objetos simbólicos, a ideologia forma-se neste processo ilusório que se constrói na elaboração do discurso, no qual tudo que precisa ser dito, está sendo dito e logo, o sentido é único.

Como diz Vignaux (1979), o discurso não tem como função constituir a representação de uma realidade. No entanto, ele funciona de modo a assegurar a permanência de uma certa representação. Para isso, diríamos, há na base de todo discurso um projeto totalizante do sujeito, projeto que o converte em autor. O autor é o lugar em que se realiza esse projeto totalizante, o lugar em que se constrói a unidade do sujeito. Como o lugar da unidade é o texto, o sujeito se constitui como autor ao constituir o texto em sua unidade, com sua coerência e completude. Coerência e completude imaginárias. (Ibid., 2005, p. 73)

Não podemos falar assim em uma transmissão de informação, nem de linearidade na comunicação, como se fosse um processo em série: alguém diz algo e outro capta a mensagem, decodificando em um processo mecânico. Não há um processo sequencial, nem estão separados, pois ambos estão ao mesmo tempo significando e criando discursos. “[...] As relações de linguagem são relações de sujeitos e de sentidos e seus efeitos são múltiplos e variados. Daí a definição de discurso: o discurso é efeito de sentidos entre locutores”. (Ibid., p. 21)

Na AD, elaborar sentido não se resume a decodificar discursos (analfabetismo funcional), mas relacionar com a sua exterioridade, elaborar interdiscursos.

O sentido, diz Pêcheux (1975), é sempre uma palavra, uma expressão, uma proposição, por outra palavra, expressão ou proposição; e esse relacionamento, essa superposição, essa transferência (meta-phora), pela qual elementos significantes passam a se confrontar, de modo que se “revestem de sentido”, não poderia ser pré-determinada por propriedades da língua (por exemplo, ligações “lingüísticas” entre sintaxe e léxico); isso seria justamente admitir que os elementos significantes já estão, enquanto tais, dotados de sentido. (Ibid., p. 29)

Dentro deste contexto, podemos afirmar que para a língua ter significado precisa da história, assim como essa leva significado à história. Assim, o sentido é estabelecido entre língua, sujeito e história. Em outras palavras: “É o gesto de interpretação (Ibid., 1995) que realiza essa relação do sujeito com a língua. Esta é a marca da subjetivação e, ao mesmo tempo, o traço da relação da língua com a exterioridade”. (Ibid., 1996, p.28)

Ou seja, para produzirmos sentidos precisamos relacionar com a memória, aqui se estabelece o discurso. Podemos distinguir dois tipos de memória, a coletiva, que consta em documentos, arquivos, exterior ao sujeito, e a memória individual. Isto é, assim como cada sujeito estabelece um sentido para o objeto simbólico, há os sentidos institucionais. Por exemplo, dentro da ciência existem sentidos aceitos e sentidos não aceitos.

A instância das intenções - que é do nível da formulação - já está determinada ao nível da constituição do discurso em que as posições são definidas pela relação desigual e contraditória entre formações discursivas. O que significa dizer que as intenções são já o produto de processos significativos que são ideológicos e aos quais o sujeito não tem acesso direto. As filiações ideológicas já estão definidas e o jogo da argumentação não afeta as posições do sujeito, ao contrário, deriva delas. (Ibid., p. 32)

Portanto, os discursos são constituídos na memória, nos já ditos ou nos possíveis dizeres, na relação com a exterioridade – historicidade.

[...] a memória é linguístico-histórica. Esquece assim que não é pela soma de situações enunciativas particulares que se constitui o sentido. É preciso, segundo a análise de discurso, que as enunciações passem para o anonimato para que se institua o sentido, o efeito de literalidade. Essa passagem para o anonimato é justamente o trabalho imaginário da história no processo enunciativo (Ibid., p. 28/29)

Por sua vez, não podemos reduzir os discursos ao enunciado, tampouco ao texto, pois o discurso é a relação, texto/historicidade, não podendo se anular a incompletude da língua. Assim, o discurso é resultado da interação entre interlocutores. A exterioridade de que trata a AD não reside fora da linguagem, é uma exterioridade discursiva, feita no interdiscurso. Logo, segundo essa filiação, a exterioridade discursiva é definida na objetividade material contraditória, em que sempre houve um dizer antes dado por significações experimentadas pelos sujeitos.

Essa teoria trabalha na direção de não buscar o sentido verdadeiro da interpretação, mas as possíveis interpretações que um discurso pode produzir que apesar de múltiplas, não são irrestritas. Busca entender como os discursos se articulam com as condições de produção em que eles foram elaborados. Sendo assim, o analista para compreender recorre a um dispositivo teórico e um dispositivo analítico, que é mutável, em função do que busca responder com a sua pesquisa. Possibilita, assim, que um mesmo analista

produza diferentes análises de um mesmo discurso.

Com o foco de compreender o funcionamento de um discurso, o analista cria um dispositivo analítico, não para neutralizar sua posição, mas buscando evidenciar a opacidade do discurso. Ele precisa ir além da onipotência do sujeito, abrir-se à falha do discurso em sua materialidade. Para isso, deve introduzir os diferentes gestos de interpretação que um mesmo discurso pode apresentar, segundo Orlandi (2005).

O analista busca ir além das leituras superficiais, se proporciona a “escutar” os múltiplos sentidos do discurso. Busca nas margens do dizer do discurso, busca o dito e o não dito. A construção do dispositivo permite que o analista crie o processo de alteridade do cientista, pois se abre para as outras leituras que o discurso produz, portanto deixa o lugar de leitor interpretativo e passa à posição de analista situante e compreensivo.

Com base na construção do dispositivo analítico, o analista se permite teorizar e descrever os efeitos de interpretação e se posicionar de maneira deslocada no processo de produção de sentidos. Entretanto, continua a se situar dentro da história, do simbólico e da ideologia. Pois, a ideologia é um mecanismo que se produz no inconsciente do sujeito e, todo sujeito se situa e pertence a um contexto sócio histórico.

O analista de discurso, tomando o discurso como efeito de sentidos entre locutores, vai trabalhar a relação da língua com a história que constituem, em seu conjunto e funcionamento, a ordem do discurso. Analisar é, então, compreender a ordem do discurso em questão (...) Distinguindo a formulação da constituição, a análise de discurso procura levar em conta os efeitos do imaginário. Nessa perspectiva, no nível da formulação, o sujeito já tem sua posição determinada e ele está sob o efeito da ilusão subjetiva, afetado pela vontade da verdade, pelas suas intenções, pelas evidências do sentido. (Ibid., 1996, p.32)

Pensando sobre nossa função aqui, dentro da postura de Orlandi (2005), o analista do discurso não se isenta, mas se faz e se assume como sujeito do discurso e evidencia que a sua é apenas uma das possíveis análises do discurso em questão. Assim, o analista precisa estabelecer um corpus de análise, que é estabelecido pela seleção do texto a ser analisado. Parte da ideia de que o corpus é uma unidade, que será o ponto de partida da sua análise. Por sua vez, embora o analista assuma o corpus como a unidade a ser analisada, deve ter por base que não é uma unidade completa, nem fechada em si, pois ele compõe discursos.

Nessa passagem, em que se abandona a separação forma/conteúdo, deixa-se a oposição empírico/abstrato passando a se considerar a forma material, em que o sentido não é conteúdo, a língua só é relativamente autônoma, a história não é contexto e o sujeito não é origem de si. [...] Primeiro passo para se compreender que a língua é capaz de poesia (Milner, 1978) e que o inconsciente não é o domínio do pensamento (Pêcheux, 1994). O que me leva a acrescentar: e que a ideologia não é um defeito dos que não têm consciência. Ela é uma necessidade da relação do sujeito com os sentidos, ou do mundo com a linguagem. (Ibid., 1996, p.29)

### 3.2 Os autores

Dentro da perspectiva da AD pechetiana, nosso apoio teórico-metodológico, o discurso se faz no sujeito e constrói o sujeito (ORLANDI, 2007). Com base nesta ideia, para compreender o discurso de Bruce (2001) e Gilmore (1998) e a estrutura de suas obras, apresentamos uma breve bibliografia, que nos pôde ajudar a fazer suposições sobre de onde os autores falam e para quem falam.

Nessa breve introdução sobre os autores, analisamos as formações discursivas deles e quem são supostamente seus leitores imaginários, a quem se dirigem na obra. Buscamos compreender o contexto em que eles se situam para construção de seus dizeres sobre a temática do paradoxo EPR. E procuramos compreender como as ideias se articulam em suas obras.

Inicialmente, tratamos do autor Colin Bruce, nascido na Inglaterra, durante a Guerra Fria, meados da década de 1950. Atualmente, é um amante da ciência, tem uma website<sup>35</sup> que denominou como blog. Nesta página da web, o autor escreve sobre diferentes temas da ciência e das políticas científicas. Sua última publicação foi em maio de 2015.

Em seu blog, destinou uma parte à sua trajetória científica e seu posicionamento sobre a ciência. Para isso, escreveu uma pequena autobiografia. Tomando-a como base, notamos que ele tem dois títulos de bacharel pela universidade Sussex, em Física matemática e em computação. Primeiramente, graduou-se em Física, porém na década de 1970, ao ter classes avançadas com professores pós-graduandos que o desmotivaram, começou a trabalhar em uma companhia de computação. Se sentindo frustrado com a Física, decide estudar computação.

Permaneceu ativo no mercado de trabalho de computação até meados da década de 1980, quando resolveu parar de trabalhar em companhias multinacionais e desenvolver seus próprios softwares. Neste período, seu interesse pela ciência voltou e decidiu publicar seu primeiro artigo voltado à DC, no qual tentava explicar o paradoxo central da Física quântica, sem um alto grau de complexidade de linguagem matemática. Após esta publicação, se entusiasmou com a DC, e publicou três livros no mesmo tipo discursivo, porém adotou, como personagens centrais de suas histórias, personagens de criação de Arthur Conan Doyle.

Neste mesmo período, retornou ao trabalho universitário ao ser contratado para uma pesquisa envolvendo a Universidade de Londres e a agência espacial europeia. E, para

---

<sup>35</sup> <http://www.colinbruce.org/>

uma pesquisa para o Ministério da Defesa do Reino Unido. Em suas publicações na sua página da internet, mostra-se que está contente com sua posição dentro da ciência. Embora, em suas palavras:

Atualmente, estou em uma boa posição que eu posso certamente fazer o que eu gosto. Eu realizei que eu amo a ciência – mas não os “covardes que sacralizaram a ciência” e que acabaram com o esforço desta e quebraram com seu espírito. Tornei-me convencido de que a ciência perdeu seu rumo.

Há muitos elementos para se criticar, mas há alguns de longe que são mais construtivos para se fazer. Nós temos um vasto exército de “cientistas” medíocres que defendem o status quo em toda disciplina. Mas, todo processo justo também precisa de um júri para julgá-lo! Quem está lutando para fazer suas ideias certamente novas e potencialmente importantes serem ouvidas e não caídas no esquecimento?

Esta é a função que eu tenho. Isto não é popular, mas eu posso viver com isso. A proposta deste blog é denunciar as ideias que foram corrompidas – eles destruíram as pessoas com suficientes histórias imaginárias e pensamentos sem provas.<sup>36</sup> (BRUCE, 2014)

Nesta visão de ciência, que o autor apresenta em seu blog, observamos uma denúncia à ciência que está sendo produzida, mas também, uma crença de que haja uma ciência diferente.

Sobre o autor Robert Gilmore pouco encontramos de informação sobre sua carreira acadêmica, profissional e pessoal. Apenas que até a publicação de seu livro o “Mágico dos Quarks”, em 1999, trabalhava na Grã-Bretanha na Universidade de Bristol. Formou-se em Física e seguiu carreira em Física de partículas, trabalhou no Laboratório do CERN em Genebra, no Stanford Linear Accelerator Center, no Brookhaven National Laboratory. Nos anos de 1990 dedicou parte de sua carreira à publicação de livros de divulgação científica, baseados em narrativas de discurso ficcionais.

### 3.3 Condições de produção do ensino

A coleta de informações dessa pesquisa foi realizada na escola em que mantínhamos contato desde 2014, quando realizamos estágio em aulas de Física para o curso de graduação em Licenciatura em Física. Também estagiamos, com o mesmo professor, no primeiro semestre de 2016.

---

36 Tradução feita por nós: “*Nowadays I’m in the happy position that I can, to an extent, do what I like. I have realised that I do love science – but not the ‘sacred cowherds’ who have captured the endeavour and broken its spirit. I have become convinced that science has lost its way. There are many elements to criticise, but there’s something far more constructive to do. We have a vast army of often mediocre ‘scientists’ defending the status quo in every discipline. But any fair process also needs counsel for the prosecution! Who is fighting to make sure new and potentially important ideas are heard and not drowned out? That is the role I have taken. It’s not a popular one, but I can live with that. The purpose of this blog is to plug ideas which are ‘disruptive’ – sufficiently novel and thought-provoking that they upset people.*” (In: <http://www.colinbruce.org/> acessado 15 de maio de 2016 as 19h)

No estágio realizávamos observação de classe para apreendermos a dinâmica dos alunos e professor, além da prática pedagógica adotada por ele. Também, ajudávamos os discentes em caso de dificuldades com os exercícios propostos pelo docente.

No ano de 2014 solicitamos que, concomitante ao estágio, pudéssemos realizar uma atividade de leitura e “bate-papo” com os alunos sobre radiação ionizante. A atividade foi realizada com os alunos do primeiro ano do ensino médio, dado que o professor lecionava apenas nessas salas.

No ano de 2015 não realizamos atividades na escola. No ano de 2016 realizamos um estágio, no primeiro semestre, para o curso de Licenciatura em Física. Exclusivamente no segundo semestre do ano de 2016, começamos nossas atividades de pesquisa empírica para a dissertação.

Para essas atividades, similarmente aos estágios que fizemos, auxiliávamos os alunos na resolução dos exercícios propostos pelo professor. Nossa relação com ele e com os estudantes nos permitiu trocarmos diversas opiniões e pontos de vistas sobre diferentes temas.

Por exemplo, um estudante durante a aula de Física, após ter terminado a atividade proposta pelo professor, nos pediu ajuda em uma atividade de Filosofia, na qual deveria fazer uma pesquisa sobre um termo e não tinha conseguido encontrar na Internet.

### **3.3.1 A escola**

A unidade escolar em que a pesquisa foi realizada é classificada como itinerante, pois atende a alunos que não moram no bairro onde está localizada, mas, em bairros próximos. Ou seja, ela está entre vários bairros e localiza-se na região central do município de Campinas. É uma escola estadual, que tem horário de funcionamento do EM nos períodos matutino e noturno e, no vespertino o ensino fundamental I e II. Os alunos do EM que precisam de “reforço” por decisão da coordenação, fazem-no no período vespertino e assistem às aulas nas salas do fundamental II. Em geral, a decisão é de acordo com a matéria que lhes “falta”. E, caso algum aluno que não esteja de “recuperação” queira permanecer no período da tarde na escola, precisa de autorização da diretora ou coordenadora.

Observamos que geralmente as salas ficam trancadas nos períodos de intervalo e apenas os professores regulares, os inspetores e os funcionários da limpeza possuem a chave. Curiosamente a mesma chave abre todas as portas, que se trancam ao bater. Às vezes, os alunos tentam utilizar cartões para abrir as salas e entram. Algumas vezes não conseguem, outras conseguem, presenciemos ambas as situações.

As salas possuem uma lousa, dois ventiladores e carteiras com mesa e cadeira separadas, individuais. As janelas, pela altura que estão colocadas, permitem que a claridade do dia entre, mas não possibilitam que se veja o lado de fora da escola. São os professores que mudam de sala de aula, ou seja, cada turma tem todas as suas aulas em uma mesma sala. O giz e o apagador são individuais de cada professor.

Há um computador na sala dos professores, um na sala da coordenação e um na sala da direção. Não há mais cota de impressão para os professores, os quais se quiserem trabalhar com alguma atividade com texto por escrito devem trazê-la impressa de casa ou, então, escrevê-la na lousa.

Os professores se cotizaram para comprar o café e, em geral, como possuem boa relação entre si dividem seus lanches com os demais. Às vezes, um professor leva bolo para todos e o mesmo algumas vezes vende salgadinhos caseiros. Além disso, na quinta-feira, há uma feira nas proximidades da escola e as secretárias saem para comprar pastéis para os professores e cada professor paga os seus.

Sobre as atuais políticas do governo, segundo consta na página do web site da Secretaria da Educação do Estado de São Paulo, as escolas precisam de um Conselho Escolar, de forma que os representantes de cada setor envolvido na instituição de ensino são escolhidos por seus pares – alunos, pelos alunos; professores, pelos professores e assim por diante. Também, atualmente há políticas distintas relacionadas às faltas e à repetência dos alunos.

Com relação às faltas, atualmente todo aluno que tiver mais de 20% de presença, tem o direito a compensação de falta. O professor deve propor um trabalho para que o aluno possa recuperar a matéria que perdeu. Com relação à repetência, para todo aluno que repetir ou que suas notas forem abaixo de 2, sendo a nota máxima 10, a coordenação da escola, juntamente com o Conselho de Classe, deve apresentar à Secretaria da Educação uma justificativa da razão da repetência do aluno, se não quiser ser excluída do bônus (no salário dos professores, coordenadores e diretores da escola) que a escola recebe de acordo com o plano de metas da educação no Estado de São Paulo.

### **3.3.2 Os alunos do ensino médio**

Os alunos que participaram da pesquisa são oriundos das áreas circunvizinhas à escola. A maioria dos que estudam no período matutino e não trabalha e, após as aulas combina de ir a um parque, conhecido como Taquaral devido à sua localização no bairro do

Taquaral, ou realizar outras atividades. Muitos fazem técnico num colégio privado do município de Campinas. A maioria utiliza o meio de transporte público depois das aulas; apesar de alguns pais possuírem carros, estão trabalhando no horário de saída do colégio. A grande maioria dos estudantes possui “*smartphone*”, muitos escutam música durante as aulas e os colocam para carregar dentro da sala de aula.

Após o tornado que ocorreu em 2016 em Campinas e região, na escola fizeram campanha em prol dos alunos que tiveram danos materiais em suas casas.

### **3.3.3 Dinâmica da sala de aula**

Notamos nestes dois anos a falência cada vez maior do ensino público dentro da sala de aula. Isto é, a conduta da maioria dos alunos quando o professor passava atividades (exercícios ou cópia da lousa) era ficar escutando música ou conversando com os colegas, não prestava atenção e nem fazia a atividade. Segundo um aluno, ele só estudava para o terceiro e o quarto bimestres, até lá ia para escola para se socializar. Vale ressaltar que se os alunos tiverem progresso ao longo dos bimestres, mesmo que não atinjam a média 5 no quinto conceito (a média anual do aluno), o conselho o passa com 5, pois houve uma evolução conceitual.

O professor só chamava atenção da turma quando considerava que não conseguia dar aula por causa do barulho. Caso as conversas e a desatenção, aparentemente, não estivessem atrapalhando o rendimento da aula o professor apenas ignorava. Porém, em geral, os alunos o respeitavam, sem que ele tivesse que enviar alguém à coordenação. Também, possuía um combinado com as turmas, que apenas na segunda e na quarta aulas os alunos poderiam ir ao banheiro, ou no começo da terceira ou da sexta aula. Apesar disso ocorrer com poucos alunos, alguns competiam para ver quem tinha nota maior. A maioria queria apenas o 5 de média.

Importante destacar que alguns haviam prestado o vestibulinho do Colégio Técnico (COTUCA) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), antes e após o primeiro ano do EM, além de se sentirem muito pressionados com a questão da continuidade dos estudos e o que fazer quando graduados no EM.

Como estagiária e pesquisadora/professora, e não como professora, observamos que o desinteresse e o desrespeito dos alunos com os professores aumentaram neste período em que estivemos em sala de aula. Percebemos isso em falas de alunos ao final do ano em diálogos conosco, como: “o que vai me dar suspensão agora? O ano já acabou, dona.” ou “já

passsei, não farei a atividade.” Ou situações de guerrinhas de papéis, que solicitávamos que parassem e não paravam, nem ao menos olhavam para nós. Ou brigas dentro da sala de aula e discussões.

### **3.3.4 O professor de Física**

Acompanhamos as aulas do professor de Física em 2014 e 2016, tomamos conhecimento de algumas de suas opiniões e posições, sobre a escola e a política em geral, em especial a educacional. Ele defende que no EM os alunos deveriam selecionar que área cursar: como humanas, biológicas ou exatas; sobre a Progressão Continuada, apontou que isso faz os alunos chegarem sem nenhum conhecimento ao EM. Também acredita que nem todo mundo deveria estar na escola, pois há muitos alunos desinteressados.

Em conversas informais, nos disse que se formou no Rio de Janeiro, que possui doutorado em radiação médica e que trabalhou para um Centro de Pesquisa Nacional em Brasília, antes deste ter sido fechado. Assim, quando ficou desempregado, por sugestão de sua esposa, que também trabalha na rede pública de ensino, começou a carreira docente. Durante o ano de 2016, além de professor efetivo de Física nesta escola, trabalhava como consultor.

No ano de 2016, foi ele que nos contou, que devido à nova política do Estado, todo aluno que tiver 75% de presença ou mais, deve ter sua nota igual a 2 ou mais. Caso o professor ache que ele merece menos, a coordenação deve escrever uma carta para Diretoria de Ensino justificando a nota do aluno.

Também, nos contou sobre a maneira como o salário dos professores é composto. Eles recebem por hora aula dada e sem considerar o número de turmas, logo os professores de matemática e português podem ter cinco ou seis turmas e já preenchem as 40 horas. Os docentes que têm duas aulas por semana precisam de mais ou menos umas 20 turmas, o que implica mais atividade para elaborar e corrigir atividades. Esta ideia de salário por aula e número de turmas nos pareceu bastante plausível, pois nas horas de trabalho do professor deveriam ser consideradas horas em sala de aula e as horas para preparação das aulas.

O professor ainda nos contou que, para a disciplina de Física, ele não precisava elaborar a aula por entender que tem grande domínio do conteúdo devido a toda sua formação acadêmica, graduação, mestrado e doutorado na área de Física. Antes da aula olhava o livro didático de Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga, que ele adotou nos três anos do EM, e via o que apresentaria em aula, que exercício proporia aos alunos. Acrescentou que isso era diferente das aulas de matemática, que precisava estudar para elaborá-las.

No ano de 2016, o professor era responsável por todas as turmas de Física do EM no período matutino, sendo seis turmas de primeiro, cinco de segundo e seis de terceiro. Não possuía aulas duplas, apenas de 50 minutos. Tinha todos os horários preenchidos de manhã. Defende a ideia de que a Física se faz pela e na linguagem matemática e, em todas as suas aulas lembra isso aos alunos. E quando está resolvendo os exercícios propostos diz: “agora acabou a Física, é só matemática”.

Não obstante todas as questões e situações colocadas pelo professor, ele realizou atividades que considera interessantes, como a construção de motores elétricos com os alunos do terceiro ano do EM. Também, parece se motivar quando os alunos perguntam algo sobre Física, mesmo que não seja da matéria ministrada. Notamos essa atitude numa aula de segundo ano do EM, na qual os alunos estavam tendo óptica e perguntaram sobre cinemática. Ele tomou o livro de primeiro ano e explicou sem problemas ao grupo de estudantes que estava debatendo a questão, apesar de ter proposto alguns exercícios para serem resolvidos e os alunos não estarem trabalhando neles. Após essa situação, comentamos com o professor e ele se mostrou satisfeito pelos alunos estarem se questionando e discutindo uma questão de Física.

Também observamos uma posição crítica do professor com relação às palestras didáticas e à composição da nota. As palestras, em sua opinião, são perda de tempo. E as notas, a única que realmente conta é a prova, as demais ele dá, pois, a nota final deve ser composta por três notas no mínimo, segundo a Secretaria da Educação.

Em uma de suas aulas, após a prova e o “fechamento” das notas do bimestre, mostrou aos alunos que seu bimestre valia mais que 10 e continha três ou mais atividades que complementavam as notas do bimestre. As atividades para nota eram divididas em diferentes grupos, visto no caderno dos exercícios e anotações sobre a disciplina, a prova bimestral final, as atividades avaliativas pré-prova, relatório de laboratório e/ou trabalhos para pesquisarem em casa. Todas as atividades eram feitas com consulta ao caderno, inclusive as provas bimestrais. A prova valia 10 e os demais pontos, que utilizava para compor a média, eram extras, só com o visto no caderno o aluno já teria um ponto na média.

O professor também procurou passar noções de como a apresentação de trabalhos é importante. Para isto utilizou o exemplo do seu trabalho como consultor. Ou seja, como dava consultoria em geral com relação à logística e contratação, disse aos alunos que a apresentação do currículo contava muito, que muitas vezes, desclassificava o candidato por não apresentar um currículo de maneira decente – pasta, envelope - visto que em geral tinha

prazo para dar um retorno às empresas e analisar a quantidade de currículos que ele recebia era inviável. E, uma vez, resolveu olhar estes currículos que tinha posto de lado e realmente não havia nenhum bom, em sua opinião. Concluiu que os alunos não precisariam encadernar o relatório, mas apresentar de maneira legível.

Na prova, permitia o uso da calculadora normal ou do celular, os alunos optavam pelo último. Entretanto, notamos que o utilizavam não apenas como calculadora, mas para troca de informações entre eles. Todos os alunos precisavam fazer a prova antes do fechamento do bimestre. Sendo assim, os que faziam a prova nas aulas seguintes pediam ajuda aos discentes que já a haviam realizado.

Para conseguir fechar as médias antes da reunião do conselho, o professor faz as provas com duas semanas de antecedência. Assim, se algum aluno quiser reclamar da nota ou conferir, ou por ter perdido alguma avaliação, ainda tem tempo de repor.

Por exemplo, propõe pesquisa sobre um tema que estão estudando, como força ou cinemática, no primeiro ano. Também, durante este período apresenta aos alunos o que estarão estudando no bimestre seguinte. A introdução ao tema, parte teórica, é feita pela cópia do livro, para não tomar muito de seu tempo em aula e poder se focar mais nos exercícios.

Em algumas aulas, que fugiam ao modelo usual, o professor levou os alunos ao laboratório. Segundo ele, gostaria de trabalhar constantemente lá, mas não há possibilidade disso, apenas em alguns momentos.

Suas aulas seguem um padrão em geral de resolução de exercícios, os quais são similares aos que os alunos farão nas provas, apenas modifica os valores numéricos. Muitos alunos não copiam o que está escrito na lousa para o caderno e perdem um ponto no bimestre. Além de ficarem com o caderno incompleto para prova, que é com consulta apenas a ele.

As aulas começavam com a chamada, e, frequentemente, o professor a fazia pelo número dos alunos na lista de presença. Apenas quando eles não sabiam seu número, ele olhava para dizer o nome. Neste momento os estudantes estavam agitados, devido ao intervalo entre as aulas, tempo dos professores mudarem de sala, e, muitas vezes, não escutavam a chamada. Depois, reclamavam ou mostravam que estavam presentes e pediam para conferir sua presença. Em alguns casos em que eles estavam com falta, o professor revia e colocava uma marcação de que o discente estava presente, mas não respondeu chamada. Algumas vezes, os estudantes, ainda assim, ficavam descontentes, mas ele dizia que “era melhor que ficar com a ausência, mas podiam escolher entre um ou outro”.

Usualmente, depois da chamada, o professor passava de três a quatro exercícios da matéria que estava lecionando e dava um tempo para os alunos responderem sozinhos ou em grupos. E também auxiliava, caso tivessem dúvidas. Do meio para o final da aula passava a resolver os exercícios na lousa e a retomar as partes teóricas do livro que os estudantes deveriam fazer a cópia no caderno como tarefa do bimestre.

A escola não tinha preparo para atender alunos com necessidades especiais, que eram apenas inseridos na turma, sem acompanhante ou professores que lhes proporcionassem atividades diferenciadas. Eles progrediam pelos anos sem reprovações e sem “avaliações”. Convivemos com isso quando fizemos estágio pela primeira vez com este professor, nessa escola, não havendo estudantes especiais nas turmas em que aplicamos a UE.

### **3.3.5 Nossa participação nas aulas de Física**

Participamos das aulas de Física, geralmente, observando e anotando o conteúdo da matéria, bem como alguns comentários que considerávamos interessantes e importantes para entender melhor a escola e a dinâmica das aulas.

Além das observações, o professor, em geral, nos pedia para ajudá-lo com os alunos, nas dúvidas que tivessem durante a resolução de exercícios. Algumas vezes, ele pedia para que passássemos alguns exercícios na lousa, enquanto ia ajudar outro professor ou quando precisava ir à coordenação com algum aluno. Neste momento, era possível notar que os alunos não nos viam como uma autoridade, pois pedíamos para eles pararem de brigar e/ou “xingarem” simplesmente uns aos outros e eles davam uma risada em meio irônico, por nossa maneira de solicitar com “por favor [...]”.

Por outro lado, os alunos nos questionavam sobre a UNICAMP, por que escolhemos estudar Física, se gostávamos dessa disciplina, com tom de desprezo, se não era muito difícil, chata. Também, nos questionavam se queríamos ser professora.

Com relação ao professor, nossa relação era boa, primeiramente é importante destacar que ele se prontificou a nos ajudar. Trocávamos opiniões e ele nos contava sobre algumas políticas educacionais que conhecia. Conversamos sobre opiniões mais gerais sobre a educação e também sobre sua trajetória em sala de aula, que iniciou nos anos de 1990, quando o centro de pesquisa que trabalhava foi fechado por questões políticas. Então, como dissemos anteriormente, por sugestão de sua esposa entrou na rede estadual, conseguindo ser efetivado em Física. Também, nos disse que já havia tentado muito fazer algo diferente em aula, mas estava exausto pela falta de reconhecimento, especialmente, dos alunos.

### 3.3.6 As obras estudadas

Além de pensarmos nas condições escolares, temos que abordar como se dá a construção das obras que estudamos. A obra de Gilmore (1998) é uma narrativa fantástica de uma menina que devido ao tédio das férias acaba parando no país do quantum. Porém, quando os conceitos trabalhados na narração são fisicamente importantes para o autor, ele os coloca em nota de rodapé e quadros explicativos. E como ele afirma, se o leitor quiser pode não os ler.

Para o paradoxo EPR, Gilmore (1998) coloca uma nota ao final do capítulo explicando que foi um artigo que alguns cientistas escreveram contra a interpretação de MQ defendida pela escola de Copenhagen. E a explicação entre os conceitos e ser a mecânica quântica apenas uma das leituras da Física quântica, é discutida ao longo do livro.

Inclusive, há um capítulo no qual as personagens representam as diferentes interpretações da Física quântica. E no último capítulo o autor discute o conceito de não localidade das partículas. No terceiro e quarto, apresenta, respectivamente, emaranhamento quântico e incerteza, ou seja, o conhecimento de uma medida complementar a outra – por exemplo, posição e momento ou energia e tempo - impossibilita que se tenha um conhecimento pleno da segunda. Isto é, se conheço a posição, perco a informação do momentum das partículas.

O texto de Bruce (2001) estabelece o sentido de comunicação remota sendo a solução para um dos casos que o detetive Sherlock Holmes e seu amigo Dr. Watson precisam resolver. O conceito de não localidade é apresentado em três capítulos: no oitavo, o foco é a questão da luz, enquanto o pressuposto de Einstein corrobora com a transformada de Lorentz. O capítulo 10 conclui que não há velocidade mais rápida que a luz, embora o foco do capítulo seja a natureza da luz e a interação do instrumento e da medida. Por fim, no capítulo 11, se descobre que um sistema composto a priori, mesmo que separado, continua mantendo sua característica de ser um sistema composto, mesmo que as partículas estejam distantes. Logo, ao medir uma delas, a outra automaticamente assume a posição inversa da medida.

### 3.3.7 Pré-plano da Unidade de Ensino

Para propor a UE, consideramos que os alunos não estão habituados a ler em aulas de Física; conforme combinado com o professor da turma, nossa atividade seria avaliativa, como uma “recuperação” para os alunos que não obtivessem média igual ou superior a 5, no

último bimestre, ou no quinto conceito, média anual; teríamos em torno de três aulas de 50 minutos em cada turma; as aulas seriam no último mês do ano – véspera das férias de verão.

Embora não tivéssemos acompanhado as seis turmas de primeiro ano do EM, as aulas seriam ministradas em todas elas, como solicitado ao professor, visto que defendemos que as turmas devem ter o direito às mesmas atividades em sala de aula. O professor estaria presente nas aulas.

### **3.3.7.1 Plano inicial das aulas**

O objetivo geral, que consideramos para construção da unidade ensino, foi que, por meio do trabalho com essa unidade, seria possível contribuir para que os estudantes produzissem sentidos ao realizarem leituras mediadas pela pesquisadora-professora, com relação: 1) À ciência enquanto um processo em construção; 2) À noção de probabilidade; 3) Ao inesperado da teoria quântica, 4) Aos debates científicos, exemplificado pelo paradoxo EPR.

Com base no objetivo geral da UE, estabelecemos procedimentos a serem realizados com objetivos mais específicos para cada uma das aulas, que totalizariam quatro, caso tivéssemos tempo para realização de uma aula extra.

Para a primeira aula, proporíamos inicialmente uma conversa com os alunos, explicando no que consistiria a atividade que estávamos propondo. Isto é, a leitura de um trecho [Anexo C] do livro de Bruce (2001), além de explicarmos um pouco sobre a estrutura do livro e introduzirmos noções de FQ. Diríamos que após a leitura desse texto, gostaríamos de conversar com eles sobre o que haviam entendido do texto, para em seguida responderem um questionário, que nos permitiria compreender como os alunos estabeleceriam sentidos com suas memórias de leitura.

Esperávamos que eles, especialmente os que não se sentem à vontade com a linguagem matemática, mas que poderiam sentir apreço pela linguagem literária e filosófica, fossem estimulados pela leitura de parte da obra. Também, pensamos que por ser uma obra que possui intermédio com a mídia televisiva por meio de séries e filmes, isso aumentaria o interesse dos alunos pela leitura.

Por fim, supusemos que a nossa mediação facilitaria aos alunos a compreensão de algumas noções da Física quântica, tal como que refletissem sobre o processo de construção da ciência, juntamente com os diferentes debates que compõem a ciência, entre eles o paradoxo EPR.

Para a segunda aula também selecionamos um trecho de um livro [Anexo D] que faz referência à literatura e a filmes. Novamente, pretendíamos que isso provocasse um interesse maior por parte dos alunos pela leitura. E que com isso conseguíssemos que, especialmente os alunos que acabam por ficar excluídos das aulas de Física que são extremamente voltadas à linguagem matemática, pudessem estabelecer alguns sentidos sobre a Física.

A aula se daria em quatro momentos, o inicial com uma conversa para apresentarmos o livro e retomarmos a aula anterior. Proporíamos a leitura, seguida de uma discussão na qual os alunos seriam motivados a apresentarem suas dúvidas. A partir deste “bate-papo” esperávamos ter facilitado aos estudantes o estabelecimento de sentidos, para que relacionassem com suas memórias de leitura. Por fim, proporíamos que respondessem a um questionário.

Na terceira aula, diferente das antecedentes, não pensamos em propor a leitura de um texto que remetesse à literatura ficcional, mas selecionamos um trecho de um livro de DC [Anexo E] que o autor fosse um físico famoso para além dos meios acadêmicos. No caso, por se tratar de um trecho do livro de Albert Einstein e Leopold Infeld - “Evolução da Física”, presumimos que já teriam ouvido falar nesse físico Albert Einstein, sempre ser referido como gênio nos meios de comunicação, isso desafiaria os alunos, que se sentiriam instigados à leitura.

Esperávamos atingir uma nova gama de alunos, que não se interessassem e/ou não fossem muito adeptos à leitura de obras fictícias. Também pensávamos que a leitura em conjunto seria um facilitador para os alunos interpretarem o texto lido.

Com esta atividade, supusemos que os alunos estabeleceriam algum sentido sobre o processo de construção da ciência. E que também relacionariam essa leitura com a primeira aula da unidade, pois o recorte do texto traça um paralelo entre as histórias de Sherlock Holmes e a investigação científica.

Por fim, a aula extra, que apenas daríamos se houvesse tempo hábil para isso. Nesta, proporíamos a leitura de um trecho de um artigo científico da área de ensino de Ciência [Anexo F], o qual sabíamos que a linguagem era mais complexa aos alunos. Todavia, consideramos que eles possivelmente teriam construído já uma maturidade com a temática, e julgamos que por ser um artigo científico, instigaria a leitura, constituindo-se num desafio.

Esperávamos, portanto, que o trecho selecionado sistematizasse as discussões que haviam sido propostas nas aulas anteriores, destacando a maneira de construção da ciência

feita por debates científicos, exemplificado com o paradoxo EPR. E, assim, no “bate-papo” final, acreditávamos que os alunos poderiam ressaltar suas dúvidas, o que, ao invés de ser um empecilho para estabelecerem sentidos, fosse motivador.

Em seguida detalhamos um pouco mais sobre como pensamos cada aula.

### 3.3.7.1.1 Primeira Aula

O texto [Anexo C] de “As Aventuras Científicas de Sherlock Homes”, de Colin Bruce, que proporíamos para leitura nesta aula teria como objetivo apresentar algumas noções de probabilidade e mostrar que a Física quântica foge às concepções do senso comum.

-É apenas um novo nome recém-cunhado para a natureza, tanto ondulatória quanto particulada da luz e da matéria, tal como revelada pelos últimos estudos de Challenger e Summerlee. Entidades ou probabilidades contínuas de tipo ondulatório se convertem em quantidades discretas específicas – como elétrons e fótons, cuja energia admitida é estritamente definida – quando observadas. (BRUCE, 2001, p. 208)

De acordo com o trecho acima, notamos que o autor se refere a noções que remetem para a dualidade da matéria e da luz, teoria ondulatória, onda de probabilidade e corpuscular, enquanto quantidades discretas. E finaliza o parágrafo associando a energia emitida à observação.

- Bem, nada poderia ter parecido mais misterioso e abstrato que as tentativas de medir a velocidade da luz que levaram à Relatividade, disse Holmes. O que atemoriza Mycroft particularmente é sua percepção de que nossa compreensão da Teoria Quântica, e, portanto de suas possíveis consequências, ainda é muito deficiente. (Ibid., 2001, p.209)

Neste trecho o autor subentende o paradoxo de EPR, ou seja, a argumentação de que a teoria quântica é uma teoria incompleta. A fala que se segue a essa é a do Dr. Watson, na qual ele coloca a ideia de precisão científica. Mostra, então, um pouco do desenvolvimento científico, como foi a passagem da mecânica newtoniana para a relatividade, afirmando que “seu irmão” ainda está insatisfeito com a compreensão da teoria quântica. Em seguida apresenta o experimento do gato de Schödinger, com algumas modificações.

Na página seguinte, o autor fala dos “melhores cérebros” da Scotland Yard, o que pode levar a pensar que apenas os que têm conhecimentos científicos são considerados bons, o que é um ponto negativo do texto.

Mais adiante o texto subentende princípios de probabilidade clássica, com a fala do Dr. Watson:

[...] Em cada círculo há quatro lugares em que pontos brancos e pretos são adjacentes e 16 escolhas possíveis de pares de pontos adjacentes. Portanto a chance

de ganhar é de quatro em 16, ou de um em quatro. Para cada xilens gastos, a pessoa vai ganhar cinco em média. Vejam só, a companhia que administra este esquema deve estar tentando jogar dinheiro fora. (Ibid., 2001, p.214)

Na fala que se segue, o autor remete para a complexidade da Física quântica, a qual não permite que analisemos a situação por noções clássicas de probabilidade. Um ponto positivo na narrativa é o senso de processo, construção científica e não como algo determinado. A última parte permite pensar na noção de estados “evoluir numa multiplicidade de maneiras”, além da ideia de instantaneidade, dada na interação com o ambiente. E, por fim a referência ao emaranhamento, “[...] *colapso quântico, é um mal definido que parece ocorrer instantaneamente quando a mensuração é feita - mesmo que o sistema compreenda elementos vastamente separados no espaço. [...]*” (Ibid., 2001, p. 249).

Com relação à aula, começaríamos indagando quem gosta de histórias de mistério e quem conhece o Sherlock Holmes e apresentariamos o personagem. Diríamos que é um detetive particular, criado por Arthur Conan Doyle, que foi um médico inglês, que criou e publicou várias histórias com este personagem entre o final do século XIX e começo do século XX. Falaríamos que juntamente a ele, o autor criou um personagem, o narrador da história que é um médico, Dr. Watson.

Em seguida, explicariamos que um autor inglês e físico, Colin Bruce, no começo do século XXI, apropriou-se destes personagens e de outros também criados por Conan Doyle e escreveu uma narrativa fictícia em forma de divulgação científica. Ou seja, com inspiração em produções científicas, mas servindo-se de narrativas que não ocorrem em nosso cotidiano, como cartelas lotéricas que pegam fogo ao não ser seguidas as suas instruções de uso. Também, diria que o autor apresenta noções de ciência, em especial da Física.

Perguntariamos se os estudantes se lembravam de alguma noção de Física, que aprenderam durante o ano. A partir do conceito que eles apresentassem, faríamos a relação com um capítulo do livro e, apontariamos como o conceito se insere no capítulo. Caso nenhum estudante apresentasse alguma noção, abordaríamos o tema do capítulo inicial, sobre o pêndulo, retomando algumas noções da mecânica newtoniana, a matéria do primeiro ano do EM. Também comentaríamos noções que envolvem o conceito de gravidade, clássico, como uma força de atração entre dois corpos, de movimento uniformemente variado, que para alterar o estado do corpo é necessário aplicar uma força que gera uma aceleração.

Então, pediríamos aos estudantes que lessem o trecho do livro do Sherlock Holmes, escrito pelo físico e que distribuiríamos junto com o questionário abaixo. Ao final da aula, quando restassem 10 a 15 minutos, solicitaríamos que parassem a leitura e respondessem

as questões entregues junto com o texto.

Esse questionário consistiria de três questões: 1. Até onde você leu? 2. Você teve alguma dificuldade na leitura? Se sim, quais? 3. Como você contaria o que leu a um amigo? 4. Como você explicaria: a) quantidade discreta; b) sistema óptico; c) “mensuração”

### 3.3.7.1.2 Segunda aula

Na segunda aula, trabalharíamos o livro “Alice no país do Quantum” [Anexo D]. Nessa aula, enfatizaríamos o conceito de sobreposição de estados e efeito observador.

Nos trechos apresentados no Anexo D, notamos que no primeiro parágrafo o autor faz referência ao Gato de Schrödinger, sendo o personagem com o qual Alice interage. E, ao longo da conversa, o gato remete para algo como a ideia de sobreposição de estados. Na seguinte fala:

“Ora, é aí que você se engana”, sorriu o Gato. “Você não tem de decidir, você pode tomar todos os caminhos. Com certeza, já sabe disso agora. Eu, particularmente, costumo fazer nove coisas diferentes ao mesmo tempo. Os gatos vasculham qualquer lugar, quando não estão sendo observados. Por falar em observação” [...] (GILMORE, 1998, p. 59)

Na parte seguinte, o autor remete a algo que se relaciona com o colapso quântico e retoma a discussão da sobreposição de estados quânticos, ao Alice indagar o professor sobre o que aconteceu com ela. Este explica:

“Porque, então, o seu conjunto de estados teria se colapsado para esse outro. Você não estaria aqui, mas sim na posição onde tivesse sido observada, é claro.”  
 “Não consigo entender como isso seria possível, respondeu Alice que já estava se sentindo terrivelmente confusa de novo. “Que diferença faz se fui observada ou não”? Com certeza, eu estaria em um lugar ou em outro, sem importar quem estivesse me olhando ou não.” (Ibid., 1998, p. 64)

Na fala de Alice está presente a noção de determinismo da Física clássica, em que o estado do corpo é definido anteriormente à interação dele com o ambiente. Noção que é desacreditada pelo professor, que afirma não ser possível dizer o que ocorre a um sistema sem que se observe o mesmo, pois muitas coisas podem ocorrer, há uma mistura de estados, que só podem ser selecionados com a observação.

Nas duas falas seguintes observamos que Alice apresenta a ideia de ser uma opção, uma escolha individual e o professor, novamente, a contrapõe.

“Oh, não, você não tem direito de escolher. O que você provavelmente verá é determinado pelas probabilidades dos vários estados quânticos. O que você vê de verdade é uma questão de puro acaso. Você não escolhe o que vai acontecer; as amplitudes quânticas dão apenas as probabilidades dos diferentes resultados, mas não estabelecem o que vai acontecer. Isso é puro acaso, e só se torna fixado quando

uma observação é feita.” (Ibid., 1998, p.64)

Na aula, diríamos que como Colin Bruce (referente ao texto lido na aula anterior), outros autores físicos buscaram personagens relevantes na literatura para criarem narrativas com noções científicas. Um caso seria o deste outro livro “Alice no país do Quantum”, escrito em 1998, por Robert Gilmore, físico inglês.

Perguntaríamos se alguém poderia nos dizer a que personagem da literatura este livro poderia ser associado. Então, contaríamos um pouco da história da “Alice no país das Maravilhas”. Contaríamos que é a história de uma menina curiosa, que decide seguir um coelho e acaba entrando em um mundo encantado, onde os animais falam e quem governa é a rainha de copas. Diríamos que foi escrito por um matemático inglês, Lewis Carrol, em meados do século XIX.

Daríamos aos alunos o trecho do livro de Gilmore (1998) para lerem individualmente junto com um questionário.

Teríamos depois uma breve conversa com os alunos, sobre as suas dificuldades. Diríamos que o autor Gilmore escreve sobre Física quântica para pessoas não especialistas no assunto.

Explicaríamos que a maioria dos físicos considera que a Física quântica surge com Max Planck no começo do século XX, quando ele quantiza os níveis de energia emitidos. Porém, não podemos notar esta quantização em nosso cotidiano, pois ela está relacionada a um nível de ordem de grandeza muito inferior àquele que podemos ver a olho nu. Por fim, quando estivesse faltando 15 minutos para o final da aula, pediríamos que respondessem o questionário. 1. Como você contaria a um amigo o que foi estudado nas últimas aulas? 2. Você acha que nestas aulas foram trabalhadas algumas noções relacionadas à ciência? Se sim, quais?

### **3.3.7.1.3 Terceira Aula**

Na última aula, leríamos com os alunos o trecho do livro “Evolução da Física” [Anexo E]. Com o objetivo de discutir algo sobre o fazer ciência. Os autores iniciam fazendo uma analogia entre o universo e os romances policiais. Colocam o universo como um romance policial sem solução e, podendo, inclusive, não existir uma solução. Por outro lado, mostram que a busca por tentar ler este romance já levou a muito aprendizado e excitação.

No parágrafo seguinte, dizem que ainda estamos muito longe de uma solução completa, sempre colocando que há uma verdade, dizendo que temos caminhado para o

aperfeiçoamento da nossa compreensão da natureza, como se houvesse apenas UMA única e verdadeira leitura, ou seja, uma única interpretação da natureza, o que consideramos um ponto fraco do trecho escolhido. Entretanto, no mesmo parágrafo, os autores apresentam que a ciência não é infalível e que muitas teorias falharam.

Retomando a analogia com o romance policial, os autores dizem o que difere entre o ofício do cientista e o do detetive.

Em todos os romances policiais, desde os primorosos de Conan Doyle, momento chega em que o detetive reúne todos os elementos de que necessita para resolver pelo menos parte do problema. Esses elementos podem parecer muito estranhos entre si, e incoerentes. [...] Não só encontram a explicação para os factos coligidos como deduzem que umas tantas coisas devem ter ocorrido. [...]  
Mas o cientista que lê o livro da Natureza tem que achar a solução por si mesmo; não pode como o impaciente leitor de novelas, saltar páginas para ver o desfecho. Para obter uma solução, ainda que parcial, o cientista sendo ao mesmo tempo leitor e pesquisador tem de reunir factos e à força do pensamento lógico e coordená-los, coerente e extensivamente.[...] (EINSTEIN; INFELD, 1938, p. 11-12)

Neste trecho, além da distinção feita entre detetives e cientistas, os autores mostram que o trabalho do cientista não é fácil e não há como pular etapas no desenvolvimento da ciência, que é um processo árduo e complexo. Sendo assim, pretenderíamos mostrar aos alunos que a ciência não é um produto pronto, nem é apenas buscar na natureza respostas, é necessário fazer indagações.

Iniciariamos a aula indagando quem ouviu falar em Albert Einstein, depois explicaríamos que foi um físico do século XX que desenvolveu algumas teorias científicas. Diríamos que ele, junto com outro autor, também físico, Leopold Infeld, escreveu um livro do qual leríamos juntos um trecho com o título “Evolução da Física”, perguntariamos do que achavam tratar o livro. Então, pediríamos que cada aluno lesse um parágrafo em voz alta do trecho (Anexo E).

Quando estivesse faltando 15 minutos para o fim da aula, passaríamos um questionário perguntando: 1. Você teve alguma dificuldade nessa leitura? Se sim, qual? 2. Como você contaria para um amigo o que foi lido? 3. Vê alguma semelhança entre o que é dito neste livro sobre o Conan Doyle e suas obras e os textos lidos nas aulas anteriores?

#### **3.3.7.1.4 Aula extra**

Nesta aula, como seria apenas para algumas turmas, pois dependeria de acertos associados ao calendário da escola, pensamos em retomar as temáticas anteriores, apresentando um trecho de um artigo sobre paradoxo EPR, escrito para um periódico de

educação em ciência. Notamos que é um texto com uma linguagem mais técnica e não faz alusões a narrativas fictícias, em geral.

Neste artigo em sua parte introdutória sobre o paradoxo EPR, os autores apresentam ideias anteriormente discutidas, como emaranhamento, a não unanimidade na ciência, a complexidade da teoria quântica. Além de discutirmos a questão da realidade determinística ou probabilística.

Daríamos o trecho [Anexo E] para os alunos lerem de um artigo sobre leituras do paradoxo EPR realizadas por alunos de ensino médio. E pediríamos quando faltassem 15 minutos para o término da aula, que respondessem duas questões: 1. Como você contaria a um amigo sobre o que acabou de ler? 2. O que essa leitura acrescentou ao que você viu nas três últimas aulas?

### **3.3.8 As aulas**

A UE que foi trabalhada com os alunos focalizou-se no plano que descrevemos no item 3.3.7.

Na turma em que todos os alunos já haviam passado de ano, os poucos que fizeram a atividade copiaram uns dos outros; nas demais salas, os alunos começavam a se interessar pela atividade ao saber que ela valeria nota e poderia ajudar no quinto conceito, mesmo para quem não estivesse de recuperação no último bimestre. Para quem estivesse de recuperação essa seria a atividade a ser considerada como recuperação.

O professor esteve presente e procurou nos ajudar com os alunos em todas as aulas ministradas. Na primeira atividade nas turmas tinha uma média de 20 alunos, para uma turma de 40 alunos, na segunda aula, a média era de 10 alunos e na última aula a média era de um aluno, apesar de algumas turmas terem alunos presentes.

Os trechos lidos e os objetivos das aulas e das leituras permaneceram inalterados.

#### **3.3.8.1 Primeira Aula**

Começamos apresentando o livro “As Aventuras Científicas de Sherlock Holmes” (BRUCE, 2001). Primeiro, perguntamos se alguém conhecia o Sherlock Holmes, em algumas turmas os alunos diziam que sim, que era um detetive.

Então, pedíamos para os que conheciam que dissessem o que sabiam sobre ele. Respondiam que era um detetive e retornavam perguntando se ele era o personagem do filme

ou série. Prosseguíamos dizendo que foi um personagem inventado por um autor que era um médico inglês no século XIX – 1800, Artur Conan Doyle.

Explicávamos que a atividade que proporíamos era a leitura de um trecho de um livro que não foi escrito por este autor, mas por um físico inglês, Colin Bruce, durante o século XXI. Dizíamos que este autor tomou emprestado o personagem do Conan Doyle, além do Dr. Watson, que é um médico e, mais dois personagens cientistas, todos os três ajudam Holmes a desvendar os casos de mistérios. Junto com a leitura pedíamos que respondessem algumas perguntas. A atividade era para ser realizada em uma folha avulsa para nos entregar.

Também, apresentávamos o termo de consentimento<sup>37</sup> e dizíamos que era opcional assinarem, quem permitisse que nós utilizássemos suas respostas em nossa pesquisa era para assinar. O professor enfatizou que a atividade que seria avaliada por nós iria ajudar no quinto conceito<sup>38</sup> e, os alunos que estavam com média inferior a cinco, tinham que realizar a atividade que seria a recuperação.

Notamos que os alunos buscavam no texto os conceitos, eles começaram a nos chamar e tentar entender os conceitos. Primeiramente, nos chamavam sem ter lido o texto, então ressaltávamos que se fizessem a leitura poderíamos discutir para tentar entender algumas noções relativas aos conceitos. Com isso, tentavam buscar a resposta à atividade no texto, algumas vezes possivelmente por lerem desatentamente não encontravam alguns termos das questões no texto, outras por não conseguirem interpretar o texto e outras por talvez insegurança com suas noções, nos chamavam ou ao professor.

Com relação ao conceito de “quantidades discretas”, explicamos com a noção de unidade de compras dos produtos. “Por exemplo: não podíamos comprar um contínuo de farinha, ou seja, apenas 1kg, 2kg, em outras palavras, seriam quantidades pontuais” dizíamos.

Com relação ao “sistema óptico”, perguntávamos o que óptica lembrava aos alunos, eles algumas vezes diziam “loja de óculos”, outras vezes tínhamos que reformular a pergunta. Por exemplo, “se eles vissem uma loja com a palavra óptica o que isso lembrava a eles”, então diziam, “óculos”. Então, perguntávamos “a que os óculos estavam relacionados”, em geral diziam “olhos” e perguntávamos “e os olhos, diziam óculos ou pensavam em visão”. Quando falavam dos óculos, mas, para que usamos os óculos, aí diziam “para enxergarmos melhor”. Então, indagávamos “se era possível ver no escuro”, eles diziam que não, então

---

37 Até o momento da nossa coleta de dados, não era necessário a aprovação do Comitê de Ética da Plataforma Brasil, mas optamos por apresentar um termo de consentimento e livre esclarecimento aos alunos e professor em colaborar com a pesquisa

38 O quinto conceito é uma média dos quatro conceitos, ele é o conceito que entra no histórico escolar do EM dos alunos.

questionávamos “o que era necessário para vermos”, poucos associaram à luz, se não faziam a relação esperada nós apresentávamos ela. Assim, concluíamos explicando que a luz era uma onda, ou seja, um contínuo, o que seria oposto à primeira noção de quantidades discretas.

Por fim, para discutir o terceiro conceito, retomávamos a palavra “mensurar” e perguntávamos o que era para eles “mensurar”. Alguns diziam que era “dizer algo”, “se referir a algo”, outros diziam não entender, então refazíamos a pergunta, “se eu disser que irei ‘mensurar’ algo, o que vocês entendem?”, então, compreendiam que “seria dizer algo”. Então, explicávamos que “mensurar” estava relacionado a elucidar, evidenciar, que seria medir algo, quando medimos, evidenciamos.

### 3.3.8.2 Segunda Aula

Iniciamos a aula apresentando a obra do físico Robert Gilmore (1998). Dissemos que, como na aula anterior, solicitaríamos a leitura de um trecho de uma nova obra. Então, perguntávamos se alguém conhecia o personagem da Alice. Chamou-nos a atenção que mais alunos conheciam a Alice que o Sherlock Holmes, diziam que era uma menina que foi parar no país das Maravilhas, alguns citaram outros personagens, como o coelho, a rainha de copas e o chapeleiro maluco.

Então, explicamos que a obra original foi escrita por um matemático inglês, Lewis Carroll, no século XIX. E a obra que propusemos a leitura era de um físico, que parte se baseava nesta obra e em outras obras clássicas, para narrar a história de uma menina que estava em férias e que foi parar em um país – mundo – que a teoria quântica era determinante. Dissemos que a teoria quântica foi originada com a elaboração da proposição que apenas algumas quantidades de energias eram permitidas, de maneira que ela teria de ser quantizada. Aparentemente, poucos alunos estavam prestando atenção em nossa explicação e apenas concordavam.

Notamos que a pergunta: “como contariam a um amigo sobre ‘sobreposição de estados’?” gerou dúvidas e discussões em pequenos grupos nas salas, os quais, muitas vezes, solicitaram nossa ajuda para interpretar o texto.

Distribuimos o texto para leitura e em alguns pequenos grupos, começavam a discutir e solicitavam nossa ajuda. Perguntavam: “o que era sobreposição de estados”, então, apresentávamos o trecho do texto que abordava esta noção e perguntávamos o que eles entendiam. Em geral reproduziam o que estava no texto, fazendo repetição empírica. Com isso, tentávamos explicar mais esta noção, dizendo que seria uma situação de estar em dois

ou mais estados ao mesmo tempo e que apenas a interação com a partícula determinaria o seu estado, tirando essa do estado sobreposto. Alguns apenas confirmavam e tentavam escrever o que compreenderam, outros utilizavam questões de maneira a nos pedir confirmação daquilo que pretendiam escrever. Perguntavam se seria estar em dois estados, dois locais ao mesmo tempo. Tentávamos explicar que estávamos tratando de um mundo em dimensões muito pequenas, que esta seria a ficção do livro, pois não seria possível que a menina estivesse nesta sobreposição de estados.

Outra questão que causou bastante dúvida e questionamento por parte dos alunos foi sobre as noções de Ciência. Questionavam-nos o que queríamos dizer, falavam que não haviam compreendido: como assim noção de ciência? Então, para explicar o que estávamos questionando, elucidávamos com base em dois exemplos.

Questionávamos se eles sabiam o que era número negativo, diziam que sim. Então, perguntávamos, 2 é um número negativo? Respondiam que não. Perguntávamos de -1, diziam que era. Ou seja, eles tinham critérios para classificar algo como negativo e não negativo, nesse caminho era nossa pergunta. Isto é, de acordo com o que eles entendiam por ciência deveriam relacionar com a leitura do texto da “Alice no país do Quantum” (GILMORE, 1998) e averiguar o que eles liam de ciência no mesmo. Então, questionávamos se sabiam o que era ciência, diziam que sim, então, perguntávamos com relação às disciplinas se eles consideravam Física ciência ou não, diziam que sim.

Com relação à Matemática, Sociologia, Filosofia, Língua Portuguesa e História, não tinham um consenso e, algumas vezes, esperavam que nós disséssemos se eram ou não. De maneira não determinística, dizíamos que, então, dentro das noções de um dos alunos era e de outro, não.

O que queríamos seria que a partir destas noções eles dissessem o que no texto poderia ser denominado ciência.

### **3.3.8.3 Aula 3**

Na última aula da nossa UE, sobre o livro “A Evolução da Física” de Einstein e Infeld (1980), conseguimos apenas que três alunos fizessem a atividade e, dos três, apenas um deles tinha feito todas as atividades.

Começamos explicando que esta atividade seria a leitura de um trecho de uma obra de Albert Einstein e Infeld. Perguntamos se eles conheciam Einstein, disseram que haviam escutado falar na televisão. Então, falávamos que foi um dos físicos mais famosos do

século XX. E, como nas atividades anteriores, teriam que ler o trecho do livro e responder três questões.

Para a primeira pergunta sobre “investigação científica” e “policial”, os alunos nos perguntavam o que era uma “investigação científica”. Dizíamos que era uma pesquisa em algum tópico de ciências. Sobre a “policial”, os alunos respondiam dizendo que gostavam muito, especialmente, de filmes e séries policiais.

Nos perguntavam se era do semestre inteiro ou desde quando, explicávamos que era sobre as três aulas que propusemos que lessem diferentes textos sobre Física. Diziam não recordar bem dos textos, como não estávamos com os demais textos em mãos, respondíamos que poderia ser com o que lembravam.

## **4 A ESCOLA**

Neste capítulo apresentamos uma tentativa de trabalho empírico com o plano de atividades apresentados no capítulo 3. Com esse trabalho buscamos compreender como os estudantes que participaram do estudo produziram sentidos ao lerem parte dos livros selecionados.

### **4.1 Leituras de alunos do Ensino Médio**

#### **4.1.1 Pré-questionário**

Antes de iniciarmos a UE aplicamos um questionário para nos situarmos sobre os possíveis conhecimentos dos alunos a respeito da Física quântica. Ao distribuirmos a atividade, o professor explicou que seria um exercício que valeria um ponto na nota do terceiro bimestre; logo, pela dificuldade que os alunos sentiam ao lerem as questões, solicitavam ao docente que explanasse sobre o tema, aflitos pela possibilidade de não conseguirem a nota da tarefa. Houve uma resistência do professor, devido à nossa solicitação. Porém, as reclamações foram demasiadas, até que ele cedeu e explanou a temática brevemente.

Disse que a “Física quântica” se relacionava com a Física de altas energias, que começou a ser estudada devido à teoria da mecânica clássica não ser mais suficiente para explicar os fenômenos observados. Além disso, mencionou quantum de energia e os fótons, definindo estes como pacotinhos de ondas eletromagnéticas. Possivelmente, por defender que sem matemática não é possível fazer Física, logo, em sua visão, ensinar Física só é possível com as ferramentas matemáticas. Dentro desta perspectiva, afirmou ser a Física de altas energias trabalhada por equações matemáticas específicas para o tema.

O professor, também, disse o que era “elemento de realidade”. Talvez, pensando na dificuldade desse conceito e visando dizer algo, que considerou que os alunos entenderiam, falou que era um fenômeno real, que pudesse ser visto. Com relação à probabilidade, os alunos não questionaram o professor, nem a nós.

No questionário, além de questões relacionadas ao que pretendíamos trabalhar com os alunos em nossa UE, colocamos uma pergunta sobre computação quântica, com o intuito de motivá-los. Com ela, pretendíamos que os estudantes notassem que a ciência, em especial a Física, não é uma ciência fechada. Sobre computação quântica, o professor

desconhece as pesquisas que vêm sendo realizadas na Física – especialmente nos campos da ótica e dos fundamentos da mecânica quântica. Afirmou ser a computação que estuda a Física quântica.

Para efeito de análise, optamos por selecionar uma turma do primeiro ano, entre elas uma das que acompanhamos as atividades das aulas de Física ao longo do presente semestre letivo. Pois entendemos que tínhamos uma familiaridade com a dinâmica da turma e com os estudantes. Ainda com relação à seleção, optamos por uma que tivesse pelo menos um estudante participante de toda a UE, pois a evasão dos alunos entre a primeira atividade e a última, devido ao período de férias escolares, foi maior que a esperada por nós.

Considerando o caráter ético, selecionamos apenas os alunos que tivessem assinado o termo de consentimento<sup>39</sup> [Anexo D]. Embora não tivesse a necessidade da aprovação da Plataforma Brasil, entendemos a importância do caráter ético das pesquisas na área educacional, por isso elaboramos um termo de livre esclarecimento, para que os estudantes soubessem do que estavam participando e autorizassem que utilizássemos, ou não, suas respostas em nossa pesquisa. A atividade era importante para os estudantes por ser avaliativa e não exclusivamente para nossa pesquisa.

Dos 18 alunos desta turma que assinaram esse termo, seis participaram da pré-atividade, que consistia em responder quatro questões:

1. Você já escutou falar de Física quântica? Se sim, o quê? E onde?
2. Como você explicaria a um amigo o que é elemento de realidade?
3. Como você explicaria a um amigo o que é probabilidade?
4. Você já escutou falar de computação quântica? Se sim, o quê?

Ao analisarmos as respostas, observamos que, especialmente na primeira e na segunda questões, eles se baseavam no que foi dito pelo professor da turma. Entretanto, só dois explicitaram onde tinham escutado falar. Ambos fazem referência ao presente momento de realização da atividade, sendo que um deles usou a palavra “agora”. Apenas um dos seis participantes disse não ter escutado falar.

Com relação aos que haviam escutado, um disse que era uma equação para determinar altas energias. Outro, além de se referir a altas energias, associou com radiação, a área de especialização do professor, possível razão que ao explicar a Física quântica associou

---

<sup>39</sup>Repetimos que até o momento da nossa coleta de dados, não era necessário a aprovação do Comitê de Ética da Plataforma Brasil.

à Física de altas energias. Também teve o que citou altas energias anexa aos estudos da mecânica quântica e um quarto estudante que fez referência apenas às altas energias.

Selecionamos alguns exemplos de respostas que classificamos na categoria de altas energias:

“A mecânica quântica serve para altas energias, *agora em sala de aula*” (Bruno<sup>40</sup>)

“Sim é uma equação utilizado para medir grandes energias” (Ariel).

E, por fim, um estudante disse da relação entre quantum e ondas de partículas, diferenciando das demais respostas. Porém, notamos um equívoco entre a relação dessas duas noções ao afirmar que “(..) *as ondas dentro delas ter um pacotinho que se chama quanto*”.

A questão dois, entendemos ser mais complexa, devido o caráter filosófico da noção de elemento de realidade e, a mesma não ser priorizada nos estudos escolares, nem discutida, especialmente em aulas de Física. Metade dos alunos disse saber e a outra, não. Dos que não sabiam, dois apenas disseram “não” e um apresentou seu ponto de vista.

“*Não, creio que é algo real como o sol existe.*” (Bruno)

Dos que disseram saber, dois alunos relacionaram ao real, sendo que um foi além:

“= é Algo existente, real, concreto” (Ariel).

A última questão a que nos referimos aqui é a terceira. Notamos que a maioria dos estudantes (cinco) disse que sabia o que era probabilidade. Somente um disse “não”. Dos cinco que afirmaram saber, dois falaram onde haviam escutado, ambos disseram que foi na escola. Possivelmente, devem ter estudado nas aulas de matemática.

Ainda com relação aos cinco, um disse ser probabilidade de “chances”, outro relacionou com porcentagens. E três deles disseram: “ter chance de acontecer”, sendo que um afirmou “quando há pouca chance de ocorrer.”

Um dos alunos associou a uma probabilidade de acerto:

“Sim, que a probabilidade é quanto você tem para acertar uma coisa de costas ou *de frente e escutei na Escola*” (Jeremias)

#### **4.1.2 Análise das informações obtidas da primeira atividade**

A primeira atividade da UE consistia em ler individualmente o texto [Anexo C]. Em síntese, este narrava uma passagem sobre o diálogo entre Holmes e Dr. Watson, enquanto andavam em busca da gata da Sra. Hudson. O diálogo inicia com Holmes mencionando os

---

40 Os nomes são fictícios, tal como mantivemos a resposta original dos alunos (ortografia e pontuação).

receios de seu irmão Mycroft, diplomata científico, com relação ao desenvolvimento da Física quântica. Enquanto procuram a gata, encontram o investigador da Scotland Yard, que está investigando o caso de umas cartelas premiadas que não funcionam dentro das “leis de probabilidade clássica”. Ou seja, devido a efeitos quânticos a maneira como se era esperado de cartela sorteada não ocorre, assim, as mesmas parecem estarem truncadas, por algum feito malicioso de seus idealizadores. Todavia, a investigação não se resume a um caso policial, pois as cartelas se queimam ao tentar raspar o terceiro olho e não seguir as instruções da cartela.

Antes de distribuirmos a atividade e os textos, explicamos brevemente o tema do que leriam e a história do livro. Também, relacionamos o livro com as obras de Artur Conan Doyle e com séries e filmes os quais têm sido produzidos com base nas mesmas, assim tentando despertar o interesse dos alunos. Dissemos que diferente do que o Conan Doyle realizou, Bruce utiliza as suas histórias para explicar ciência, em especial, a Física.

Após a leitura, os alunos tinham que responder quatro questões, que foram distribuídas juntas com o texto que propusemos a leitura. Antes mesmo de começarem a ler o texto, os alunos nos chamavam e pediam que respondêssemos as questões para eles, dizíamos que se eles lessem pelo menos um pouco do texto, poderíamos discutir com eles.

As perguntas que solicitamos que respondessem foram:

1. Até onde você leu?
2. Teve alguma dificuldade na leitura? Se sim, qual?
3. Como contaria a um amigo sobre o que acabou de ler?
4. O que você entende por:
  - a) Quantidade discreta
  - b) Sistema óptico
  - c) “Mensuração”

Com relação à primeira questão “até onde teriam lido”, nenhum dos 18 alunos que respondeu a atividade e assinaram o termo de compromisso respondeu, portanto não fizemos análise da primeira questão.

Nas demais perguntas, notamos muitas respostas similares. Pela dinâmica da sala, podemos dizer que houve muitas cópias entre os discentes, especialmente, que era uma atividade para nota, de recuperação do quarto bimestre e/ou do quinto conceito<sup>41</sup>. Houve

---

<sup>41</sup>O quinto conceito é uma média dos quatro conceitos, ele é o conceito que entra no histórico escolar do EM

estudantes que tentavam responder, mas por medo de se equivocarem e perderem nota nos perguntavam exatamente a resposta, dizendo “então é isso”, como se precisassem que afirmássemos para escreverem as suas respostas. Retrucávamos a pergunta deles, dizendo se aquilo era o que tinham entendido.

Na questão dois, sobre as dificuldades, oito disseram ter tido dificuldades, sendo que muitos alunos apresentaram mais de um motivo. Por exemplo, Mariana que disse “*Sim, [...] no texto continha teorias e algumas palavras que eu não conheço.*”

A dificuldade mais frequente entre os estudantes foi de interpretação do texto, três dos oito a destacaram. Como Roberto, que foi bem explícito: “*Sim, a leitura do texto é fácil, mas a interpretação é difícil*”. Notamos que o aluno diferencia leitura e interpretação. Ou, Sônia que diferencia entendimento e interpretação de leitura.

“Para ler não tive dificuldade, mais para entender sim, pois como não tenho conhecimento elevado sobre esse assunto ficou super difícil a interpretação, mas o texto esta explicando de uma maneira clara e objetiva, mas para meus conhecimento ainda está *complexo*”.

Notamos que a aluna considera o tema complexo, os próprios autores físicos Gilmore (1998), em seu prefácio, e Bruce (2001), em seu posfácio, destacam a dificuldade da temática. Realmente é um tema considerado complexo até entre os físicos.

Dois alunos que apresentaram dificuldade com a impressão, possivelmente foi por termos “escaneado” duas páginas da obra, sendo que a impressão ficou um pouco prejudicada. Um aluno disse que o barulho da sala dificultou a leitura. Possivelmente, os alunos colocaram estes pontos de dificuldades para externalizar eventuais problemas em suas atividades.

Dos 10 alunos que disseram não ter tido dificuldade na leitura, cinco apresentaram a razão. Um disse ser um texto fácil, três afirmaram que o texto era claro e um último disse que fez a leitura 100% perfeita. Por exemplo, a aluna Carolina que diz “*Não, o texto é Bastante claro*”. Ou, Renata, “*Não, o texto é bem fácil de entender.*”

Embora Renata e Sônia concordem com relação ao entendimento do texto, ambas afirmando ser um texto de fácil entendimento, discordam com relação à interpretação, visto que a segunda diz ter tido dificuldades de interpretação por falta de conhecimento da Física quântica. Assim, podemos dizer que provavelmente ambas discordam quanto à noção de entendimento. Enquanto Sônia o associa à interpretação do texto, a resposta de Renata não nos permite compreender se ela interpreta entendimento como a Sônia entende leitura, ou se

ela supostamente teria mesmo considerado fácil “interpretar” o texto.

Possivelmente, os argumentos dos alunos para a não dificuldade na leitura se baseia no mecanismo ideológico, que os levaram a afirmar que há um único modo de ler, de interpretar, um único sentido a ser estabelecido. Mesmo os que apresentaram dificuldades, afirmaram não ter conseguido interpretar por limitações suas. Ou seja, não alcançaram a leitura correta e única que a escola busca que os estudantes façam.

Com relação à terceira pergunta em que pedíamos para apresentarem os sentidos estabelecidos na leitura, a maioria dissociou forma e conteúdo, e/ou reproduziu o que havíamos explicado no princípio da aula.

Ou ainda copiaram o primeiro parágrafo, como Sofia.

“Eu contaria que a teoria quântica é apenas um novo recém-cunhado para a natureza, tanto ondulatória quanto particulada da luz e da matéria tal como revelado pelos últimos estudos de Challenger e Sumerlee.”

“- Mas o que é essa Teoria Quântica?  
- É apenas um novo nome recém-cunhado para a natureza, tanto ondulatória quanto particulada, da luz e da matéria, tal como revelada pelos últimos estudos de Challenger e Summerlee. [...]” (BRUCE, 2001 p. 208).

Nessa questão, além de notarmos o que foi mais comum nas respostas dos alunos, primeiramente analisamos de acordo com o tipo de repetição, a partir da noção estabelecida por Eni Orlandi (1996), como explicitado no capítulo 3. A autora define três tipos de repetição, a empírica, cópia mnemônica, a formal, muito apoiada na escola, reproduzir o dito no texto com suas próprias palavras. Por fim, onde a autora defende que estaria o aprendizado efetivo, a repetição histórica, quando trazemos memórias de leitura ao interpretarmos o texto.

Notamos que a aluna Sofia está entre os cinco alunos que apresentaram repetição empírica, cópia mnemônica do texto. O trecho acima apresentado de Bruce (2001) foi o mais referido pelos estudantes.

O segundo trecho mais citado pelos alunos foi:

“[...] elétrons e fótons, cuja energia admitida é estritamente definida – quando *observadas*. ” (Ibid., 2001, p. 208).

Um aluno copiou o trecho da página 214, o qual se referia à relação dos cartões e com os mais astutos especialistas da Scotland Yard (polícia inglesa), o que também podemos caracterizar como uma repetição empírica.

“[...] a chance de ganhar é de quatro em 16, ou de um em quatro. Para cada

*quatro xelins gastos, a pessoa vai ganhar cinco em média. [...]*” (Ibid., 2001, p. 208).

Dois alunos fizeram repetição formal, cópia do texto modificando algumas palavras:

“Basicamente alguns cartões de sorteio aparecem em bancas de jornal que acaba deixando perplexos os melhores cérebros do departamento de fraudes, então chamam *Sherlock Holmes para desfiar esse mistério.*” (Breno)

Podemos notar que se refere ao seguinte trecho do texto lido “[...] - O problema não parece muito dramático, sr. Holmes. Certamente não está na mesma categoria que um assassinato ou um sequestro. No entanto, deixou perplexo os melhores cérebros de nosso departamento de fraudes. [...]

Houve outras oito repetições formais. Lembramos que em geral a escola incentiva este tipo de resposta, na qual com base em uma leitura, se reescreve o texto com outras palavras. Seis delas retomaram tópicos que foram abordados ao explicarmos sobre o livro, como o caso de mistérios, que envolvia a teoria quântica, explicações científicas, citaram alguns personagens e os descreveram (detetive). Por exemplo, a resposta de Raquel *“falaria que tinha lido sobre a história de um detetive que procurava explicação científicas”*. Sublinhamos a parte que foi como apresentamos a obra de Bruce (2001)<sup>42</sup>.

Dois realizaram repetição formal com equívoco. Um disse ser diálogo entre Mycroft (irmão do Sherlock Holmes) com o Sherlock Holmes, porém nenhum dos diálogos que aparecem no trecho referente à leitura, a personagem Mycroft aparece, ela é apenas citada pelo próprio Holmes, para justificar a problemática da Física quântica. Enquanto o aluno Paulo afirma: *“É uma conversa entre Holmes e Mycroft, em que, eles falam sobre algumas teorias, principalmente à Teoria Quântica.”*

No texto os trechos que citam Mycroft são dois “[...] *O que atemoriza Mycroft particularmente é sua percepção de nossa compreensão da Teoria Quântica, e portanto de suas possíveis consequências, ainda é muito deficiente.*[...]” e, mais adiante “[...] *Mycroft pensa que a verdadeira compreensão da teoria [...] está muitíssimo imperfeita [...]*” (Ibid., 2001, p. 209).

O outro tentou diferenciar o que estava dito nas diferentes páginas, mas confundiu-se por dizer que na primeira tratava apenas da Física quântica e a segunda de um caso de Sherlock Holmes, sendo que ambas discutem os dois tópicos.

---

<sup>42</sup> Embora, as aulas não tenham sido gravadas, anotamos logo após o seu término o que havíamos dito em cada aula. Sendo assim, pode haver algumas trocas de termos ou esquecimento o que não impede a consideração de uma resposta formal.

Por sua vez, encontramos cinco alunos que não realizaram nenhum dos três tipos de repetição, responderam apenas a maneira que contariam, sem referir-se à leitura. Por exemplo, a resposta de Luísa: *“De um jeito não tão científico, com mais definições sobre cada ponto.”*

Eles disseram o modo como contariam, entre estas maneiras destacamos que disseram que fariam uma síntese, mencionaram o quanto falariam, que retirariam os diálogos, abordariam apenas as informações importantes ou, como Luísa, que seria uma maneira menos científica.

Destacamos o estudante Jeremias que disse que contaria como leu *“Eu contaria do jeito que eu li. Falando sobre o que o Sherlock Holmes está interpretando”*. Ou seja, sua resposta nos faz retomar a ideia de unicidade e totalidade do discurso ao dizer que contaria igual ao lido, como se houvesse apenas uma maneira de ler. Essa resposta, também, pode ter sido dada pelo aluno para não ter de se preocupar em buscar no texto aquilo que diria.

Esses cinco alunos ao responderem apenas o modo como contariam, sem dizer o que leram, dissociavam forma e conteúdo. Lembramos que na perspectiva da AD, a maneira de contar não pode ser dissociada do conteúdo a ser tratado.

Com relação à quarta questão, lembramos que não analisamos a primeira questão, antes de começarem a responder, questionavam a nós e o professor a definição dos termos. Inicialmente perguntávamos se haviam tentado ler; na afirmativa, então começávamos com as quantidades discretas, dizendo que seriam o oposto de contínuo. Exemplificamos com a maneira como compramos leite, laranja no supermercado. Ou seja, não podemos comprar meia unidade, apenas unidades inteiras e, isso seriam situações que estaríamos em medidas discretas.

Por “quantidades discretas”, notamos que apenas três estudantes recorreram ao que havíamos discutido com eles, por ser quantidades pontuais, relacionaram com exemplos que demos de quando vamos ao supermercado e podemos comprar apenas uma, duas, três laranjas. Caso do Jeremias: *“As quantidades descrita tem dois exemplos como quando você compra uma quantidade como 1,2,3 laranjas.”*

Dois estudantes não responderam.

Os demais alunos copiaram do texto o trecho em que o autor cita “quantidades discretas”, que é o segundo parágrafo:

*“[...] Entidades ou probabilidades contínuas, de tipo ondulatório, se convertem em quantidades discretas específicas – como elétrons e fótons, cuja energia admitida é*

estritamente definida – *quando observadas.* ” (Ibid., 2001, p. 208).

Com relação ao sistema óptico, provavelmente, por sua referência direta estar apenas na última página, mais alunos recorreram à nossa explicação. Como já comentamos, começamos indagando o que a palavra “óptica” lembrava-os. Diziam que não remetia a nada, então, tentávamos assemelhando a visão, óculos e a luz. Assim, afirmávamos que poderia ser uma grandeza pontual, como fótons, ou contínua, como as ondas.

Num exemplo de resposta, Roberto diz: “*é um fundamento que tem como principal foco, a visão, que só ocorre quando estamos expostos a luz, e pode ser foco ou ondulatório.* ” Embora tenha tentado explicar por meio da sua interpretação, o aluno acaba confundindo a ideia da relação do sistema óptico com luz e a teoria ondulatória.

Alguns alunos (sete) fizeram referência direta ao trecho final no qual o autor trata do paradoxo da teoria quântica, em que os sistemas se apresentam em uma multiplicidade de maneiras, e que o resultado específico ocorre a partir de um colapso quântico, um mal necessário dentro desta teoria.

Como foi o caso de Luísa, “*sistema dado parece evoluir numa multiplicidade de maneiras, traçando todas as possíveis de um fóton através de um sistema óptico.* ”

Citação do trecho “ [...] *o de que qualquer sistema dado parece evoluir numa multiplicidade de maneiras, traçando todas as possíveis de um fóton através de um sistema óptico.* ” (Ibid., 2001, p. 249).

Ressaltamos que dois alunos copiaram suas respostas da Internet durante o período de aula, acessada pelo celular de um deles. Entre eles, Ariel:

“São sistemas refratores ou refletores que alteram o comportamento da luz.”

Devido à peculiaridade da resposta e termos notado que mexiam no celular durante o período de aula, nos despertou interesse e verificamos a resposta na Internet, assim digitamos esta frase no website de busca Google, encontramos em um fórum do provedor do Yahoo exatamente esta resposta para a pergunta “*O que são sistemas ópticos?* ” A segunda resposta mais cotada deste website era “*são sistemas refratores ou refletores que alteram o comportamento da luz*” que foi enviada há oito anos atrás.<sup>43</sup>

Com relação à noção de mensuração, quatro estudantes não responderam. Cinco deles pediram que explicássemos, perguntávamos “*O que eles entendiam por mensurar algo?*” Alguns não respondiam ou diziam que não sabiam, outros diziam contar algo, falar sobre algo. Então, associávamos o substantivo mensuração com o que eles entendiam pelo

---

43 Referência website: <https://br.answers.yahoo.com/question/index?qid=20081205020921AA2hOrI> (acessado em 22 de fevereiro de 2017 0h30)

verbo mensurar, dizendo que estava relacionada à medida, ou seja, “*relatar*” um fenômeno físico. Esses quatro estudantes fizeram referência à nossa explicação e à do professor, que relacionávamos com medidas e grandezas. Como foi o caso de Roberto: “*a medida (de qualquer coisa)*”

Os demais (nove) recorreram ao texto, em especial o final do texto, que fala sobre como obter um resultado específico dentro da teoria quântica, que seria por meio da “mensuração” ou interação com ambiente, que acarretaria no colapso quântico. Por exemplo, Luísa que responde: “*É um mal definido que parece ocorrer instantaneamente quando a mensuração é feita. Um único resultado específico quando uma mensuração ou interação com o ambiente circundante ocorre.*”

Embora a aluna tenha invertido a ordem, ela copiou dois trechos do texto: “[...] *abundância essa que se reduz a um único resultado específico quando uma “mensuração”, ou interação com o ambiente circundante, ocorre. Essa redução, ou colapso quântico, é um mal definido que parece ocorrer instantaneamente quando a mensuração é feita. [...]*” (Ibid., 2001, p. 249).

A aula podemos reparti-la em três partes: A primeira que conversamos com toda classe; A segunda que os alunos leram e tentaram resolver a atividade sozinhos; e, por fim, quando em pequenos grupos ou individualmente, nos chamavam para ajudarmos na atividade. Notamos dificuldade dos alunos em interpretar o que leram e preferiram copiarem o texto ou reproduzirem o que dissemos para eles.

#### **4.1.3 Análise das informações obtidas na segunda atividade**

Na atividade 2, houve uma redução do número dos alunos que responderam; dos 18 iniciais, apenas 11 estavam presentes. Conseguimos que alguns ainda se envolvessem com a leitura. Como já foi comentado a atividade consistia na leitura individual de um trecho do livro da “Alice no país do Quantum”. O texto relata uma parte da odisseia de Alice pelo mundo da Física quântica, neste trecho o autor inicia com o diálogo entre a menina e um gato, o qual, como na versão de Lewis Carroll, é enigmático. Também, o felino pode ser relacionado ao experimento de Schroedinger, especialmente no trecho que ele diz tchau à adolescente, por estar sendo observado em outro lugar.

A segunda parte do trecho que escolhemos para leitura dos alunos, trata da conversa entre Alice e o professor; o mesmo tenta explicar o que aconteceu com ela anteriormente e como ela foi parar na sala de aula dele. Ou seja, diz que anteriormente estava

em vários estados – sobreposição de estados – até o momento que foi observada ali em sua sala, assumindo, assim, o estado de aluna, ali.

Como também comentado antes de propormos a leitura, perguntamos se os alunos conheciam a história da “Alice no país das Maravilhas”, primeiro ninguém se manifestava, então, mencionamos os filmes e desenhos animados. Mais alunos que notado com relação à história do detetive Sherlock Holmes, disseram conhecer. Pedimos que relatassem algo e não responderam ou apenas mencionaram que era uma menina que acabou em um país com criaturas fantásticas. Falamos que, como essa personagem, no texto que leriam a adolescente faria uma viagem a um mundo fantástico, porém a fantasia seria usada para explicar fenômenos da Física quântica.

Junto com o texto, distribuimos um questionário com três questões:

1. Como você contaria a um amigo “sobreposição de estados”?
2. Você considera que neste texto foram trabalhadas algumas noções relacionadas à ciência? Se sim, quais?
3. Teve alguma dificuldade na leitura? Se sim, quais?

Nessa atividade, provavelmente, por ser um texto menor ou por terem se animado mais com a referência da Alice, entre outras possibilidades, os alunos motivaram-se realmente em ler, diferente da atividade da aula anterior. Também, notamos que as perguntas que fizemos envolveram maior discussão e reflexão dos alunos.

Observamos que, embora na primeira questão buscassem uma definição explícita para o conceito no texto, como não a encontraram, nos questionaram o que seria “sobreposição de estados”.

Logo, para refletirmos com eles, sentamos com pequenos grupos de três ou quatro estudantes, que haviam lido ou que julgamos que tinham se esforçado para ler o texto e discutimos com eles. Explicamos algumas noções sobre o “estado de sobreposição”, que ficticiamente Alice se encontrava no texto, que seria estar em diferentes estados ao mesmo tempo. E, tentamos apresentar que aquela situação só era possível naquela escala de realidade (quântica), ou seja, na escala do nosso mundo cotidiano (de centímetros), não era possível notar isso, pois a interação entre partículas é muito extensa, assim seus estados estão sempre bem definidos (observados).

Entretanto, mesmo com os alunos se propondo a discutirem mais conosco, ainda a maior parte, sete dos 11, copiou o que estava no texto. Ou seja, realizaram repetição empírica.

O trecho referido, para responder a primeira questão, por eles foi: “ (...) *Isso é*

porque nós observamos você aqui, é claro. Você estava numa sobreposição de estados quânticos, mas como foi observada estando aqui, é porque era aqui que estava naturalmente. Obviamente, *você não foi observada em nenhum dos outros lugares.* ” (GILMORE, 1998, p. 64).

Por exemplo, Raquel que diz: *“Explicaria igual ao texto, Você estava numa superposição de estados quânticos, mais como foi observada estando aqui que estava naturalmente aqui.”*. A aluna faz referência explícita ao texto, colocando a citação entre aspas.

Por outro lado, ainda para essa questão, outros estudantes não apresentaram esta referência, como é o caso de Sônia *“O seu conjunto de estados teria se colapsado para esse outro. Você não estaria aqui, mas na posição onde tivesse sido observada, é claro”*.

Ela faz referência ao seguinte trecho: *“(...) Porque, então, o seu conjunto de estados teria se colapsado para esse outro. Você não estaria aqui, mas sim na posição onde tivesse sido observada, é claro. [...]”* (Ibid., 1998, p. 64) todavia, não foi a mais mencionada pelos alunos.

Novamente, o mesmo aluno Ariel copiou da Internet, mas desta vez sua referência foi o site do Wikipédia. Fomos buscar na Internet devido à originalidade e termos notado na atividade anterior o plágio da Internet em sua resposta:

*“Superposição de estado quânticos é o principio fundamental da mecânica quântica que afirma que um sistema físico (como um elétron) existe parcialmente em todos os estados teoricamente possíveis simultaneamente ante de su medida” (Ariel)*

Sobreposição Quântica é um princípio fundamental da Mecânica Quântica que afirma que um sistema físico (como um elétron) existe parcialmente em todos os estados teoricamente possíveis simultaneamente antes de ser medido. Porém quando medido ou observado, o sistema se mostra em um único estado. (WIKIPEDIA in [https://pt.wikipedia.org/wiki/Sobreposi%C3%A7%C3%A3o\\_qu%C3%A2ntica](https://pt.wikipedia.org/wiki/Sobreposi%C3%A7%C3%A3o_qu%C3%A2ntica) acessado 22 de abril de 2017 às 23h23).

Nessa atividade, assim como na anterior não observamos nenhuma repetição histórica.

Três alunos fizeram repetição formal, mas um ao mudar o texto para suas palavras cometeu equívocos. Foi o caso de Vanessa: *“Que ele não pode estar em um lugar sem ser observado”*.

Onde o texto diz que para determinar seu estado é necessário a observação, porém quando se está em uma sobreposição de estados é pela razão de não ter sido realizado a observação. Ou seja, é possível que uma partícula quântica esteja em mais de um estado ao

mesmo tempo, justamente por ela ainda não ter sido observada. Em outras palavras, na teoria da mecânica quântica seria o inverso, o estado que as partículas se encontram antes de serem observadas.

Na pergunta seguinte, em relação ao entendimento dos estudantes sobre ciência, observamos grande dificuldade dos alunos em entenderem a questão. Perguntaram-nos “*Como assim noção de ciência?*”. Explicamos com exemplo de números negativos e positivos. Ou seja, questionávamos se alguns números eram negativos ou positivos dentro do que eles entendiam por estes. Em seguida, pedíamos para pensarem o que entendiam por ciência e com base nesses critérios, dizer se no que leram tinha algo relacionado a isso.

Observávamos que eles achavam que haveria uma noção correta e que eles desconheciam e que era dessa que eles deveriam responder. Hipotetizamos que esta posição dos alunos é induzida pelo ensino escolar, que haveria uma única verdade e, nela é que os alunos seriam avaliados. Não lhes caberia considerarem suas noções, conforme a formulação da questão.

Embora apenas 11 alunos tenham participado da atividade, os elementos sobre ciência destacados por eles variaram bastante, conseguimos encontrar 14 tipos de respostas distintos. Cinco estudantes apresentaram noções referidas no texto, como estados quânticos, paralelos, amplitudes quânticas, colapsos quânticos, observação, sobreposição de estados, probabilidades de ocorrências. Um estudante trouxe ideias da própria ficção, como gatos que falam e setas que aparecem do nada.

Os demais (seis) apresentaram elementos além do texto, como Física quântica e teorias, simplesmente, escrevendo estes conceitos. Por exemplo, Sônia “*teoria quântica, e dimensão alternativa*”.

A última questão da atividade era relacionada às dificuldades que os alunos encontraram na leitura. Dos 11, quatro disseram ter tido dificuldades, entre elas, o maior problema apontado foi com o “vocabulário” e com a noção de sobreposição, que dois dos quatro alunos destacaram. Também, um aluno disse achar o texto confuso e, outro aluno, falou que não entendeu o sentido do texto.

Novamente, dos sete que não tiveram dificuldades, três apresentaram a razão de não a terem tido, com sentido bem similar, de leitura e uma totalidade de compreensão. Um afirmou ter feito “uma leitura perfeita”, o outro que “o texto era fácil” e o outro que “a leitura era clara”. Contudo, as respostas como notamos não indicam que isso efetivamente tenha ocorrido. Entre outras possibilidades, é provavelmente que estivessem querendo agradar a

pesquisadora-professora, ou apenas terminar sem se preocupar em apontar dificuldades.

Como a primeira aula, foi dividida em três momentos: Conversa com toda classe sobre o livro e um pouco de Física quântica; A leitura e a tentativa de resolução das atividades sozinhos; por fim, em pequenos grupos ou individualmente, nos chamavam para ajudarmos na atividade. Novamente, os alunos apresentaram dificuldades na leitura, optando por responderem como estava no texto ou nossa fala.

#### **4.1.4 Análise das informações obtidas na terceira atividade**

Na última atividade infelizmente só dois alunos desta turma responderam e apenas um deles havia participado de todas as atividades anteriores. Seleccionamos este para realizar o estudo mais detalhado de suas respostas e acompanharmos o seu desenvolvimento nas atividades.

Como apontado no plano da UE, a leitura proposta foi individual de um trecho do prefácio do livro de Einstein e Infeld (1980). A escolha do trecho foi devido à comparação que os autores fazem da investigação científica e policial, mencionando o Sherlock Holmes. Antes de solicitarmos que os alunos lessem, perguntávamos se eles conheciam Einstein; ninguém nos respondeu. Então, explicamos que foi um físico famoso do começo do século XX, que questionou a Física quântica, ao mesmo tempo que foi um dos cientistas que ajudou nos primeiros passos do desenvolvimento da mesma.

Após esta breve conversa, os alunos responderam a atividade com três questões, entre as quais pedimos que eles colocassem as suas dificuldades. Outro ponto, que solicitamos, foi o que entendiam sobre investigação científica e investigação policial.

Ao compararmos as leituras realizadas pelos alunos sobre a teoria quântica na pré-atividade, após a aula do professor e nesta atividade, podemos dizer que nem com a explicação do professor, nem com as leituras os alunos se envolveram nas atividades. Um dos possíveis motivos que ressaltamos é a proximidade da aula com a UE com as férias, as quais se tornam mais interessantes, especialmente, depois de um ano letivo. Ao se vislumbrar com o final do ano e com as férias, os estudantes estavam divididos entre a vontade de adquirir novos conhecimentos e finalizar as aulas, sendo aprovados. Ademais sabemos que a teoria quântica é um tema complexo para ser trabalhado em tão pouco tempo.

## 4.2 Análise das respostas de um estudante

Começamos na pré-atividade, que Caio respondeu indutivamente pela aula que foi dada pelo professor, como mencionado anteriormente.

1. Você já escutou falar de mecânica quântica? Se sim, o quê? E, onde?

1. Sim, é algo que medie uma quantidade grande de energia como a radiação. [Caio]

2. Você sabe o que é elemento de realidade? Se sim, como você contaria a um amigo o que é?

2. É quando você pode afirmar o que você tá vendo. Exemplo quando to frente a frente com uma pessoa. [Caio]

3. Você já escutou falar de probabilidade? Se sim, o quê? E, onde?

3. É o alguma Probabilidade de chance de acontece [Caio]

4. Você já escutou falar de computação quântica? Se sim, onde? E, o quê?

4. A menor quantidade de energia [Caio]

Na primeira atividade, notamos que, devido ao tamanho do texto e pelo fato de ter coincido com o dia que o professor estava passando as notas, os alunos tiveram menos tempo para discussão. Foram conversas mais pontuais e em geral que um aluno dizia a um grupo de alunos o que estava respondendo. Caio, com relação à primeira questão, afirmou que o texto é claro e que não teve dificuldades.

1. Você teve alguma dificuldade na leitura? Se sim, quais?

1. Não por que o texto é muito claro [Caio]

2. Como você contaria a um amigo o que acabou de ler?

2. Eu contaria que a teoria quântica é quando apenas um novo recém-cunhado a natureza ondulatória quando particulado de luz e da materia. [Caio]

Notamos que ele fez uma cópia empírica do texto, pulando algumas palavras, com isso apresenta equívocos na mesma:

“[...] - Mas o que é a Teoria Quântica?

- É apenas um novo nome recém-cunhado para natureza ondulatória quanto particulada, da luz e da matéria [...]” (BRUCE, 2001, p.208)

Destacamos que as diferenças em algumas palavras sejam possivelmente por erros na cópia. Inclusive havíamos notado que o aluno não estava atento à leitura.

3. O que você entende por:

a) Quantidades discretas

3. a) Quantidade discreta sei o como elétrons e ftons, cujo energia admitidas é extremamente definida.

Novamente, o aluno repete empiricamente do texto, sem aparentemente se preocupar com o sentido das palavras, pois inclusive troca o termo “estritamente” por “estremamente”: “(...) *quantidades discretas específicas* – como elétrons e fótons, cuja energia admitida é estritamente definida [...]” (Ibid., 2001, p. 208).

b) Sistema Óptico

b) É o paradoxo da teoria quântica anda por resolver continua sendo o de que qualquer sistema dado parece evoluem numa multiplicidade.

Da mesma maneira como nas respostas anteriores, o aluno apenas faz uma cópia idêntica ao referido no texto equivocando-se ao trocar “ainda” por “anda”. É possível que tenha pulado o “i” ao escrever, mas é provável que isso tenha ocorrido por não ter-se detido no sentido que escreveu, simplesmente, tendo copiado uma parte do último parágrafo do texto entregue para leitura e, onde apareciam as palavras “sistema óptico”.

“(...) *O paradoxo da teoria quântica ainda por resolver continua sendo o de que qualquer sistema dado parece evoluir numa multiplicidade (...)*” (Ibid., 2001, p. 249).

c) Mensuração

Que o aluno Caio deixou em branco.

Na segunda atividade, como na aula anterior o professor já havia dado as notas, os alunos não gastaram tempo de aula perguntando suas médias ao professor. Também, como o texto era menor, isso contribui para que os alunos lessem todo texto. E, as discussões em pequenos grupos possibilitaram mais envolvimento e participação dos alunos.

Isso ocorreu na maioria das turmas, todavia, em especial, na turma de Caio, os alunos estavam na escola apenas para socializar, quando o professor disse que teria

continuação da atividade de recuperação os alunos responderam que já estavam de férias e demoraram a se sentarem em seus lugares. Em especial, os alunos desta turma estavam jogando “detetive” e estavam em roda, então demoraram para arrumarem as cadeiras. Quando o fizeram, aparentemente, não estavam atentos à atividade, queriam apenas terminar e voltar a jogar.

Seguindo as respostas de Caio:

1. Como você explicaria a um amigo sobreposição de estados?

1. Então, o seu conjunto de estado teria se colapsado para esse outro. Você não estaria aqui mas sim na posição onde tivesse sido observada, é claro.

Novamente, nosso estudante copia o texto, numa resposta empírica, que embora sem equívocos de cópia, evidencia que ele não procurou relacionar com suas memórias de leituras o que diria a um amigo.

“O que aconteceria se eu tivesse sido observada em algum outro lugar? ”, Alice perguntou curiosa.

“Porque, então, o seu conjunto de estados teria se colapsado para esse outro. Você não estaria aqui, mas sim na posição onde tivesse sido observada, é claro.” (GILMORE, 1998, p. 64).

2. Você considera que neste texto foram trabalhadas algumas noções relacionadas à ciência?

Se sim, quais?

2. Física Quântica

Embora o texto não fale de Física quântica, quando apresentamos o que leriam dissemos sobre o assunto; possivelmente, o estudante trouxe a Física quântica como “elemento científico” de nossa fala.

3. Você teve alguma dificuldade na leitura? Se sim, quais?

3. Não [Caio]

Como na primeira atividade, o aluno afirma não ter tido dificuldade na leitura, isto sugere, entre outras possibilidades, que por ser a aula antes do intervalo e os alunos se sentirem atrapalhados em sua brincadeira por esta atividade, o aluno fez o mais rápido possível.

Na atividade 3, destacamos que embora fosse em dia letivo, os alunos se sentiam

praticamente de férias desde a data que realizamos a segunda atividade. Logo neste dia, além de poucos alunos na escola, menos eram os que queriam estar em sala de aula e realizar alguma atividade. Notamos que para a primeira questão sobre a diferença entre os tipos de investigação, Caio escreveu suas opiniões sobre as investigações.

1. Como você explicaria a um amigo investigação científica? E, policial?

1. Eu diferencio a investigação de científica e quando você esta procurando alguma coisa da ciencia e quando for policial de um amigo e diferente porque o policial pode prender.

Se considerarmos que provavelmente o aluno esqueceu de acentuar o primeiro “e” e o terceiro “e”, notamos que na investigação policial ele se refere apenas a um possível produto da investigação, prender alguém. Enquanto que no caso da investigação científica, não fica evidente se ao dizer “alguma coisa da ciência” ele está se referindo a possíveis procedimentos ou a algo já pronto no domínio da ciência.

Na segunda questão, como nas atividades anteriores, faz uma cópia idêntica do texto:

2. Após as leituras, como você explicaria a um amigo sobre o estudado nestas aulas?

2. Mas o cientista que lê o livro da natureza tem que achar a solução por si, mesmo, não pode, como impaciente leitor de novela.

No texto lido: “[...] *Mas o cientista que lê o livro da Natureza tem que achar por si mesmo; não pode, como impaciente leitor de novelas [...]*” (EINSTEIN; INFELD, 1980, p. 12)

Cabe destacar que apesar de realizar apenas repetição empírica, especialmente, nesta atividade, há uma indicação de que ele buscou no texto o que achou relevante contar a um amigo.

E, na terceira questão como nas demais leituras, o aluno disse que não apresentou dificuldades de leituras.

3. Você teve alguma dificuldade na leitura? Se sim, quais?

3. Não. [Caio]

Novamente nesta questão a resposta curta, indica aparentemente o querer terminar rapidamente.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer deste estudo, além da síntese de dois livros e análise dos capítulos referentes ao EPR, foi proposta uma análise de compreensão das leituras realizadas pelos alunos de textos de DC e DC/FC, numa UE, em aulas de Física de EM de uma escola estadual da cidade de Campinas.

Ressaltamos que, consideramos as leituras de DC e DC/FC em aulas de Física por alunos do EM de fundamental importância para uma educação que vise à formação cidadã, pois facilitam que haja aproximação reflexiva do aluno sobre o fazer ciência, além do papel social da ciência.

Realizamos a UE com as turmas em que havíamos estagiado nos anos anteriores e feito acompanhamento participativo das aulas da disciplina de Física durante o segundo semestre de 2016. Ao final do ano aplicamos nossa UE. Já tínhamos notado uma peculiaridade na dinâmica das turmas que observamos: cópias de atividades, comunicação via celular durante o período escolar e a deterioração do ensino ano a ano.

Destacamos que a nossa UE ocorreu ao final do ano letivo, com a proximidade das férias, o que pode ter motivado o não envolvimento dos alunos nas atividades propostas. Embora em pequenos grupos, tenhamos conseguido realizar debates e engajamento de alguns estudantes que se interessavam. Notamos que isso ocorreu, especialmente, pela parte filosófica da compreensão da Física quântica.

Um dos pontos que pretendemos ressaltar é o que motivou o interesse de alguns e gerou desconforto em outros, pois estavam no primeiro ano do EM e consideraram que ainda não tinham um grande repertório para discussão da concepção de Ciência. Notamos, especialmente pela questão 2 (Você considera que neste texto foram trabalhadas algumas noções relacionadas à ciência? Se sim, quais?) da segunda atividade, que os alunos nos questionavam constantemente em qual concepção de ciência deveriam considerar e pareciam ter necessidade de buscar um “real”, um único e verdadeiro sentido.

Embora poucos tenham apresentado nas atividades escritas aspectos do choque entre a Física clássica e a Física quântica, muitos, especialmente em nossos diálogos com eles, mostravam o conflitos e questionamentos entre algumas noções da MQ e as suas visões de mundo.

Também observamos que as aulas de Física nesta escola eram focadas em soluções de exercícios. Admitimos que esse foi outro motivo que possibilitou a resistência dos alunos ao propormos atividades de leitura de linguagem comum durante essas aulas. Pois os

estudantes relacionam o ato de ler textos desse tipo com disciplinas como Filosofia, História, Línguas e Sociologia, enquanto Matemática, Física e Química são consideradas aulas apresentadas dentro de uma linguagem matemática.

Ainda sobre a metodologia, as três aulas foram realizadas com base num diálogo com a turma, seguido da leitura de um texto e da proposição de três ou quatro questões para serem respondidas individualmente. Finalizando com discussões em pequenos grupos sobre as respectivas dúvidas dos alunos sobre a atividade e texto, supostamente, lido.

Notamos a importância de tratar os textos propostos nas atividades como a essência da aula, logo no viés de um “material didático”, aqui entendido como material trabalhado dentro de um ambiente escolar.

Contudo, observamos que, devido todo o contexto de final de semestre e período letivo, para a atividade que propusemos, o tempo que nos foi disposto, não nos foi suficiente para conseguirmos que os estudantes lessem os textos com tranquilidade de maneira que conseguissem configurar e apresentar melhor suas dúvidas. Logo, o tempo de discussão e mediação da leitura foi curto, seria necessário, a nosso ver, que tivéssemos pelo menos uma aula para leitura e uma aula para mediação de cada texto.

Além disso notamos que focamos em grupos menores, que se mostravam interessados. E excluímos outros alunos que poderiam se interessar caso ampliássemos o debate para toda a sala. Pois, muitas vezes, o desinteresse dos estudantes relaciona-se ao fato de encontrarem dificuldades e/ou facilidades nas atividades em sala de aula. Também para que isso ocorresse necessitaríamos de mais tempo.

Outra limitação que deve ser considerada é a dificuldade dos alunos com a linguagem utilizada pelos autores, ou seja, apesar deles escreverem para um público leigo, em muitos momentos usavam formações discursivas complexas. Talvez, em uma proposta ou uma nova tentativa com a UE, a este molde, devêssemos mudar a ordem de leituras dos textos.

Apesar de todo esse contexto escolar, notamos que seria uma possibilidade diferenciada de aulas de Física, como destacamos em pequenos grupos, mesmo em contexto de férias letivas, se envolveram na UE e mostraram interesse. Assim, defendemos a inserção de mais atividades com esse tipo discursivo em aulas de Física. Todavia, consideramos que um diálogo discursivo entre a linguagem comum e a linguagem matemática, que ocorre em algumas situações na Física, talvez fosse o ideal.

Por outro lado, entendemos e respeitamos a atual situação do professor da escola

estadual, que possui uma gama muito grande de trabalho e necessita assumir muitas turmas para conseguir uma fonte de renda mínima, reduzindo, assim, o tempo restante para elaboração das aulas.

Também nos compete destacar que o assunto que nos propusemos a discutir com os alunos não é uma temática simples, logo, não foi possível notar repetição história, ou seja, nenhum aluno relacionou o, supostamente, lido com suas memórias de leituras.

Porém, enfatizamos que o tema é complicado. Os próprios autores, físicos, dos livros que analisamos, afirmam a complexidade da temática tanto da MQ, quanto da discussão decorrente sobre as concepções científicas envolvidas.

Portanto, com relação ao paradoxo EPR, torna-se importante, a nosso ver, esse diálogo decorrido entre expoentes físicos do século XX. Possibilita que entendamos a ciência como um processo em construção, não como um produto uma caixa fechada, além de possibilitar a discussão da heterogeneidade científica. Também ressaltamos que o tema é de extrema importância para construção de toda ciência dos séculos XX e XXI que decorreu e vem decorrendo dele.

Com relação às obras, constatamos que especialmente o livro “Alice no país do Quantum” (1998), no qual o próprio autor explicita que utiliza alegorias, há várias delas ao longo do livro e, embora apresentamos alguns durante nosso trabalho, muitas não foram notadas, outras esquecidas e algumas silenciadas.

Ressaltamos, entretanto, que texto de DC/FC traz para o contexto de sala de aula discussões a respeito de como a ciência funciona e da sua relação com a sociedade. Abriga as várias sensações que o ser humano tem diante do mundo científico, por meio da lógica ficcional. Aborda, a nosso ver, de forma didática, as controvérsias e explorações científicas que ao público leigo parecem, muitas vezes, incompreensíveis.

Apontamos ainda que as alegorias que são utilizadas nos textos de DC/FC têm a função de evidenciar a ruptura entre o mundo real e o imaginário, no qual se desenvolve a ação do texto. Segundo Piassi (2007a) é essa descontinuidade entre o real e o imaginário que permite a produção de um mundo onde os limites físicos da realidade não existem e se podem examinar livremente os fenômenos.

Ao mesmo tempo em que a DC/FC abre fontes indiscutíveis de reflexão e aprofundamento de discussão, por apresentar uma linguagem complexa e por abordar assuntos também complexos como a ciência em geral, esta acaba sendo uma barreira para que os estudantes se interessem pela mesma. Entretanto, a complexidade dos textos não

desqualifica a leitura em aulas de Física, apenas nos orienta para importância do professor como mediador em sala de aula. Consideramos que os textos sejam pensados para trabalhar o próprio conteúdo de sua aula e não apenas como motivadores, Piassi (2013).

Em Bruce (2001) notamos a utilização de uma gama menor de alegorias. O autor trabalha mais com elementos já existentes na história da literatura, como especialmente, personagens criados pelo autor Artur Conan Doyle. Entretanto, os casos traçam um caráter alegórico entre ciência e narrativa ficcional, construindo, assim, um novo tipo discursivo tal como Gilmore (1998), que aqui caracterizamos como DC/FC.

Embora entendamos a multiplicidade de leituras que há em um discurso, destacamos ainda que, por meio de alegorias, estas possibilidades aumentam, permitem, assim, uma leitura de entretenimento e informativa ao mesmo tempo. Ressaltamos que dentro desta amplitude de leituras tentamos elaborar uma compreensão mais pertinente possível sobre o corpus textual do livro e, especialmente, do capítulo sobre o paradoxo EPR, definido pelos autores.

Concluindo, inicialmente destacamos o problema de termos trabalhados com recortes de livros com narrativas. Ou seja, ao se trabalhar com recortes de capítulos de textos de DC/FC, mexe na estrutura e altera-se a maneira como o discurso está construído, podendo perder a narrativa da história, o que dificulta a leitura. Além do que modificando o modo como esse é apresentado, dentro da perspectiva de que forma e conteúdo são indissociáveis, transforma-se em outra linguagem discursiva.

Notamos que, talvez, pela maneira que construímos nossa UE com recortes da DC/FC, podemos ter negligenciado a narrativa em prol dos nossos objetivos em ensinar física, dificultando a leitura dos alunos e indisposição dos mesmos para realiza-la.

Ressaltamos que possivelmente o tempo para a realização das atividades, o final do semestre, a obrigatoriedade das atividades enquanto recuperação, a falta de hábito de leitura em aulas de Física e a proposta de utilização de apenas uma metodologia de leitura e discussão também podem ter dificultado a interpretação dos alunos e a realização da UE com foco não apenas no conteúdo científico dos textos, mas no discurso dos autores.

Por sua vez, consideramos que, nossa mediação em sala de aula tenha sido coerente com as atividades que propusemos. Tal como, os livros possuem um grande potencial de leitura, abrindo a imaginação e a mente dos alunos, o que possibilitaria ao professor mediar um discurso polêmico aos estudantes e uma formação mais crítica dos mesmos.

Outra maneira interessante de trabalhar com essas obras seria através da formação continuada e inicial dos professores. Ou seja, propor oficinas interativas com os futuros e/ou atuais docentes possibilitando aos mesmos novas maneiras de ensinarem física dentro e fora de sala de aula com este tipo textual, envolvendo mais estudantes dentro da visão cultural da Física.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHARANOV, Y.; ROHRLICH, D. **Quantum Paradoxes: Quantum Theory for the Perplexed**. Weinheim: Wiley-VCH, 2005.

ALMEIDA, M. J. P. M. The Role Of Everyday And Formal Language In High School Physics Education And Representations In Scientific Texts. In: PINTO, Roser; SURINACH, Santiago. (Org.). **Physics Teacher Education Beyond 2000**. Paris: The Data Science Library- Elsevier, 2000, p. 369-372.

\_\_\_\_\_. Discursos da ciência e da escola: ideologia e leituras possíveis. Campinas, SP: Mercado de Letras, 2004.

ALMEIDA, M.J.P.M.; RINCON, A. E. . Divulgação científica e texto literário: uma perspectiva cultural em aulas de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 10, n. 1, p. 7-13, 1993. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/9791/15138>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

BACHELARD, G. A epistemologia. Rio de Janeiro: Edições 70, 1971.

\_\_\_\_\_. A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BALDESSIN, M. G. S. et al. **A ficção científica como derivação da utopia: a inteligência artificial**. 2006. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Estudos da Linguagem, UNICAMP, Campinas, 2006.

BARCELLOS, M. E. **História, Sociologia, Massa e Energia: uma reflexão sobre a formação de pesquisadores em Física**. 2008. Dissertação (Mestrado)- Universidade de São Paulo, 2008.

BOHR, N. Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? **Physical review**, v. 48, n. 8, p. 696, 1935.

BORIM, D. C. D. E.; ROCHA, M. B. **Análise do potencial didático do livro de ficção científica no ensino de ciência**. 2015. 155f. Dissertação (Mestrado) - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2015.

BRUCE, C. As aventuras científicas de Sherlock Holmes: o paradoxo de Einstein e outros mistérios. (2001) Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2002.

\_\_\_\_\_. About me. Disponível em: <<http://www.colinbruce.org>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

BRUGLIATO, É. T. et al. **A produção de sentidos sobre a bomba atômica em diferentes tipos de discursos**. 2016. 152f. Dissertação (Mestrado)- Instituto de Física Gleb Wataghin – IFGW, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

CAMARÃO, J. D. M. Alice no país das maravilhas. **Cad. Pesq.**, São Luís, v. 6, n. 2, p. 77-84, jul./dez. 1990.

CARROLL, L. (1895) Alice no País das Maravilhas, Universo dos Livros, 2010.

CASSIANI, S., GIRALDI, P. M., LINSINGEN, I. É possível propor a formação de leitores nas disciplinas de Ciência Naturais? **Contribuições da análise de discurso para a educação em ciência. Educação Teoria e Prática**, v. 22, n. 40, 2012. Disponível em: <<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/educacao/>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

CEIA, C. M. Sobre o conceito de alegoria. **Matraga**, n. 10, p. 21, 1998.

CHIBENI, S. S. **Algumas noções sobre o formalismo quântico** (notas de aula, 4, 2000-Unicamp). 2000. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/~chibeni/textosdidaticos/formalismomq.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2016.

COELHO, J. C.; MARQUES, C. A. Contribuições freirianas para contextualização no ensino de Química. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciência**, v. 9, p. 1-17, 2007.

DAVIDOVICH, L. Einstein e a Mecânica Quântica. (2013). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/~ldavid/arquivos/Einstein%20e%20a%20Mecanica%20Quantica%20-%20Ciencia%20e%20Meio%20Ambiente.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

\_\_\_\_\_. Os quanta de luz e a ótica quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, 2015.

DE SOUZA, A. R.; NEVES, L. A. dos S. O livro paradidático no ensino de Física: uma análise fabular, científica e metafórica da obra Alice no País do Quantum: A Física Quântica ao alcance de todos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 3, p. 1145-1160, dez. 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n3p1145>>. Acesso em: 29 jul. 2017.

DIAS, A. C. G.; BARLETTE, V. E.; MARTINS, C. A. G. A opinião de alunos sobre as aulas de eletricidade: uma reflexão sobre fatores intervenientes na aprendizagem. **Experiências em Ensino de Ciência**, v. 4, n. 1, p. 107-117, 2009. Disponível em: <[http://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo\\_ID76/v4\\_n1\\_a2009.pdf](http://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID76/v4_n1_a2009.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2015.

DIAS, R. H. A. **A Física moderna e contemporânea em textos de divulgação científica: leituras de licenciados**. 2009. Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual de Campinas, 2009.

DOYLE, A.I.C. **SHERLOCK HOLMES** (série de livros). (1887-1927).

EINSTEIN, A.; INFELD, L. (1938) **A evolução da Física**, 4. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1980.

FÁVARO, T. “Eni Orlandi fala sobre análise do discurso e linguagem em entrevista: 'Significar com palavras é diferente de significar com silêncio', afirma”. nov. 2012. Disponível em: <<http://redeglobo.globo.com/globouniversidade/noticia/2012/11/eni-orlandi-fala-sobre-analise-do-discurso-e-linguagem-em-entrevista.html>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

FERREIRA, J. C. D.; RABONI, P. C. A. A ficção científica de Júlio Verne e o ensino de Física: uma análise de “Vinte Mil Léguas Submarinas” **Caderno Brasileiro de Ensino em Física**, v. 30, 2013.

FERREIRA, J.; REIS, P. As narrativas de ficção científica na educação em ciência: uma análise sobre as concepções de professores portugueses em formação. In Bravo Galán, J. L. (ed.). **27 Encuentros de didáctica de las ciencias experimentales**. Badajoz: Universidade de Badajoz, 2016. p. 1351-1357.

FREIRE JR., O.; GRECA, I. M. Informação e teoria quântica. **Scientiae Studia**, v. 11, n. 1, p. 11-33, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ss/v11n1/02.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2016.

GAMA, L. C. **Divulgação científica: leituras em classes de ensino médio**. 2005. 216f. Dissertação (Mestrado em Educação)- Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000375584&opt=4>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

GAMA, L. D.; ZANETIC, J., “Abrindo caixas pretas em aulas de Física: Uma reflexão educacional a partir dos conceitos de Bruno Latour”. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 20., 2013, São Paulo, 2013.

GILMORE, R. (1995) **Alice no País do Quantum**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998.

GIRALDELLI, C. G. C. M. **Gestos de interpretações na leitura de um texto literário de um texto de divulgação científica: crianças em situação escolar**. 2007. Dissertação (Mestrado em Educação)- Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2007. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000407795&opt=4>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

GIRALDI, P. M.; CASSIANI, S. Leitura em aulas de Ciência: Análise de Condições de Produção. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIA, 7., 2009, Florianópolis, SC. Atas do ENPEC, 2009. p. 1-12.

GONÇALVES, E. M. Os discursos da divulgação científica—um estudo de Revistas especializadas em divulgar ciência para o público leigo. **Brazilian Journalism Research**, v. 9, n. 2, p. 210-227, 2013.

HALL, S. A centralidade da cultura: notas sobre as revoluções culturais do nosso tempo. **Educação e Realidade**, v. 22, n. 2, p. 15-46, 1997.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. 8. ed. 4 volumes. Rio de Janeiro, RJ: Livros Técnicos e Científicos, 2009.

HEISENBERG, W. (1958) **Física e Filosofia**. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1981.

KAKU, M. **O Cosmos de Einstein**. São Paulo: Cia das Letras, 2005.

LANÇA, T. **Newton numa leitura de divulgação científica: produção de sentidos no ensino médio**. 2005. 146f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000374267&opt=4>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

LEONARDO, E. M. **A ficção científica no Brasil nas décadas de 60 e 70 e Fausto Cunha**. 2007. Dissertação (Mestrado em Teoria e História Literária) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

LIMA, L. G. de. **A abstração como ponte entre a Física e a literatura na construção de conceitos de mecânica quântica no ensino médio**. 2014. 353f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

LIMA, M. C. A. ; ALMEIDA, M. J. P. M. Articulação de textos sobre nanociência e nanotecnologia para a formação inicial de professores de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, p. 4401-4409, 2012.

MAGALHÃES, G. L. **Crianças de seis anos no ensino fundamental: elementos de ciência em escolas rurais do município de Três Pontas/MG**. 2008. 164 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

MARTINS, R. A. Como distorcer a Física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica 1 - Física clássica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 15, n. 3, p. 243-264, 1998. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6886/6345>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

MICHINEL, J. L. M.; SILVA, H.; ALMEIDA, M. J. P. M. Explorando funcionamientos de la lectura. **Revista Mexicana de Física**, México, v. 49, n. 3, p. 40-43, 2003.

MICHINEL, J. L. M. **O funcionamento de textos divergentes sobre energia com alunos de Física: a leitura no ensino superior**. 2001. 220f. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000223218&opt=4>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 32-46, jan./jun. 2014.

OLIVEIRA, I.; VIEIRA, C. A. **Revolução dos Q-bit: o admirável mundo da computação quântica**. Rio de Janeiro: Zahar, 2009.

ORLANDI, E. P. **A linguagem e seu funcionamento: as formas do discurso**. São Paulo: Brasiliense, 1983

\_\_\_\_\_. Discurso, imaginário social e conhecimento. Em Aberto, Brasília, ano 14, n. 61, jan./mar. 1994.

\_\_\_\_\_. **As formas do silêncio: no movimento dos sentidos**. 3. ed. Campinas: Editora Unicamp, 1995.

\_\_\_\_\_. **Interpretação: autoria, leitura e efeitos do trabalho Simbólico**, 4. ed. Campinas: Pontes, 1996.

\_\_\_\_\_. **Paráfrase e Polissemia: a fluidez nos limites do simbólico**. Rua, v. 4, p. 9-19, 1998.

\_\_\_\_\_. Identidade linguística escolar. In: SIGNORINI, I. (Org.) Língua(gem) e identidade: elementos para uma discussão no campo aplicado. Campinas: Mercado das Letras, 1998, p. 203-212.

\_\_\_\_\_. Divulgação Científica e Efeito Leitor: Uma Política Social e Urbana in Produção e Circulação do Conhecimento Vol 1 (Estado, Mídia, Sociedade). Org. Eduardo Guimarães. Pontes, CNPq/ Pronex e Núcleo de Jornalismo Científico. 2001.

\_\_\_\_\_. **Análise de discurso: princípios & procedimentos.** 6. ed. Campinas, SP: Pontes, 2005.

\_\_\_\_\_. A questão do assujeitamento: um caso de determinação histórica. Com Ciência: revista Eletrônica de Jornalismo Científico, 10 jul. 2007. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/comciencia/?section=8&edicao=26&id=296>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

\_\_\_\_\_. **Discurso em análise:** Sujeito, Sentido, Ideologia. Campinas, SP: Pontes, 2012.

PATY, M. **A Física do século XX.** Traduzido por Pablo Mariconda. São Paulo: Idéias & Letras, 2001.

PECHULA, Márcia Reami. A ciência nos meios de comunicação de massa: divulgação de conhecimento ou reforço do imaginário social? **Ciênc. educ.**, Bauru, v. 13, n. 2, p. 211-222, aug. 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-73132007000200005&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132007000200005&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 18 set. 2016.

PEREIRA, A. G.; TERRAZAN, E. A. A multimodalidade em textos de popularização científica: contribuições para o ensino de ciência para crianças. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 2, p. 489-503, 2011. Disponível em: <<http://www2.fc.unesp.br/cienciaeducacao/viewarticle.php?id=862&layout=abstract>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

PIASSI, L. P. C. **A ficção científica no ensino de ciência em um contexto sociocultural**, Universidade de São Paulo, 2007a. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-10122007-110755/pt-br.php>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. De olho no futuro: ficção científica para debater questões sociopolíticas de ciência e tecnologia em sala de aula. **Ciência & Ensino**, v. 1, n. esp., 2007b.

\_\_\_\_\_. Contatos: a ficção científica no ensino de ciência em um contexto sociocultural. 2007. 462f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007c.

\_\_\_\_\_. O segredo de Arthur Clarke: Um modelo Semiótico para tratar questões sociais da ciência usando a Ficção Científica. **Rev. Ensaio**, Belo Horizonte, v. 14, n. 1, p. 209-226, 2012.

\_\_\_\_\_. Ficção científica: a contribuição do estranhamento cognitivo no ensino de ciência. **Ciência & Educação**, v. 19, p. 151-168, 2013.

\_\_\_\_\_. A ficção científica como elemento de problematização na educação em ciência. **Ciência & Educação**, v. 21, p. 783-798, 2015a.

\_\_\_\_\_. **Interfaces didáticas entre cinema e ciência: um estudo a partir de 2001: uma odisséia no espaço.** São Paulo: Livraria da Física, 2015b. v. 1. 270 p.

PIASSI, L. P.; PIETROCOLA, M. Ficção científica e ensino de ciência: para além do método de 'encontrar erros em filmes'. **Educ. Pesqui.**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 525-540, dez. 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-97022009000300008&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-97022009000300008&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 29 set. 2016.

PINHÃO, F.; MARTINS, I. Cidadania e ensino de ciência: questões para o debate. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciência**, v. 18, p. 9-29, 2016.

PINTO, G. A. Literatura não-canônica de divulgação científica em aulas de ciência. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciência**, v. 11, n. 2, p. 1-19, 2009. Disponível em: <<http://www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio/article/view/219/250>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

REIS, P.; GALVÃO, C. O diagnóstico de concepções sobre os cientistas através da análise e discussão de histórias de ficção científica redigidas pelos alunos. **REEC**, v. 5, n. 2, 2006.

REZENDE, F.; OSTERMANN, F. A prática do professor e a pesquisa em ensino de Física: novos elementos para repensar essa relação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 3, p. 316-337, 2005. Disponível em: <<http://www.fsc.ufsc.br/cbef/port/22-3/artpdf/a2.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

SILVA, A. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. A noção de mobilização na associação da Física a objetos tecnológicos contemporâneos. *Ciênc. educ. (Bauru)*, Bauru, v. 21, n. 2, p. 417-434, June 2015. Available from [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-73132015000200010&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132015000200010&lng=en&nrm=iso) Acesso em: 18 set. 2016.

SILVA, A. C.; ALMEIDA, M. J. P. M.; HALLACK, M. L. Fragmentos do paradoxo EPR em um trecho de divulgação científica: uma pesquisa de cunho exploratório com ingressantes na universidade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 32, n. 1, p. 53-75, set. 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2015v32n1p53/29037>>. Acesso em: 29 set. 2016.

SILVA, A. M. **O admirável mundo novo da República Velha: o nascimento da ficção científica brasileira no começo do século XX.** 2008. 193 f. Tese (Doutorado em Ciência da Literatura)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <[http://www.posciencialit.letras.ufrj.br/images/Posciencialit/td/2008/12-alexandermeireles\\_oadmiravel.pdf](http://www.posciencialit.letras.ufrj.br/images/Posciencialit/td/2008/12-alexandermeireles_oadmiravel.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2015.

SILVA, D. E. **Divulgação científica no Ensino Médio: a equação relativística entre massa e energia.** 2012. 128f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2012. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000878087&fd=y>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

SILVA, H. C. Leitura de um texto de divulgação científica: um exemplo em gravitação. **Ciência & Ensino**, n. 5, p. 6-11, 1998. Disponível em: <<http://prc.ifsp.edu.br/ojs/index.php/cienciaeensino/article/view/42/43>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

\_\_\_\_\_. **Discursos escolares sobre gravitação newtoniana:** textos e imagens na Física do ensino médio. 2002. 234f. Tese (Doutorado em Educação)- Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2002. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000249924&opt=4>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

\_\_\_\_\_. O que é divulgação científica? **Ciência & Ensino**, v. 1, n. 1, p. 53-59, 2006. Disponível em: <<http://prc.ifsp.edu.br/ojs/index.php/cienciaeensino/article/view/39/98>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

SILVA, I. L. **O ideal do belo como princípio, meio e fim do ensino-aprendizagem da Física**. 2010. 170f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciência (Modalidade Física) - Instituto de Física da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SILVA, J. A.; KAWAMURA, M. R. D. A natureza da luz: uma atividade com textos de divulgação científica em sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 18, n. 3, p. 316-339, 2001. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6667/14045>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

SOUZA, S. C. **Leitura e fotossíntese:** proposta de ensino numa abordagem cultural. 2000. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2000. 142f. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000197598&opt=4>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

TEIXEIRA, F. M. Alfabetização científica: questões para reflexão. **Ciênc. Educ.**, Bauru, v. 19, n. 4, p. 795-809, 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-73132013000400002&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132013000400002&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 18 set. 2016.

WHITAKER, A. **Einstein, Bohr and the Quantum Dilemma**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

ZANETIC, J. Física também é cultura. 1989. 160f. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

\_\_\_\_\_. **Ciência e seu desenvolvimento histórico e social:** implicações para o ensino. Ciência na escola de 1º grau. São Paulo: Secretaria de Estado da Educação/SP, 1990. p. 7-19.

## Leituras Complementares

ALMEIDA, M. J. P. M.; MOZENA, E. R. Luz e outras formas de radiação eletromagnética: leituras na 8ª Série do Ensino Fundamental. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 3, p. 426-433, 2000. Disponível em: <[http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22\\_426.pdf](http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22_426.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2015.

ALMEIDA, M. J. P. M. O texto de divulgação científica como recurso didático na mediação do discurso escolar relativo à ciência. In: PINTO, G. A. (Org.). **Divulgação científica e práticas educativas**. Curitiba, PR: CRV, 2010. p. 11-24.

ASSIS, A.; TEIXEIRA, O. P. B. Argumentações discentes e docente envolvendo aspectos ambientais em sala de aula: uma análise. **Ciênc. educ.**, Bauru, v. 15, n. 1, p. 47-60, 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-73132009000100003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132009000100003&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 18 set. 2016.

ASSUMPCAO, A.; GOUVÊA, G. Práticas Enunciativas em um Evento de Divulgação Científica em um Museu de Ciência do Rio de Janeiro. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciência**, v. 12, p. 49-68, 2010.

BISPO, W. F. O.; DAVID, D. G. F. Sobre a cultura material dos primeiros testes experimentais do teorema de Bell: uma análise das técnicas e dos instrumentos (1972-1976). In: FREIRE JR., O.; PESSOA JR. O.; BROMBERG, J. L. (Orgs.). **Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais**. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011.

BOHR, N. Física Atômica e Conhecimento Humano. Trad. Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 1958.

CALDEIRA, A. Física Moderna: Mito e Ciência. A Física Quântica: o que é, e para que serve. **Com Ciência: Revista Eletrônica de Jornalismo Científico**, n. 20, 2001.

CAPECCHI, M. C. V. M.; CARVALHO, A. M. P.; SILVA, D. Relações entre o discurso do professor e a argumentação dos alunos em uma aula de Física. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciência**, v. 2, n. 2, p. 1-15, 2002. Disponível em: <<http://www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio/article/view/23/54>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

CHIBENI, S. S. A Incompletude da Mecânica Quântica. **O que nos faz pensar**, n.5, 89-113, 1991.

\_\_\_\_\_. Implicações filosóficas da microFísica. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência** (UNICAMP), Campinas, v. 2, n.2, p. 141-164, 1992.

\_\_\_\_\_. Indeterminacy, EPR and Bell. **European Journal of Physics**, v. 22, p. 9-15, 2001.

CUNHA, M. O. T. Emaranhamento: dos Gatos de Schrödinger à Álgebra Multilinear. In: BIENAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE MATEMÁTICA, 2004, 2., Salvador. Minicurso. Disponível em: <<http://www.bienasbm.ufba.br/M27.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2016.

DAYRELL, J. A escola como espaço sócio-cultural. In: DAYRELL, J. (org.). **Múltiplos olhares sobre educação e cultura**. Belo Horizonte: UFMG, 1996. p. 136-161.

DAROS GAMA, L.; ZANETIC, J. . Abrindo caixas pretas em aulas de Física: Uma reflexão educacional a partir dos conceitos de Bruno Latour. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2013, 20., São Paulo. **Anais do XX Simpósio Nacional de Ensino de Física**, 2013.

EISBERG, R. M.; RESNICK, R. **Física quântica**: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

EINSTEIN, A. **Como vejo o mundo**. São Paulo: Editora Brasiliense, 1981.

\_\_\_\_\_. **Notas autobiográficas**. 5. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1981.

EINSTEIN, A.; PODOLSKY, B.; ROSEN, N. Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? **Physical review**, v. 47, n. 10, p. 777, 1935.

FOUREZ, G. Crise no ensino de ciência? **Investigações em Ensino de Ciência**, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2003. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo\\_ID99/v8\\_n2\\_a2003.pdf](http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID99/v8_n2_a2003.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2015.

GERMANO, M. G.; KULESZA, W. A. Popularização da ciência: uma revisão conceitual. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 7-25, 2007. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/1546/5617>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

GRANGER, G. G. **A ciência e as ciências**. Tradução de Roberto Leal Ferreira. São Paulo: Unesp, 1994.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da mecânica quântica introdutória. **Investigações em Ensino de Ciência**, v. 6, n. 1, p. 29-56, 2001. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo\\_ID179/v6\\_n1\\_a2001.pdf](http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID179/v6_n1_a2001.pdf)>. Acesso em: 09 jan. 2016.

HOLIDAY, W. G.; YORE, L. D.; ALVERMAN, D. E. The reading science learning writing connection. **Journal of research in science teaching**, v. 31, n. 9, 1994.

KEMPER, A.; ZIMMERMANN, E.; GASTAL, M. L. Textos populares de divulgação científica como ferramenta didático-pedagógica: o caso da evolução biológica. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciência**, v. 10, n. 3, p. 25-50, 2010. Disponível em: <<http://revistas.if.usp.br/rbpec/article/view/130/117>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

KRING, D. A. The Strange Case of Mrs. Hudson's Cat: And Other Science Mysteries Solved by Sherlock Holmes (Book and Multimedia Reviews). **Meteoritics & Planetary Sci**, v. 33, p. 375, 1998. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1945-5100.1998.tb01641.x/epdf>>. Acesso: 30 jun. 2016.

KUTTNER, F.; ROSENBLUM, B. Bell's Theorem and Einstein's 'Spooky Actions' from a Simple Thought Experiment. **The Physics Teacher**, v. 48, n. 2, p. 124-130, 2010. Disponível em: <<http://scitation.aip.org/content/aapt/journal/tpt/48/2/10.1119/1.3293664>>. Acesso em: 09 jan. 2015.

LEHNER, C. O realismo de Einstein e sua crítica da Mecânica Quântica. In: FREIRE JR., O.;

PESSOA JR., O.; BROMBERG, J. L. (Orgs.). **Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais**. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011.

LIMA, M. F. C.; RAPPOPORT, T. A sala de aula, o ensino de Física e as novas tecnologias: a Professora Magali F. C. Lima entrevista a Professora Tatiana Rappoport. **Ciência em Tela**, v. 2, n. 1, p. 1-8, 2009. Disponível em: <<http://www.cienciaemtela.nutes.ufrj.br/artigos/0109entrevista.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

LOPES, G. **Leituras em aulas de Física na Educação de Jovens e Adultos no ensino médio**. 2009. 176f. Tese (Doutorado em Educação)- Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2009. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000469694&opt=4>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MACHADO, D. I.; NARDI, R. Construção e validação de um sistema hipermídia para o ensino de Física moderna. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, n. 1, p. 135-116, 2007. Disponível em: <[http://saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen6/ART6\\_Vol6\\_N1.pdf](http://saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen6/ART6_Vol6_N1.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2016.

MARTINS, I.; CASSAB, M.; ROCHA, M. B. Análise do processo de re-elaboração discursiva de um texto de divulgação científica para um texto didático. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciência**, v. 1, n. 3, p. 1-9, 2001. Disponível em: <<http://revistas.if.usp.br/rbpec/article/view/186/171>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

MARTINS, I.; NASCIMENTO, T. G.; ABREU, T. B. Clonagem na sala de aula: um exemplo do uso didático de um texto de divulgação científica. **Investigações em Ensino de Ciência**, v. 9, n. 1, p. 95-111, 2004. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo\\_ID111/v9\\_n1\\_a2004.pdf](http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID111/v9_n1_a2004.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2016.

MARTINS, R. A. Como distorcer a Física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica 2 - Física moderna. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 15, n. 3, p. 265-300, 1998b. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6887/6346>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

NASCIMENTO, T. G.; REZENDE JR., M. K. A produção sobre divulgação científica na área de educação em ciência: referenciais teóricos e principais temáticas. **Investigações em Ensino de Ciência**, v. 15, n. 1, p. 97-120, 2010. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo\\_ID230/v15\\_n1\\_a2010.pdf](http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID230/v15_n1_a2010.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2015.

NASCIMENTO, T. G. Contribuições da análise do discurso e da epistemologia de Fleck para a compreensão da divulgação científica e sua introdução em aulas de ciência. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciência**, v. 7, n. 2, p. 1-18, 2005a. Disponível em: <<http://www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio/article/view/95/143>>. Acesso em: 28

ago. 2015.

\_\_\_\_\_. O discurso da divulgação científica no livro didático de ciência: características, adaptações e funções de um texto sobre clonagem. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciência**, v. 5, n. 2, p. 15-28, 2005b. Disponível em: <<http://revistas.if.usp.br/rbpec/article/view/92/84>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Definições de Divulgação Científica por jornalistas, cientistas e educadores em ciência. **Ciência em Tela**, v. 1, n. 2, p. 1-8, 2008. Disponível em: <<http://www.cienciaemtela.nutes.ufrj.br/artigos/0208nascimento.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

NIGRO, R. G. Una evaluación preliminar de la lectura de textos de ciencias de diferentes géneros. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, n. 2, p. 376-395, 2010. Disponível em: <[http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen9/ART5\\_Vol9\\_N2.pdf](http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen9/ART5_Vol9_N2.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2015.

NIGRO, R. G.; TRIVELATO, S. L. F. Leitura de textos de ciência de diferentes gêneros: um olhar cognitivo-processual. **Investigações em Ensino de Ciência**, v. 15, n. 3, p. 553-573, 2010. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo\\_ID249/v15\\_n3\\_a2010.pdf](http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID249/v15_n3_a2010.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2015.

OPPENHEIM, J.; WEHNER, S. The Uncertainty Principle Determines the Nonlocality of Quantum Mechanics. **Science**, v. 330, p. 1072-1074, 2010.

ORLANDI, E. P. **Discurso e leitura**. 5. ed. São Paulo: Cortez: Editora da UNICAMP, 2000. 118 p.

\_\_\_\_\_. **Discurso e texto: formulação e circulação de sentidos**. Campinas: Pontes, 2001.

OSTERMANN, F. Um texto para professores do ensino médio sobre partículas elementares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 3, p. 415-436, 1999. Disponível em: <[http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v21\\_415.pdf](http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v21_415.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2015.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. Física moderna e contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 3, p. 267-286, 1999. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6795/6275>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Tópicos de Física Contemporânea na escola média brasileira: um estudo com a técnica Delphi. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 1998, 6., Florianópolis. **Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Física, 1998. (CD-ROM).

PAGLIARINI, C. R. **Leituras de cientistas do início da Física quântica no ensino médio: fronteiras com a Física clássica**. 2016. Tese (Doutorado em Multiunidades em Ensino de Ciência e Matemática) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

PESSOA JR., O.; BROMBERG, J. L. (orgs). **Teoria quântica: estudos históricos e implicações**

culturais. Campinas Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011.

PIASSI, L.P.C. Robôs e andróides: a abordagem de questões sociopolíticas de ciência e tecnologia em sala de aula. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciência**, v. 11, p. 165-184, 2011a.

\_\_\_\_\_. A perspectiva sociocultural da Física nos romances de ficção científica de Arthur Clarke. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciência**, v. 11, p. 205-226, 2011b.

PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a Física Quântica para o ensino médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 1, p. 7-34, 1999. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6873/6333>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

PINTO, S.; GOUVÊA, Guaracira. Mediação: significações, usos e contextos. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciência**, v. 16, p. 53-70, 2014.

POSPIECH, G. Teaching the EPR paradox at high school? **Physics Education**, v. 34, n. 5, p. 311-316, 1999. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/0031-9120/34/5/307>>. Acesso em: 09 abr. 2016.

SILVA, A. C. **Leitura sobre Ressonância Magnética Nuclear em Aulas de Física do Ensino Médio**. Universidade Estadual de Campinas, 2013. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000913193>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

SILVA, A. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. Física Quântica no Ensino Médio: o que dizem as pesquisas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 624-652, 2011. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n3p624/20255>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

SILVA, H. C. **Como, quando e o que se lê em aulas de Física no Ensino Médio**: elementos para uma proposta de mudança. 1997. 164f. Dissertação (Mestrado em Educação)- Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000121508>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

SILVA, H. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. O deslocamento de aspectos do funcionamento do discurso pedagógico pela leitura de textos de divulgação científica em aulas de Física. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, n. 3, p. 1-25, 2005. Disponível em: <[http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen4/ART8\\_Vol4\\_N3.pdf](http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen4/ART8_Vol4_N3.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2016

SOUZA, A. M. **Um Estudo de Emaranhamento e Desigualdades de Bell em Sistemas Térmicos Magnéticos**. 2008. Tese (Doutorado em Física) - Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Ministério da Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <[http://www.cbpf.br/~qbitrmn/teses/tese\\_alexandre.pdf](http://www.cbpf.br/~qbitrmn/teses/tese_alexandre.pdf)>. Acesso em: 09 ago. 2016.

STRACK, R.; LOGUÉRCIO, R.; PINO, J. C. D. Percepções de professores de ensino superior sobre a literatura de divulgação científica. **Ciência & Educação**, v. 15, n. 2, p. 425-442, 2009. Disponível em: <<http://www2.fc.unesp.br/cienciaeducacao/viewarticle.php?id=351&layout=abstract>>.

Acesso em: 28 ago. 2015.

TERRAZAN, E. A. A inserção da Física moderna e contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7392/6785>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

ZANOTELLO, M.; ALMEIDA, M. J. P. M. Produção de sentidos e possibilidades de mediação na Física do ensino médio: leitura de um livro sobre Isaac Newton. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 437-446, 2007. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/061205.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2015

ZYLBERSZTAJN, A. Concepções espontâneas em Física: exemplos em dinâmica e implicações para o ensino. **Revista de Ensino de Física**, São Paulo, v. 5, n.2, p. 3-16, 1983.

## ANEXOS

### ANEXO A – Questionário para recém- ingressantes

NOME : \_\_\_\_\_

DATA: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

CURSO: \_\_\_\_\_

—

Por favor, leia o seguinte texto:

No livro “A revolução dos q-bits”, páginas 66-67, os autores Ivan S. Oliveira e Cássio Leite Vieira escrevem que:

Em 1935, um artigo com o título “Podemos considerar completa a descrição quântica da realidade?” foi publicado no volume 47 de Physical Review, importante periódico norte-americano de Física. Os autores eram três influentes físicos do Instituto de Estudos Avançados de Princeton: Einstein e dois colaboradores, Boris Podolsky e Nathan Rosen. O trabalho pretendia demonstrar que a mecânica quântica era uma teoria incompleta e que, portanto, não poderia ser a “palavra final” sobre o comportamento da matéria microscópica.

Os autores começavam o artigo definindo o que seria um “elemento de realidade”. Segundo eles, um elemento de realidade é qualquer quantidade Física cujo valor pode ser previsto antes que uma medida seja feita. Por exemplo, a posição da bola chutada pelo atacante pode ser prevista antes que cada um dos senhores abra o olho e faça a medida. Portanto, é um elemento de realidade. A ideia de que as propriedades Físicas de objetos (massa, posição, energia ou velocidade de uma bola) existam antes que medidas sejam feitas sobre eles é chamada realismo pelos físicos.

[...] No artigo do EPR (Einstein, Podolsky e Rosen), era apontada, pela primeira vez, uma estranha propriedade de sistemas quânticos compostos: a medida de uma grandeza em uma parte do sistema afeta o comportamento de outra grandeza em outra parte, mesmo que esta esteja remotamente separada da primeira. [...]

- 1) Se você fosse contar a alguém o que leu nesse texto, o que você contaria?
  
- 2) Que dificuldades você teve na leitura do texto?
  
- 3) Antes de ler este texto você já tinha ouvido falar alguma coisa de Física quântica? O quê? Onde?
  
- 4) Você gostaria de ter aulas sobre Física quântica? Por quê?

## ANEXO B - Termo de consentimento

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

**Título da Pesquisa:** Entre alegorias de Divulgação e Ficção científica Leituras do Paradoxo EPR

**Responsáveis pela Pesquisa:** A pesquisa será desenvolvida pela mestrandia Maira Lavalhegas Hallack orientada pela Profa. Dra. Maria José Pereira Monteiro de Almeida (Faculdade de Educação - Unicamp). A apresentação do termo de consentimento será realizada por Maira Lavalhegas Hallack.

**Objetivo:** Com o desenvolvimento do projeto, pretendemos contribuir com as pesquisas que visam o ensino de física moderna para alunos de Ensino Médio, dando destaque às relações entre os seus principais conceitos e a prática para formação de cidadãos.

**Procedimentos e Métodos:** A fim de montarmos uma unidade de ensino com os principais conceitos que envolvem o Paradoxo de Einstein, Podolsky e Rosen e o desenvolvimento da Física Quântica sobre a interpretação da Mecânica Quântica, preparamos um questionário e algumas atividades de leituras e de discussões em salas de aulas a serem realizadas por alunos do primeiro ano do Ensino Médio da Escola Estadual Adalberto Nascimento – localizada na região do Taquaral do Município de Campinas - sendo uma atividade de reforço avaliativa.

**Participação na Pesquisa:** A participação na pesquisa é voluntária e os alunos que participarem poderão desistir em qualquer momento. Para tal, basta comunicar por escrito ao responsável no seguinte endereço:

Faculdade de Educação – UNICAMP  
Maira Lavalhegas Hallack  
A/C Professora Dr. Maria José Pereira Monteiro de Almeida  
Avenida Bertrand Russell, 801 – Cidade Universitária “Zeferino Vaz” – CEP 13083-865 Campinas/SP

**Riscos:** As atividades das quais os alunos participarão já vêm sendo desenvolvidas de maneira similar regularmente em outras pesquisas do mesmo grupo de estudo e pesquisa, o grupo de estudo e pesquisa em Ciência e Ensino (gepCE). São pesquisas baseadas em entrevistas, questionários escritos e gravações de áudio e/ou vídeo das aulas, sem que tenham sido registrados riscos para outros voluntários participantes. Consideramos então que esta pesquisa apresentará possibilidade de risco desprezível.

Ressaltamos que não haverá qualquer prejuízo ao aluno que não autorizar ou que retirar seu consentimento ao longo do acompanhamento e desenvolvimento das atividades durante o período letivo em que o pesquisador se fará presente. A retirada do consentimento pode ser feita a qualquer momento pelo aluno, bastando que o mesmo informe ao responsável que não deseja mais participar. Ressaltamos ainda que nenhuma das folhas de resposta será divulgada, sendo apenas utilizadas pela orientanda e sua orientadora, e que os nomes verdadeiros dos alunos não serão divulgados em hipótese alguma, sendo substituídos por nomes fictícios em eventuais citações para fins de análise visando relatórios de pesquisa e/ou outras publicações.

**Responsável pela pesquisa:**

Maira Lavalhegas Hallack  
m076860@g.unicamp.br

**Responsável:**

\_\_\_\_\_  
Maira Lavalhegas Hallack

NOME

\_\_\_\_\_  
Assinatura

Data: \_\_\_\_ de \_\_\_\_ / \_\_\_\_

**Voluntário:**

\_\_\_\_\_  
NOME

\_\_\_\_\_  
Assinatura

Data: \_\_\_\_ de \_\_\_\_ / \_\_\_\_

**ANEXO C - Aula 1**

BRUCE, C. As Aventuras Científicas de Sherlock Holmes: o paradoxo de Einstein e outros mistérios; tradução: Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed. 2002. (pg 208-209; 212-214; 249).

[...] Mas o que é essa Teoria Quântica?

- É apenas um novo nome recém-cunhado para a natureza, tanto ondulatória quanto particulada, da luz e da matéria, tal como revelada pelos últimos estudos de Challenger e Summerlee. Entidades ou probabilidades contínuas, de tipo ondulatório, se convertem em quantidades discretas específicas – como elétrons e fótons, cuja energia admitida é estritamente definida – quando observadas.

-Parece-me difícil imaginar algo de ameaçador surgindo de uma teoria que só é relevante para descrever entidades microscópicas, eu disse.

-Bem, nada poderia ter parecido mais misterioso e abstrato que as tentativas de medir a velocidade da luz que levaram à Relatividade, disse Holmes. O que atemoriza Mycroft particularmente é sua percepção de que nossa compreensão da Teoria Quântica, e portanto de suas possíveis consequências, ainda é muito deficiente.

- Mas pensei que os resultados da teoria ondulatória haviam sido testados com elevado grau de precisão, respondi, surpreso.

- Quantitativamente, sim. Mas o fato é que a mecânica newtoniana parecia ter grande exatidão, até que a Relatividade foi descoberta. Com consequências não só para objetos que se movimentam com velocidades extremas, mas para todos aqueles que não querem ser explodidos. Mycroft pensa que a verdadeira compreensão da teoria – sua interpretação, ou visualização, se você prefere, de como uma entidade pode ser ao mesmo tempo partícula e onda – está muitíssimo imperfeita. [...]

Um experimento que ele descreveu tem vívida semelhança com seu problema com os gatos. Deixando de lado suas tecnicidades, a essência é no estado de mais baixa energia, no fundo da armadilha – como os gatos lá em baixo nos beirais do telhado. No entanto, se você os deixa inobservados, desenvolve-se uma incerteza na posição deles, tal como previsto pela teoria das probabilidades de Sumerlee. Deixe-os inobservados por tempo suficiente, e alguns começam a escapar da armadilha, exatamente como os gatos que conseguem chegar à janela.

[...]

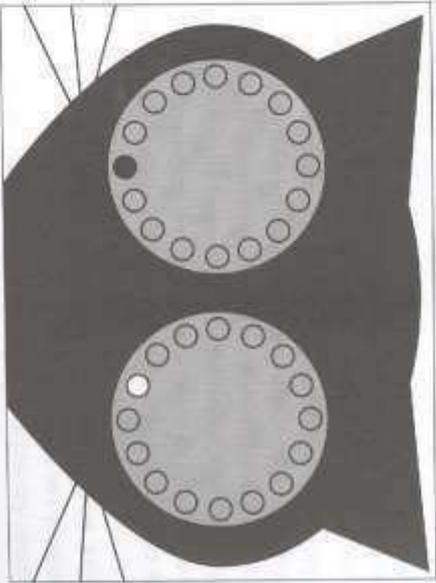
estávamos quase terminando e a lareira nos convidava. Vamos, Lestrade, vejamos se podemos lhe ser de alguma valia.

Nos degraus do nº 221B, lá estava Henrietta. Holmes agarrou a garça e a apresentou à sra. Hudson. Lestrade pareceu um pouco espantado com os efusivos agradecimentos dela, mas Holmes nos carregou escada acima sem dar tempo para qualquer explicação. Logo nós três estávamos sentados confortavelmente diante de um fogo bem alimentado, grogues na mão. Lestrade debruçou-se com uma ponta de acanhamento.

— O problema não parece muito dramático, sr. Holmes. Certamente não está na mesma categoria que um assassinato ou um sequestro. No entanto, deixou perplexos os melhores cérebros de nosso departamento de fraudes. Segundo nosso cientista consultor — um homem com cartimha em invensões criminosas! — é sem dúvida a coisa mais estranha com que já topou. Aqui está a causa de nossas dificuldades. Lestrade puxou do bolso o cartão reproduzido abaixo.

— Estes cartões apareceram recentemente em bancas de jornal por toda a cidade. Estão à venda por um xelim cada, e constituem uma espécie de loteria instantânea. As instruções estão impressas no verso.

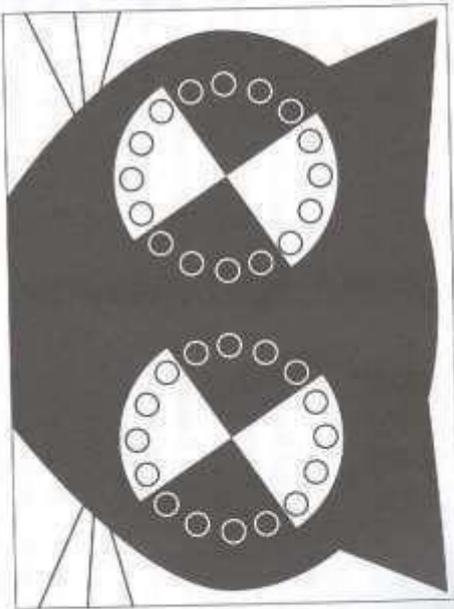
Vinou o cartão do outro lado e segurou-o para que Holmes e eu pudessemos ler (ver na página seguinte).



Um cartão vencedor

### SORTEIO SUPERLUCRATIVO

1. Os olhos pintados de cada gato ocultam um padrão simples de segmentos de quartos brancos e pretos alternantes, por exemplo:



2. O ângulo em que o padrão é disposto varia de cartão para cartão, mas o olho esquerdo e o direito de cada gato são idênticos.
3. Em cada olho, raspe a lâmina em um só dos pontos marcados perto da orla para revelar a cor sob ele. Cada ponto descoberto será ou inteiramente preto ou inteiramente branco.
4. Se os pontos escolhidos diferirem por uma única posição, e no entanto as cores reveladas forem diferentes, um prêmio de cinco xelins pode ser reclamado imediatamente.

*Abstenção de segurar.*

*É absolutamente proibido raspar mais de um ponto em cada olho!*

— Pelo que vejo, alguém ganhou com este cartão, comentei. Ávido por mostrar que não era menos alerta que Holmes, contei nos dedos e proferi meu diagnóstico: Em cada círculo há quatro lugares em que pontos brancos e pretos são adjacentes, e 16 escolhas possíveis de pares de pontos adjacentes. Portanto a chance de ganhar é de quatro em 16, ou de um em quatro. Para cada quatro xelins gastos, a pessoa vai ganhar cinco em média. Vejam só, a companhia que administra este esquema deve estar tentando jogar dinheiro fora!

Lestrade sorriu. — Realmente, doutor, pela cidade toda homens tão astutos quanto o senhor têm chegado à mesma conclusão, e os cartões estão vendendo como pão quente. No entanto, não ficará muito surpreso, sr. Holmes, ao saber que na prática as chances não são tão favoráveis assim. Testamos na Scotland Yard um grande número de cartões comprados ao acaso, e descobrimos que a chance real de vencer é de apenas cerca de um em sete. Está assegurado um considerável lucro para o vendedor.

Sherlock Holmes franziu a testa. — Presumo que, após cada tentativa, os senhores raspam os pontos restantes no cartão para verificar se o padrão subjacente corresponde ao que é anunciado, não?

Lestrade tossiu com certo embaraço. — Na verdade, não. Os cartões foram feitos por algum químico habilidoso que decidiu que eles devem ser completamente à prova desse tipo de investigação. Tente o senhor mesmo, e verá o que quero dizer.

Meu amigo pegou uma espátula e arranhou o ponto mais alto no olho esquerdo. No mesmo instante, o cartão pegou fogo! Num instante estava reduzido a um montinho de cinzas, em que não era possível discernir absolutamente nenhum detalhe.

— Não sabemos ao certo como o processo funciona, disse Lestrade, mas parece infalível. Não se consegue de maneira alguma obter mais do que uma informação mínima de cada olho, isto é, verificar se um único ponto é preto ou branco. Assim, não podemos descobrir que padrão está realmente impresso sob cada um, e não podemos provar que a descrição apresentada é fraudulenta. O problema real é que, por mais que demos tratos à bola, não conseguimos pensar em *nenhum* tipo de padrão que nos forneceria os resultados que observamos.

Não pude mais me conter. — Misericórdia, Lestrade. Não vejo nenhum mistério aqui! Obviamente, os olhos são coloridos segundo alguma regra simples que produz os resultados que viu. Ora, eu mesmo posso pensar em uma. Em seis cartões, a cada sete, ambos os olhos são ou completamente

[...] O paradoxo da teoria quântica ainda por resolver continua sendo o de que qualquer sistema dado parece evoluir numa multiplicidade de maneiras, traçando todas as possíveis de um fóton através de um sistema óptico -, abundância essa que se reduz a um único resultado específico quando uma “mensuração”, ou interação com o ambiente circundante, ocorre. Essa redução, ou colapso quântico, é um mal definido que parece ocorrer instantaneamente quando a mensuração é feita – mesmo que o sistema compreenda elementos vastamente separados no espaço. As regras matemáticas da teoria quântica dão resultados perfeitamente precisos, mas não existe nenhuma imagem clara da realidade subjacente. [...]

## ANEXO D - Aula 2

GILMORE, R. Alice no país do quantum: uma alegoria da Física quântica; tradução: André Penido. Rio de Janeiro: Jorge Zahar. 1998 (pg: 59; 63-65)

[...] Alice adentrou o bosque e foi seguindo por um caminho que serpenteava por entre as árvores, até chegar a uma bifurcação. Havia uma placa lá, mas não ajudava muito. A seta que apontava para a direita dizia "A" e a que apontava para a esquerda dizia "B", nada mais. "Puxa vida", exclamou Alice, irritada. "Essa é a placa mais inútil que eu já vi." Ela olhou em volta para ver se conseguia alguma pista sobre aonde iam os caminhos, quando se surpreendeu ao ver o Gato de Schrödinger sentado num galho de uma árvore a poucos metros dali.

"Gato", disse ela, timidamente. "Poderia me dizer que caminho devo tomar?"

"Isso depende muito de onde você quer chegar", disse o Gato.

"Não sei bem onde...", ela começou.

"Então, não importa por onde você for", interrompeu o Gato.

"Mas eu preciso decidir entre os dois caminhos", disse Alice.

"Ora, é aí que você se engana", sorriu o Gato. "Você não tem de decidir, você pode tomar todos os caminhos. Com certeza, já sabe disso agora. Eu, particularmente, costumo fazer nove coisas diferentes ao mesmo tempo. Os gatos vasculham qualquer lugar, quando não estão sendo observados. Por falar em observação", ele disse, apressado, "acho que estou prestes a ser obs..." Nessa hora, ele desapareceu de repente.

[...]

"Ah, minha cara, entre!" disse uma voz mansa, e Alice percebeu que estava sendo observada. Ela passou pela porta e olhou à sua volta, para a sala de aula. Era uma sala bem grande, com janelas altas por todos os lados. Havia poucas filas de carteiras escolares bem no meio da sala. Em uma das extremidades ficava um quadro-negro e uma grande mesa, atrás da qual estava o Mestre

"Parece muito uma escola normal", Alice admitiu para si mesma, enquanto se virava para olhar as crianças na sala. Ela viu, porém, que as carteiras não estavam ocupadas por crianças, mas por uma incrível coleção de criaturas amontoadas na frente da sala. Havia uma sereia, com longos cabelos e um rabo de peixe escamoso. Havia um soldado uniformizado que, observado mais de perto, parecia ser de chumbo e uma menininha esfarrapada com uma bandeja cheia de fósforos. Havia também um patinho muito feio e um homem gordo com porte de realza e que, por algum motivo, estava vestido apenas com a roupa de baixo.

"Será que está mesmo?" Alice pensou. Quando olhou de novo, achou que tivesse visto o homem vestido em ricos trajes bordados e um robe de veludo. Olhando novamente, porém, tudo que conseguia ver era um homem corpulento vestindo apenas suas roupas de baixo.

"Olá, minha cara", disse o Mestre, uma figura paternal com sobrancelhas cheias. "Veio se juntar à nossa discussão?"

"Receio não saber como vim parar aqui", disse Alice. "Eu achava que estava em vários lugares agorinha mesmo, e não tenho a menor ideia de por que vim parar aqui e não nos outros lugares."

"Isso é porque nós observamos você aqui, é claro. Você estava numa, superposição de estados quânticos, mas como foi observada estando aqui, é porque era aqui que estava, naturalmente. Obviamente, você não foi observada em nenhum dos outros lugares."

"O que aconteceria se eu tivesse sido observada em algum outro lugar?", Alice perguntou, curiosa.

"Porque, então, o seu conjunto de estados teria se colapsado para esse outro. Você não estaria

aqui, mas sim na posição onde tivesse sido observada, é claro."

"Não consigo entender como isso seria possível", respondeu Alice que já estava se sentindo terrivelmente confusa de novo. "Que diferença faz se fui observada ou não? Com certeza, eu estaria em um lugar ou em outro, sem importar quem estivesse me olhando ou não."

"É o que você pensa! Não dá para dizer o que está acontecendo em qualquer sistema se você não o observa. Pode haver uma grande variedade de coisas que poderiam estar acontecendo, e você até pode estabelecer a probabilidade de ocorrência de uma coisa ou de outra, desde que não esteja observando. Na verdade, o sistema estará numa mistura de estados correspondente a todas as coisas que poderiam estar acontecendo. É essa a situação até você olhar para ver o que o sistema está fazendo. A essa altura do processo, uma possibilidade é selecionada e esta será a única ocorrência no sistema."

"E o que acontece com todas as outras coisas que estavam acontecendo nele?" perguntou Alice. "Simplesmente desaparecem?"

"Bem, há mais coisas que ele pode fazer do que coisas que ele estava fazendo, mas é isso mesmo que acontece", respondeu o Mestre, com um largo sorriso. "Você entendeu perfeitamente. Os outros estados simplesmente se anulam. A Terra do pode ser se torna a Terra do nunca foi. Nessa hora, todos os outros estados deixam de ser reais, de qualquer modo. Eles se tornam, digamos, apenas sonhos e fantasias, e o estado observado é o único real. Isso é o que chamamos de redução dos estados quânticos. Você logo vai se acostumar."

"Quer dizer que quando você olha para alguma coisa, pode escolher o que vai ver?", perguntou Alice, desconfiada.

"Oh, não, você não tem direito de escolher. O que você provavelmente verá é determinado pelas probabilidades dos vários estados quânticos. O que você vê de verdade é uma questão de puro acaso. Você não escolhe o que vai acontecer; as amplitudes quânticas dão apenas as probabilidades dos diferentes resultados, mas não estabelecem o que vai acontecer. Isso é puro acaso, e só se torna fixado quando uma observação é feita." O Mestre disse isso muito francamente, mas tão baixinho que Alice teve de se esforçar para entender suas palavras. [...]

### ANEXO E - Aula 3

EINSTEIN, A. & INFIELD, L. A evolução da Física; tradução, Monteiro Lobato. – Lisboa: Livros do Brasil, 1939. (pg. 11-12)

[...] O grande romance policial do Universo está ainda sem solução. E nem sequer podemos afirmar que comporte solução. A sua leitura já nos deu muito; ensinou-nos os rudimentos da língua da Natureza; habilitou-nos a apreender numerosos fios da meada, e tem sido uma fonte de excitação

e deleite na penosa marcha da ciência. Percebemos, entretanto, que, apesar de todos os volumes lidos e compreendidos estamos ainda muito longe da solução completa - se é que existe. Em cada, estágio procuramos encontrar explicação que harmonize os pontos já descobertos. Teorias hipotéticas têm explicado muitos factos, mas nenhuma solução geral, que reúna todos os fios, apareceu ainda. Frequentemente uma teoria na aparência perfeita mostra-se falha logo que a leitura do grande livro prossegue. Novas factos surgem que a contradizem ou não são por ela explicados. Quanto mais lemos a Natureza, mais lhe aprendemos a perfeição - embora a solução do enigma se afaste com essa, maior leitura.

Em todos os romances policiais, desde as primorosos de Conan Doyle, momento chega em que o detetive reúne todo os elementos de que necessita para resolver pelo menos parte do problema. Esses elementos podem parecer muito estranhos entre si, e incoerentes. O arguto detective, entretanto, sente que bastam, e que apenas pela força do pensamento poderá ligá-los todos num conjunto solucionador. E vem então a hora em que os Sherlocks pegam o violino ou se estiram na cadeira preguiçosa, de cachimbo na boca, até que... Santo Deus! Heureka, heureka! Não só encontram a explicação para os factos já coligidos, como deduzem que umas tantas coisas devem ter ocorrido. E como sabem agora para onde se dirigir, podem, se quiserem, coligir mais factos comprovativos das suas teorias.

Mas o cientista que lê o livro da Natureza tem que achar a solução por si mesmo; não podem, como o impaciente leitor de novelas, saltar páginas para ver o desfecho. Para obter uma solução, ainda que parcial, o cientista sendo ao mesmo tempo leitor e pesquisador tem de reunir factos e à força de pensamento lógico coordená-los, coerente e extensivamente. [...]

## ANEXO F - Aula Extra

SILVA, André Coelho; ALMEIDA, Maria José Pereira Monteiro; HALLACK, Maira Lavalhegas. Fragmentos do paradoxo EPR em um trecho de divulgação científica: uma pesquisa de cunho exploratório com ingressantes na universidade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 32, n. 1, p. 53-75, set. 2014. ISSN 2175-7941. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2015v32n1p53>>. Acesso em: 24 ago. 2017. doi:<http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2015v32n1p53>.

[...] Dessa forma, em 1935, Einstein, Boris Podolsky e Nathan Rosen publicaram na revista “Physical Review” o artigo intitulado “A descrição da realidade Física fornecida pela mecânica quântica pode ser considerada completa?”<sup>44</sup>.

Nesse artigo, pautados em um experimento mental onde analisaram a posição e o momento linear de duas partículas que teriam interagido, os autores desenvolveram uma linha argumentativa que procurava mostrar a incompletude da teoria quântica quando interpretada seguindo os padrões do grupo de Bohr, o qual, por sua vez, alguns meses depois, publicou um artigo rebatendo as críticas por meio do argumento de que a lógica usada por Einstein e seus colegas era aplicável apenas à Física Clássica. De maneira mais específica, Bohr questionou o critério de realidade utilizado no argumento de EPR. (BISPO e DAVID, 2011; LEHNER, 2011).

Historiadores da ciência sugerem que foi Podolsky quem escreveu o artigo e que Einstein ficou insatisfeito com o rebuscamento do argumento utilizado. Em carta a Erwin Schrödinger ainda em 1935, Einstein procurou explicitar a simplicidade de seu argumento. Para isso, a fim de evidenciar como entende o conceito de completude, inicia com a seguinte analogia: em certo local, há duas caixas com tampas fechadas, sendo que em apenas uma há uma bola dentro. Antes de abri-las existe a probabilidade de 50% de a bola estar em cada caixa. Se acreditarmos que essa não é uma descrição completa, estamos pressupondo que existe um estado objetivo, independente da abertura das caixas. Já se consideramos que essa descrição é completa, estamos pressupondo que não existe realidade objetiva, isto é, que seria o ato de abrir a caixa que produziria o fato de a bola estar dentro de uma delas. Ao assumir que não está claro como definir qual das duas interpretações é correta, Einstein propõe também o chamado princípio da localidade: se não há interação entre as caixas, o que está dentro de uma independe do conteúdo da outra. Assim, se ao abrir a primeira e verificar-se que a bola não está lá, podemos dizer que mesmo antes disso a bola já estava na outra, pois a abertura da primeira não pode ter afetado instantaneamente o conteúdo da segunda (LEHNER, 2011). O princípio da localidade é então coerente com a Teoria da Relatividade Restrita de Einstein, a qual, por incluir a consideração de que a velocidade da luz é o limite superior de velocidades, sugere que não há como existir ações instantâneas.

[...] Além da relevância filosófica da discussão do realismo e da localidade, a abordagem do paradoxo EPR no ensino pode também favorecer a produção de sentidos acerca de aspectos históricos, como a participação de Einstein no surgimento da MQ (DIONÍSIO, 2005) e sua recusa em aceitar a interpretação não determinística que a ela estava sendo dada pelo grupo de Bohr; e acerca de aspectos relacionados à natureza da ciência, como a oposição de ideias característica do desenvolvimento científico.

Outro elemento que pode vir a ser destacado quando se aborda o paradoxo EPR é o fenômeno do “emaranhamento”. Como já mencionamos, no artigo publicado em 1935, EPR procuraram desprestigiar a interpretação de Bohr para a MQ. Fizeram isso evidenciando o fato de que se ela for interpretada de maneira realista necessariamente ela não respeitará o princípio da localidade. Nesse sentido, o argumento de EPR indicou pela primeira vez a possibilidade (criticada por eles) da existência de uma ação instantânea à distância entre

<sup>44</sup> “Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?”

partículas, algo como se uma partícula “soubesse” o que acontece com a outra (OLIVEIRA e VIEIRA, 2009) – fenômeno posteriormente batizado por Schrödinger de emaranhamento (CUNHA, 2004).

Vale dizer ainda que num primeiro momento (nos primeiros anos após o artigo de EPR), o próprio Bohr também não acreditava na possibilidade de distúrbios instantâneos a distância (LEHNER, 2011). Sua postura em relação à interpretação da MQ, subentendia, todavia, que a realidade não está definida antes da realização da medida, isto é: antes de se realizar a medida o valor da grandeza Física está indefinido. É o ato de medir que faz com que a grandeza Física assumam determinado valor – interpretação não realista da MQ.

Em 1951, David Bohm propôs pensar o experimento mental de EPR com variáveis bivalentes, tal como o spin de duas partículas correlacionadas, o que trouxe maior simplicidade matemática ao estudo do tema (BISPO e DAVID, 2011).

Por muito tempo a discussão associada às interpretações de Einstein e Bohr não teve muito destaque, pois estava polarizada, sobretudo, em aspectos filosóficos. Foi apenas na década de 1960 do século XX que o interesse na controvérsia e nos fundamentos da MQ, de maneira geral, foi retomado mais fortemente. Utilizando-se da formulação de Bohm e partindo dos princípios do realismo e da localidade, John Bell formulou um teorema cuja demonstração se dá por meio de desigualdades, as desigualdades de Bell. Teorias realistas locais, isto é, que respeitam os princípios do realismo e da localidade, satisfazem essas desigualdades, diferentemente do que acontece com a MQ (BISPO e DAVID, 2011; LEHNER, 2011).