

Rafael Cardim Pazim

A HISTÓRIA DA ÓPTICA SOB A PERSPECTIVA
EPISTEMOLÓGICA DE BACHELARD: ESTUDO DE
CASO SOBRE OS PERFIS EPISTEMOLÓGICOS DE
ESTUDANTES DE UM CURSO DE
LICENCIATURA EM FÍSICA

Passo Fundo

2025

Rafael Cardim Pazim

A HISTÓRIA DA ÓPTICA SOB A PERSPECTIVA
EPISTEMOLÓGICA DE BACHELARD: ESTUDO DE
CASO SOBRE OS PERFIS EPISTEMOLÓGICOS DE
ESTUDANTES DE UM CURSO DE
LICENCIATURA EM FÍSICA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, do Instituto de Humanidades, Ciências, Educação e Criatividade, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do título de doutor em Ensino de Ciências e Matemática, sob a orientação do professor Dr. Cristiano Roberto Buzatto e coorientação do professor Dr. Nelson Luiz Reyes Marques.

Passo Fundo

2025

CIP – Catalogação na Publicação

P348h Pazim, Rafael Cardim

A história da óptica sob a perspectiva epistemológica de Bachelard [recurso eletrônico] : estudo de caso sobre os perfis epistemológicos de estudantes de um curso de licenciatura em física / Rafael Cardim Pazim. – 2025.

4.40 MB ; PDF.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Roberto Buzatto.

Coorientador: Prof. Dr. Nelson Luiz Reyes Marques.

Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade de Passo Fundo, 2025.

1. Física - Estudo e ensino. 2. Óptica. 3. Teoria do conhecimento. 4. Bachelard, Gaston, 1884-1962. 5. Vygotsky, Levi Semenovitch, 1896-1934. I. Buzatto, Cristiano Roberto, orientador. II. Marques, Nelson Luiz Reyes, coorientador. III. Título.

CDU: 535

Rafael Cardim Pazim

A história da Óptica sob a perspectiva epistemológica de
Bachelard: estudo de caso sobre os perfis epistemológicos de
estudantes de um curso de Licenciatura em Física

A banca examinadora abaixo, APROVA em 28 de fevereiro de 2025, a Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial de exigência para obtenção de grau de Doutor em Ensino de Ciências e Matemática, na linha de pesquisa Práticas Educativas em Ensino de Ciências e Matemática.

Dr. Cristiano Roberto Buzatto – Orientador
Universidade de Passo Fundo – UPF

Dr. Nelson Luiz Reyes Marques – Coorientador
Instituto Federal Sul-Rio-Grandense – IFSUL

Dr. Marcos André Betemps Vaz da Silva
Instituto Federal Sul-Rio-Grandense – IFSUL

Dr. Maykon Gonçalves Müller
Instituto Federal Sul-Rio-Grandense – IFSUL

Dra. Cleci Teresinha Werner da Rosa
Universidade de Passo Fundo – UPF

Dra. Aline Locatelli
Universidade de Passo Fundo – UPF

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus e a Nossa Senhora, por guiarem meus passos e iluminarem meu caminho durante esta jornada. Aos meus pais, Lília e José, pela educação, pelo exemplo de fé que sempre me transmitiram e pelo apoio constante em todos os momentos.

À minha esposa, Flávia, pelo apoio, paciência e compreensão, que foram fundamentais ao longo deste percurso. Aos meus filhos, Joaquim e Francisco, pela alegria e pela inspiração que me proporcionam diariamente.

À Professora Cleci, que me acolheu desde o primeiro contato com o PPGECEM até a minha banca de defesa, pela generosidade e pelo incentivo constante. Ao meu orientador, Professor Cristiano, pela disponibilidade sempre que solicitado. Ao meu coorientador, Professor Nelson, pela orientação próxima, pelos valiosos ensinamentos e pelo comprometimento que contribuíram significativamente para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Luciano, coordenador do curso de Licenciatura em Física do IFC Concórdia, pelo esforço em viabilizar a aplicação da sequência didática.

Aos três participantes do curso de óptica, cuja dedicação e generosidade tornaram possível transformar conceitos teóricos em experiências concretas, meu profundo agradecimento.

Aos membros da banca, Professores Marcos, Maycon, Cleci e Aline, pela leitura atenta e pelas contribuições que enriqueceram esta tese.

E, por fim, às demais pessoas que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho, bem como àquelas que, porventura, eu possa estar me esquecendo neste momento, deixo meu sincero agradecimento.

Dedico esta tese àqueles que ousam explorar o desconhecido, guiados pela busca incessante por respostas, à sabedoria que transcende o tempo e o espaço, e ao desejo inextinguível de alcançar as verdades ocultas da existência.

“O nível de compreensão necessário para ser capaz de aplicar os conceitos a objetos e eventos reais muitas vezes não se desenvolve espontaneamente através do ensino tradicional... Parece haver uma necessidade de uma maior ênfase no desenvolvimento de uma compreensão qualitativa de ideias que, superficialmente, podem parecer muito triviais para merecer atenção especial”.

Goldberg and McDermott, 1986.

RESUMO

Esta tese investiga a problemática do Ensino de Óptica no Brasil, considerando-o parte da crise consolidada no Ensino de Física. Identifica-se que, desde os anos 1980, pesquisas em pós-graduação revelam uma significativa desconexão entre o conhecimento acadêmico produzido e as práticas pedagógicas em sala de aula. O Ensino de Óptica apresenta desafios particulares, pois as concepções espontâneas dos estudantes sobre este tema são especialmente numerosas e arraigadas, situação agravada quando professores sem formação adequada reproduzem tais concepções equivocadas. Diante deste cenário, propõe-se uma intervenção no processo de formação inicial de professores de Física, focalizando o ensino de Óptica. Esta proposta fundamenta-se na epistemologia de Gaston Bachelard e na teoria do desenvolvimento cognitivo de Lev S. Vigotski, integrando aspectos históricos e epistemológicos. Como resultado, desenvolveu-se uma Sequência Didática na perspectiva histórico-cultural de Vigotski amparada em um Texto de Apoio ao professor. O texto aborda a evolução histórica dos conceitos de Óptica e da natureza da luz, explorando os obstáculos e rupturas epistemológicas identificados por Bachelard e as perspectivas ontológicas propostas por Mortimer. A aplicação didática baseia-se na teoria histórico-cultural de Vigotski, privilegiando o desenvolvimento conceitual em ambiente dialógico e colaborativo. A pesquisa buscou responder: (i) como uma sequência didática fundamentada na teoria Histórico-Cultural pode contribuir para a evolução do perfil epistemológico relacionado aos conceitos de óptica; e (ii) se é possível estabelecer e transformar um perfil epistemológico a partir de concepções espontâneas sobre conceitos de óptica. Metodologicamente, utilizou-se o estudo de caso integrado de Yin, analisando três professores de Física em formação inicial. A coleta de dados envolveu questionários, entrevistas, diário do pesquisador e produções dos participantes. Os resultados indicam que a sequência didática proposta favoreceu significativamente a evolução conceitual dos participantes; a interação social e a intervenção na Zona de Desenvolvimento Iminente foram cruciais; e os perfis epistemológicos podem ser transformados a partir de concepções espontâneas mediante intervenções pedagógicas adequadas. O Produto Educacional resultante, “Da Antiguidade ao Quantum: a história da Óptica sob a perspectiva epistemológica de Bachelard”, encontra-se disponível online para acesso público, disponível no site do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Passo Fundo e na plataforma Educapes, acessível no link <http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/984067>.

Palavras-chave: ensino de Física; óptica; obstáculos epistemológicos; perfil epistemológico; Vigotski.

ABSTRACT

This thesis investigates the challenges of Optics Education in Brazil, considering it as part of the broader crisis in Physics Education. Since the 1980s, graduate research has revealed a significant disconnect between the academic knowledge produced and pedagogical practices in the classroom. Optics Education presents particular challenges, as students' spontaneous conceptions of this subject are especially numerous and deeply rooted—a situation exacerbated when teachers without adequate training reproduce these misconceptions. In light of this scenario, an intervention is proposed in the initial training process of physics teachers, focusing on the teaching of Optics. This proposal is grounded in Gaston Bachelard's epistemology and Lev S. Vygotsky's theory of cognitive development, integrating historical and epistemological aspects. As a result, a Didactic Sequence was developed within Vygotsky's historical-cultural perspective, supported by a Teacher Support Text. The text discusses the historical evolution of Optics concepts and the nature of light, exploring the epistemological obstacles and ruptures identified by Bachelard, as well as the ontological perspectives proposed by Mortimer. The didactic application is based on Vygotsky's historical-cultural theory, emphasizing conceptual development in a dialogical and collaborative learning environment. The research aimed to address the following questions: (i) how can a didactic sequence based on the historical-cultural theory contribute to the evolution of the epistemological profile related to optics concepts? and (ii) is it possible to establish and transform an epistemological profile based on spontaneous conceptions of optics concepts? Methodologically, Yin's integrated case study approach was employed, analyzing three preservice physics teachers. Data collection involved questionnaires, interviews, the researcher's journal, and participants' written productions. The results indicate that the proposed didactic sequence significantly enhanced participants' conceptual development; social interaction and intervention in the Zone of Proximal Development were crucial; and epistemological profiles can be transformed from spontaneous conceptions through appropriate pedagogical interventions. The resulting Educational Product, "From Antiquity to Quantum: The History of Optics from Bachelard's Epistemological Perspective", is available online for public access on the website of the Graduate Program in Science and Mathematics Education at the University of Passo Fundo and on the Educapes platform, accessible at the link: <http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/984067>.

Keywords: Physics education; optics; epistemological obstacles; epistemological profile; Vygotsky.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Síntese das pesquisas relacionadas a obstáculos epistemológicos no contexto educacional, identificadas na base Scopus no período de 2012 a 2024.....	60
Quadro 2 - Síntese das pesquisas relacionadas a obstáculos epistemológicos no contexto educacional, identificadas na base Catálogo de Teses e Dissertações - Capes no período de 2012 a 2024.....	63
Quadro 3 - Síntese de Produtos Educacionais sobre Óptica disponíveis no repositório do MNPEF.....	65
Quadro 4 - Resumo das etapas sequenciais	76
Quadro 5 - Organização das atividades da Sequência Didática	82
Quadro 6 - Tópicos abordados nas perguntas feitas durante o primeiro encontro e exemplos das respostas dos participantes	87
Quadro 7 - Tópicos abordados nas perguntas feitas durante o segundo encontro e exemplos das respostas dos participantes	92
Quadro 8 - Tópicos abordados nas perguntas feitas durante o terceiro encontro e exemplos das respostas dos participantes	101
Quadro 9 - Comparação entre as respostas de P1 fornecidas em diferentes encontros.....	103
Quadro 10 - Discussões sobre a natureza da luz e reflexão/refração, exemplos das respostas dos participantes durante o quarto encontro.....	103
Quadro 11 - Efeitos dos conhecimentos espontâneos na compreensão da atividade prática sobre sombras coloridas.....	107
Quadro 12 - Tópicos abordados durante o quinto encontro e exemplos das respostas dos participantes	110
Quadro 13 - Principais tópicos abordados durante as entrevistas e exemplos de respostas dos participantes	111
Quadro 14 - Novidades marcantes do curso na perspectiva de cada participante	112
Quadro 15 - Proposta de perfil epistemológico para o conceito de luz.....	115
Quadro 16 - Proposta de perfil conceitual para o conceito de luz.....	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação do conceito de luz dentro das escolas filosóficas de Bachelard	39
Figura 2 - Perfil epistemológico da noção pessoal de massa de Bachelard	40
Figura 3 - Perfil conceitual do átomo, conforme proposto por Mortimer (2000)	44
Figura 4 - Caracterização dos estudos de caso	70
Figura 5 - Cinco fases de análise e suas interações	72
Figura 6 - Capa do Produto Educacional.....	79
Figura 7 - Sumário do Produto Educacional (Parte 1/2)	80
Figura 8 - Sumário do Produto Educacional (Parte 2/2)	81
Figura 9 - Produção de P1 sobre como vemos os objetos	90
Figura 10 - Figura para ser analisada pelos participantes.....	91
Figura 11 - Produção de P3 referente à atividade da Figura 10	91
Figura 12 - Produção de P2 sobre formação de imagens em câmaras escuras.....	94
Figura 13 - Produção de P3 sobre formação de imagens em câmaras escuras.....	94
Figura 14 - Primeira atividade com espelho plano. O pesquisador solicita ao participante que localize a posição da imagem com o dedo.....	95
Figura 15 - Situação real da primeira atividade com espelho plano.....	96
Figura 16 - Discussão conjunta sobre a localização da imagem formada por um espelho plano	96
Figura 17 - Segunda atividade com espelho plano. O professor solicita ao participante avaliar quem veria a imagem	98
Figura 18 - Situação real da segunda atividade com espelho plano	98
Figura 19 - Atividade sobre formação de imagens.....	99
Figura 20 - Situação real da atividade sobre formação de imagens	99
Figura 21 - Produção de P1 sobre a atividade de formação de imagens, com anteparo.....	100
Figura 22 - Produção de P1 sobre a atividade de formação de imagens, sem anteparo	100
Figura 23 - Momento de interação em grupo durante atividade de sombras coloridas.....	105
Figura 24 - Detalhe da produção dos participantes, supostas cores primárias dispostas em um círculo cromático	105
Figura 25 - Experimentações com sobreposições de cores utilizando lápis de cor. A tampa do tubo de cola foi utilizada para simular o elemento causador de sombra.....	106
Figura 26 - Participantes em momento lúdico, após concluírem a atividade	107

Figura 27 - Produção de P3 sobre efeito fotoelétrico	108
Figura 28 - Produção de P3 sobre absorção da luz.....	109
Figura 29 - Figura para ser analisada pelos participantes.....	121
Figura 30 - Produção de P3 referente à atividade da Figura 29	122
Figura 31 - Produção de P2 sobre formação de imagens em câmaras escuras.....	125
Figura 32 - Produção de P3 sobre formação de imagens em câmaras escuras.....	125
Figura 30 - Produção de P1 sobre formação de imagens em câmaras escuras.....	126
Figura 34 - Diagrama de P1 ilustrando a formação de imagem por lente convergente com e sem anteparo	132
Figura 35 - Diagrama de P3 ilustrando a formação de imagem por lente convergente	132
Figura 36 - Diagrama de P2 ilustrando a formação de imagem por lente convergente com e sem anteparo	133

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REFERENCIAL EPISTEMOLÓGICO: A EPISTEMOLOGIA DE GASTON BACHELARD	23
2.1	Vida e obra de Gaston Bachelard.....	23
2.2	Obstáculos Epistemológicos	24
2.2.1	<i>O perigo do saber não questionado.....</i>	<i>25</i>
2.2.2	<i>A experiência primeira</i>	<i>26</i>
2.2.3	<i>O conhecimento geral ou realista.....</i>	<i>28</i>
2.2.4	<i>O obstáculo verbal.....</i>	<i>30</i>
2.2.5	<i>O conhecimento unitário e pragmático</i>	<i>31</i>
2.2.6	<i>O obstáculo substancialista</i>	<i>33</i>
2.2.7	<i>O obstáculo animista</i>	<i>35</i>
2.3	Perfil epistemológico.....	37
2.3.1	<i>A noção de perfil epistemológico</i>	<i>37</i>
2.4	O perfil conceitual de Eduardo F. Mortimer	41
3	REFERENCIAL TEÓRICO: A TEORIA DE DESENVOLVIMENTO COGNITIVO DE LEV S. VIGOTSKI	45
3.1	Introdução	45
3.2	A origem e a natureza sociais das Funções Psicológicas Superiores (FPS).....	47
3.3	Mediação na perspectiva vigotskiana	48
3.4	Conceitos científicos e conceitos espontâneos.....	50
3.5	Implicações para o ensino e aprendizagem	52
3.6	Vigotski, Bachelard e o Ensino de Ciências.....	53
4	REVISÃO DE ESTUDOS.....	58
4.1	Scopus	58
4.2	Catálogo de Teses e Dissertações – Capes	61
4.3	Produtos Educacionais	64
4.4	Considerações sobre a Revisão de Estudos	66
5	METODOLOGIA DE PESQUISA	68
5.1	Estudo de caso na perspectiva de Yin	68
5.2	Produção e análise de dados	71
6	PROPOSTA DIDÁTICA	75

6.1	Proposta didática na perspectiva histórico-cultural.....	75
6.2	A construção e a análise do Produto Educacional.....	76
6.3	Descrição dos encontros	82
6.3.1	<i>Relato do Primeiro Encontro - 01/07/2024: Introdução ao Pensamento de Gaston Bachelard</i>	<i>84</i>
6.3.2	<i>Relato do Segundo Encontro - 04/07/2024: Contribuições dos Gregos - Óptica como uma Teoria da Visão</i>	<i>87</i>
6.3.3	<i>Relato do Terceiro Encontro - 08/07/2024: Óptica Medieval, a Renascença e Kepler: A Óptica como uma Teoria da Luz.....</i>	<i>93</i>
6.3.4	<i>Relato do Quarto Encontro - 11/07/2024: O Predomínio do Mecanicismo - Óptica nos Séculos XVII e XVIII.....</i>	<i>101</i>
6.3.5	<i>Relato do Quinto Encontro - 15/07/2024: Onda, Partícula, Onda-Partícula - O Início da Era Quântica</i>	<i>108</i>
6.3.6	<i>Relato do Sexto Encontro - 18/07/2024: Entrevistas Semiestruturadas</i>	<i>111</i>
7	A EVOLUÇÃO HISTÓRICA, EPISTEMOLÓGICA E ONTOLÓGICA DA ÓPTICA.....	113
7.1	A evolução histórica e epistemológica da Óptica, conforme proposto por Bachelard.....	113
7.2	A evolução histórica do perfil conceitual da Óptica, conforme proposto por Mortimer	116
8	A EVOLUÇÃO DO PERFIL EPISTEMOLÓGICO DOS PROFESSORES EM FORMAÇÃO INICIAL EM FÍSICA.....	117
8.1	Análise sobre os dados do segundo encontro	118
8.1.1	<i>As concepções sobre a natureza da luz</i>	<i>118</i>
8.1.2	<i>Diferenças e semelhanças entre luz natural e luz artificial</i>	<i>119</i>
8.1.3	<i>O papel do olho no processo da visão.....</i>	<i>120</i>
8.1.4	<i>Síntese reflexiva do segundo encontro</i>	<i>123</i>
8.2	Análise sobre os dados do terceiro encontro	124
8.2.1	<i>Formação de imagens em câmaras escuras.....</i>	<i>124</i>
8.2.2	<i>Formação de imagens em espelhos planos</i>	<i>126</i>
8.2.3	<i>Formação de imagens por lente convergente.....</i>	<i>130</i>
8.2.4	<i>Síntese reflexiva do terceiro encontro</i>	<i>135</i>
8.3	Análise sobre os dados do quarto encontro.....	136
8.3.1	<i>As concepções sobre composição de cores</i>	<i>136</i>

8.3.2	<i>As concepções sobre a natureza da luz e sua interação com a matéria.....</i>	137
8.3.3	<i>O papel do olho no processo da visão.....</i>	139
8.3.4	<i>Síntese reflexiva do quarto encontro</i>	140
8.4	Análise sobre os dados do quinto encontro	141
8.4.1	<i>As concepções sobre a natureza da luz</i>	141
8.4.2	<i>Noções sobre o efeito fotoelétrico</i>	143
8.4.3	<i>As concepções sobre a interação da luz com a matéria</i>	144
8.4.4	<i>Síntese reflexiva do quinto encontro.....</i>	146
8.5	Análise sobre os dados das entrevistas.....	147
8.5.1	<i>Concepções sobre luz natural e luz artificial</i>	147
8.5.2	<i>Concepções sobre distância e percepção da luz</i>	148
8.5.3	<i>Concepções sobre a velocidade da luz</i>	149
8.5.4	<i>Concepções sobre formação de sombras</i>	150
8.5.5	<i>Concepções sobre pressão de radiação</i>	152
8.5.6	<i>Síntese reflexiva das entrevistas</i>	153
9	RESPOSTAS ÀS QUESTÕES NORTEADORAS DE PESQUISA.....	154
9.1	Conclusões sobre a aplicação do Produto Educacional.....	155
9.2	Conclusões sobre a construção e análise do Produto Educacional	159
10	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	161
	REFERÊNCIAS	163
	APÊNDICE A - Formulário de avaliação piloto	169
	APÊNDICE B - Questionário 1*	170
	APÊNDICE C - Guia da entrevista	172
	APÊNDICE D - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	177
	ANEXO A - Carta de Autorização do Estabelecimento de Ensino.....	178

1 INTRODUÇÃO

A seguir, apresento um breve relato da minha trajetória acadêmica. Meu objetivo é demonstrar como os estudos relacionados à Interação da Radiação com a Matéria estiveram presentes em minha formação desde a graduação, mestrado e doutorado, culminando na escolha da Óptica como tema desta tese.

Em 2005, ingressei no curso de Licenciatura Plena em Física na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), que concluí em 2008. Durante a graduação, priorizei os estudos e participei de atividades formadoras, como iniciação científica e monitoria acadêmica em disciplinas de Física. Entre 2006 e 2008, realizei iniciação científica sobre produção e caracterização de materiais nanoestruturados por técnicas de Raios X (XRD e EDX), o que exigiu ampliar meus conhecimentos na área de Química. Essas experiências consolidaram minha base em pesquisa experimental e em ensino, além de incentivar minha autonomia no uso de equipamentos laboratoriais.

No mestrado, concluído em 2011 na UFMT sob orientação de Rogério Junqueira Prado, investiguei a caracterização óptica de filmes finos. A pesquisa incluiu um estágio no Laboratório de Microeletrônica (LME) da Escola Politécnica da USP, onde aprendi técnicas de produção de filmes finos, como deposição química a vapor assistida por plasma (PECVD). Desenvolvi ainda um programa em Fortran para análise de transmitância de filmes finos, que calculava propriedades como espessura e índice de refração, contribuindo para a análise de dados no espectro ultravioleta, visível e infravermelho próximo.

Iniciei o doutorado em Física na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em 2012, com pesquisa voltada ao “Controle da Dispersão de Tamanhos de Nanopartículas Utilizando Feixes de Íons de Alta Energia”, sob orientação de Gustavo de Medeiros Azevedo. Durante este período, aprofundei conhecimentos em técnicas como Retroespalhamento Rutherford (RBS), implantação iônica, deposição física por *sputtering* e microscopia eletrônica de transmissão (TEM). Realizei ainda medidas de Espalhamento e Absorção de Raios X no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS). Por questões pessoais e profissionais, não finalizei a tese e fui desligado do programa em 2017, mas os conhecimentos adquiridos nesse período foram fundamentais para meu crescimento acadêmico e profissional.

Em novembro de 2014, assumi o cargo de professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico (EBTT) no Instituto Federal Catarinense (IFC), Campus Concórdia, em regime de dedicação exclusiva. Desde então, atuei em diversas frentes de ensino, pesquisa e extensão, incluindo a coordenação do curso de Licenciatura em Física e a participação em bancas de

estágio obrigatório. Ministrei disciplinas de Física Básica e Moderna, Metodologia Científica e Instrumentação para o Ensino de Física em cursos técnicos e superiores. Essas experiências fortaleceram minha atuação docente e minha relação com o ensino de Ciências.

Em 2021, impulsionado pela experiência adquirida em sala de aula e pelos desafios enfrentados no ensino de Física, ingressei no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Passo Fundo (UPF). Esta nova jornada acadêmica permitiu-me integrar o conhecimento técnico-científico desenvolvido anteriormente com as questões pedagógicas que permeiam minha prática docente cotidiana. A presente pesquisa surge, portanto, da confluência entre minha formação como físico e minha atuação como educador, buscando contribuir para um campo que, apesar de sua trajetória consolidada no Brasil, ainda enfrenta importantes desafios.

Esta reflexão sobre minha trajetória acadêmica e profissional dialoga diretamente com o contexto mais amplo do ensino de Física no país. A década de 1980 marca o início da oferta de Pós-graduações em Ensino de Física no Brasil, quando pesquisadores brasileiros já eram reconhecidos internacionalmente pela qualidade de suas pesquisas na área. Era de se esperar que mais de quarenta anos depois teríamos um Ensino de Física de qualidade também reconhecida fora do país, mas esse não é o caso, especialmente no Ensino Médio (Moreira, 2018).

Moreira (2018) destaca que esse quadro é devido a fatores como carga horária insuficiente, déficit de professores de Física nas escolas, foco em treinar os alunos para resolver provas (ensino para testagem), currículo ensinado limitado à mecânica clássica e práticas didáticas tradicionais nos moldes da educação bancária de Freire e no comportamentalismo de Skinner.

Conforme o autor, mitigar esse problema envolve impactar as salas de aula de Física com os resultados da pesquisa em ensino, realizadas no país, através da chamada pesquisa translacional, ou seja, transladar os conhecimentos da academia até a sala de aula, ato que envolve ativamente os professores. Pode-se destacar que os programas profissionais de pós-graduação têm na sua natureza a realização da pesquisa translacional.

A condição ideal é o professor assumir a figura de professor-pesquisador, utilizando o seu ambiente de trabalho, seja na formação de professores ou diretamente no ensino médio, como fonte dos dados de pesquisa e, também, como local da sua aplicação e implementação dos resultados, ou seja, transladar a pesquisa em ensino para a sala de aula está vinculado à participação efetiva dos professores de Física que ali atuam. No caso desta tese, a pesquisa translacional será contemplada ao se propor e validar um produto educacional direcionado a

estudantes, futuros professores de cursos de formação inicial em Física. É importante destacar que este autor é também professor do referido curso de formação inicial de professores.

Além de praticar a pesquisa translacional, Massoni (2010) ressalta que o professor de Física, além de dominar o rigor técnico e conceitual de sua área, deve receber também uma preparação filosófica e epistemológica contemporânea. Essa formação o capacita a ensinar a Física como uma ciência em construção, repleta de beleza e fascínio. Contudo, a partir de uma investigação detalhada em cinco estudos de caso, a autora conclui que os professores enfrentam dificuldades para incluir discussões epistemológicas contextualizadas em suas aulas no Ensino Médio. Ela sugere que essa lacuna na formação inicial dos docentes pode ser corrigida com uma reformulação dos currículos dos cursos de Licenciatura em Física, especialmente no que diz respeito às disciplinas de História e Epistemologia da Física.

Incluir discussões epistemológicas na sala de aula exige um esforço coletivo entre universidades, escolas e professores. A reestruturação do currículo das Licenciaturas deve priorizar práticas reflexivas e experiências concretas que ajudem o docente a compreender como esses conhecimentos podem enriquecer suas aulas. Dessa forma, é possível despertar nos alunos a curiosidade e o encantamento pela Física, apresentada como uma ciência humana, dinâmica e em constante construção (Cachapuz *et al.*, 2011). Por exemplo, ao abordar o conceito de gravitação universal, o professor pode discutir como Newton conciliou observações experimentais com princípios filosóficos de sua época. Além disso, é possível utilizar experimentos históricos, como o pêndulo de Foucault, para demonstrar conceitos enquanto explora os processos de validação e aceitação científica.

Massoni, Bruckmann e Alves-Brito (2020) reforçam que o simples acréscimo de disciplinas não é suficiente para solucionar o problema. É essencial repensar o currículo de forma a integrar práticas reflexivas e experiências concretas, capacitando os professores a abordar a Física como uma ciência cativante e em transformação. Conforme Massoni (2010) sugere, superar essa lacuna formativa requer um esforço conjunto entre universidades, escolas e docentes, para que o ensino de Física vá além da técnica e promova uma compreensão mais ampla e crítica da ciência entre os estudantes.

Entretanto, para tornar a abordagem epistemológica mais frutífera, deve-se ter um maior conhecimento sobre as dificuldades específicas que os estudantes enfrentam ao estudar determinado conteúdo de Física. Poderíamos citar diversos tópicos ou mesmo campos de estudo que fazem parte do currículo do Ensino Médio ou das Licenciaturas em Física e são negligenciados por fatores como falta de tempo ou abordagem superficial por aparente simplicidade do conteúdo. Tópicos como Física Moderna e Contemporânea, Ondulatória,

Termodinâmica e Eletromagnetismo são frequentemente negligenciados no Ensino Médio, seja por falta de tempo, recursos ou por serem considerados complexos ou distantes da realidade dos estudantes. Por exemplo, conceitos como teoria da relatividade, interferência de ondas e entropia são abordados superficialmente, o que limita a compreensão dos alunos sobre a ciência como um processo dinâmico e histórico (Andrade, 2016).

Segundo Andrade (2016), a ausência de materiais didáticos e estratégias adequadas dificulta a inserção de tópicos como Física Moderna no currículo, destacando a necessidade de repensar o planejamento pedagógico. Superar esses desafios exige metodologias que integrem teoria, história e prática, enriquecendo a formação e despertando o interesse dos estudantes pela ciência (Andrade, 2016).

Tomando a situação do Ensino de Óptica, o descaso com a sua importância é agravado pelas dificuldades específicas para a sua aprendizagem. Sob o ponto de vista do estudante, Galili (2000) destaca que os conhecimentos espontâneos de Óptica são extremamente profundos no indivíduo, pois desde o nascimento da criança¹ a visão é o sentido que mais lhe fornece informações e, a partir delas, surge a necessidade de se esforçar para criar um sentido na sua percepção do mundo, ou seja, antes de ingressar no ensino formal, o indivíduo possui um grande arcabouço de conceitos espontâneos sobre óptica e o autor cita sete fatores que são obstáculos à construção do conhecimento científico, dentre eles temos: (i) os parâmetros físicos associados à luz são abstratos e/ou desconectados da percepção sensorial, como sua alta velocidade e natureza discreta, pois é comum assumir a luz como estacionária e contínua; (ii) a familiaridade com fenômenos ópticos em meios como vidro e água solidificam concepções espontâneas que dificultam a interpretação de certos fenômenos em termos de óptica elementar no vácuo; (iii) é comum o olho do observador ser incluído como parte do sistema óptico, mas não se destaca o processo necessário que ocorre em termos musculares e psicológicos na percepção da imagem; (iv) termos utilizados para definir conceitos ópticos têm significados bem estabelecidos na vida diária, causando confusão, como foco, imagem, sombra...; (v) o raciocínio de causa e efeito, baseado fortemente na experiência quotidiana, leva frequentemente a pensamentos superficiais similares a formulações do período pré-científico; (vi) a apresentação da óptica como fenômeno físico puro não intriga e cativa o estudante, é necessário apresentar os aspectos da natureza da luz ao lado de discussões sobre o funcionamento do olho e da interpretação psicológica da percepção visual e das cores; (vii) o

¹ Informações visuais como cor, brilho e formatos são percebidos desde as primeiras semanas de vida. Com um mês de vida, os bebês conseguem se concentrar em determinada característica de um objeto. Com dois meses, conseguem perceber todo o padrão de um objeto ou figura que lhes é apresentado (Collis, 1998).

simbolismo gráfico fica submetido a uma interpretação subjetiva do estudante, já que muitos elementos, como o raio de luz, são frequentemente presumidos tacitamente.

Portanto, além das dificuldades técnicas reservadas ao estudo da óptica, o seu ensino deve considerar também que, dentre todas as concepções espontâneas sobre conhecimentos de Física que o aluno traz para a sala de aula, os relacionados à Óptica vem em maior quantidade e tempo de uso.

A situação fica um pouco mais complicada quando entendemos que o professor de Óptica também foi um aluno e que há um entrelaçamento entre o indivíduo, com toda a bagagem de estudante e a formação oferecida pelos programas de formação de professores de física. Kaltakci-Gurel (2016) afirma que os indivíduos, dentre eles professores de Física em formação, apresentam sérios problemas de compreensão da natureza da luz e sua propagação, e a formação de imagens e sua relação com a visão, independentemente do contexto cultural da pessoa, sua idade ou habilidades.

Essa situação torna-se mais grave quando as dificuldades encontradas pelos estudantes nos seus primeiros anos da escola permanecem até o Ensino Superior (Hosson, 2007) e, se não corrigida², esses professores em formação frequentemente adotarão as mesmas concepções equivocadas que seus alunos (Kaltakci-Gurel, 2016). Por isso, é muito difícil desvincular as dificuldades encontradas no Ensino de Óptica com as dificuldades presentes na sua aprendizagem e a solução para este “círculo vicioso” pode passar por alterações no currículo dos cursos de formação de professores, conforme proposto por Massoni (2010).

Considerando o exposto, esta tese propõe uma intervenção durante o processo de formação inicial de professores de Física, na qual inclui-se o aspecto histórico e epistemológico contemporâneo da Óptica. Como mostrado, este é um momento importante da formação inicial dos professores em que se tem a oportunidade de utilizar as concepções espontâneas dos estudantes como base para a formação dos conceitos científicos, ou seja, “o desenvolvimento dos conceitos espontâneos e científicos são processos intimamente interligados, que exercem influências um sobre o outro” (Vigotski, 2001, p. 261).

A intervenção contará com a aplicação do Produto Educacional, o qual consistirá em um texto de apoio ao professor com sugestão de aplicação didática. O texto tratará da evolução dos conceitos de óptica e natureza da luz, conforme a doutrina epistemológica

² No decorrer do trabalho vamos tratar da evolução conceitual, que reconhece que as concepções espontâneas podem permanecer e conviver com as ideias científicas, cada qual sendo usada em contextos apropriados.

contemporânea de Bachelard e a aplicação didática será fundamentada na teoria Histórico-Cultural de Vigotski, na forma proposta por Marques (2022).

A escolha por Bachelard e Vigotski não se deu à toa, foi importante encontrar autores cujos pontos de vista sobre a produção do conhecimento científico e sobre a forma de ensinar e aprender se complementassem, a fim de criar um produto com harmonia entre a apresentação da óptica e sua proposta de abordagem didática.

Bachelard é um dos filósofos que compõe o quadro epistemológico contemporâneo e tem contribuições relevantes para o ensino das ciências exatas, especialmente da Física. Ele afirma que cada indivíduo possui um espectro nocional único para cada conhecimento que detém, o qual é definido como o seu perfil epistemológico (Bachelard, 1978).

Dentro desse espectro para um mesmo conceito podem coexistir desde perspectivas realistas até a versão abstrata fundamentada numa linguagem matemática, essas categorias são denominadas de escolas filosóficas. Bachelard argumenta que a frequência com que cada perspectiva filosófica é adotada pelo indivíduo depende de uma análise do ambiente cultural específico ao qual ele está inserido. O termo “cultura”, conforme expresso pelo autor refere-se à origem do entendimento do sujeito com relação à determinado conhecimento, pois a cultura científica e a observação comum geram diferentes formas de entendimento. A cultura científica age profundamente na forma de pensar do indivíduo. Nesse sentido, Bachelard defende que a cultura na qual o sujeito está inserido influencia diretamente na forma como ele aplica o conhecimento que possui, ou seja, a cultura atua no formato do seu perfil epistemológico.

Entretanto, a influência da cultura sobre o sujeito não se limita apenas a maneira como ele utiliza diariamente determinados conhecimentos, ou seja, na perspectiva Histórico-Cultural, a cultura é a responsável por formar a própria identidade humana, o seu imaginário e a sua forma de pensar (Vigotski, 2021). Assim, compreender a cultura imediata do sujeito em seus aspectos sociais, históricos e culturais permite: (i) compreender mais profundamente o porquê de determinado perfil epistemológico ser como é e (ii) também criar meios mais efetivos para provocar a sua evolução.

Neste sentido, Vigotski destaca a importância do professor e do ensino formal, justificando a necessidade da existência da escola como a maior responsável por transmitir o conhecimento gerado pela humanidade (Gaspar, 2014). Neste processo, o professor é designado como o parceiro mais capaz, aquele do qual os parceiros menos capazes (os estudantes) apropriam-se da linguagem, o que significa apropriar-se do pensamento, dos modelos teóricos criados para descrever os fenômenos físicos. Dentre outros pontos,

destacados mais à frente nesta tese, Bachelard e Vigotski concordam que nenhuma experiência se explica a si mesma, o professor é o responsável por transmitir conceitos abstratos³ que tornam determinada experiência de fato relevante para o progresso da Ciência e, especialmente, para o aprendizado daquele estudante. Bachelard (2005) ainda é mais categórico, afirmando que é melhor desconhecer totalmente algo, do que sabê-lo de forma esvaziada ou, no contexto deste texto, cheio de concepções espontâneas.

Com base no que foi mencionado, desenvolvemos um estudo de caso, na perspectiva de Yin, realizado com três estudantes de um curso de formação de professores de física de um Instituto Federal. Este estudo tem o objetivo geral de *analisar como uma sequência didática fundamentada na teoria de Vigotski sobre a Evolução dos Conceitos de Óptica pode impactar o desenvolvimento do perfil epistemológico de professores de Física em formação inicial, conforme definido por Bachelard, além de investigar se esse perfil epistemológico se manifesta nas concepções espontâneas dos estudantes sobre óptica e como tais concepções evoluem após a aplicação sequência didática.*

O cumprimento desse objetivo exige que respondamos às seguintes questões de pesquisa:

- De que forma uma sequência didática fundamentada na teoria Histórico-Cultural de Vigotski pode contribuir para a evolução do perfil epistemológico, conforme proposto por Bachelard, em relação aos conceitos de óptica entre professores em formação inicial em Física?
- É possível estabelecer um perfil epistemológico, conforme proposto por Bachelard, a partir de concepções espontâneas sobre conceitos de óptica? Caso afirmativo, como esse perfil evolui após a aplicação de uma sequência didática?

Essas perguntas são especificamente abordadas pelos objetivos específicos a seguir:

- Avaliar a evolução do perfil epistemológico dos professores em formação inicial em Física;
- Analisar a evolução conceitual dos professores em formação inicial em Física na perspectiva histórico-Cultural;
- Analisar a evolução histórica e epistemológica da Óptica, conforme proposto por Bachelard;

³ O fenômeno pode ser mostrado, pois é um acontecimento da natureza, enquanto o conceito não está diretamente visível, é uma abstração, quase sempre uma explicação para o fenômeno (Carvalho, 2010).

- Analisar a evolução histórica do perfil conceitual da Óptica, conforme proposto por Mortimer;
- Elaborar um produto educacional que trate da evolução dos conceitos de Óptica e natureza da luz sob a perspectiva das escolas filosóficas e obstáculos epistemológicos, conforme a doutrina contemporânea de Bachelard e cuja aplicação didática será fundamentada na teoria histórico-cultural de Vigotski.

Nos próximos capítulos, detalharemos os fundamentos teóricos e metodológicos adotados neste estudo. No capítulo 2, será apresentado o referencial epistemológico fundamentado na epistemologia de Gaston Bachelard. Este capítulo está dividido em quatro seções que abordam: a trajetória de Bachelard enquanto ser humano e professor-pesquisador; os obstáculos epistemológicos relevantes para este trabalho; o conceito de perfil epistemológico e suas aplicações pedagógicas; e, por fim, a relação entre o perfil epistemológico e o perfil conceitual de Mortimer, discutindo sua relevância como ferramenta pedagógica.

No capítulo 3, será apresentado o referencial teórico baseado na teoria do desenvolvimento cognitivo de Lev S. Vigotski. Serão explorados conceitos fundamentais, como Funções Psicológicas Superiores, mediação, relação entre conceitos científicos e espontâneos, bem como as implicações dessa teoria para o ensino e aprendizagem. Ao final, discute-se a conformidade entre as perspectivas de Vigotski e Bachelard no contexto do ensino de ciências.

No capítulo 4, realiza-se uma revisão de estudos que abordam obstáculos e perfis epistemológicos na perspectiva de Bachelard, além de propostas voltadas para o ensino de Óptica. A revisão está estruturada em quatro seções: análise de pesquisas na base Scopus; contribuições do Catálogo de Teses e Dissertações da Capes; avaliação de produtos educacionais voltados à Óptica; e uma síntese final, destacando lacunas e possibilidades de desenvolvimento no campo.

O capítulo 5 descreve a metodologia adotada, que inclui o método de estudo de caso e a análise qualitativa dos dados, ambos fundamentados na abordagem de Yin. Esses procedimentos são discutidos em duas seções, detalhando as etapas da coleta e análise dos dados.

No capítulo 6, apresenta-se a proposta didática, composta por uma sequência didática na perspectiva histórico-cultural de Vigotski e um Texto de Apoio ao professor. A primeira seção descreve as etapas da sequência, adaptadas de Marques (2022). A segunda aborda a concepção do material, seus fundamentos teóricos e epistemológicos, os resultados da

avaliação piloto por professores de Física e os elementos visuais do produto. A terceira seção detalha os encontros realizados, que articulam a história da Óptica à filosofia de Bachelard por meio de atividades teóricas e práticas.

Nos capítulos 7 e 8 apresentam-se os resultados da pesquisa. O capítulo 7 aborda duas análises: a primeira de natureza epistemológica sobre a evolução da Óptica fundamentada na teoria de Bachelard, e a segunda sobre a evolução histórica do perfil conceitual da Óptica segundo a perspectiva de Mortimer. O capítulo 8 expõe os resultados da aplicação da proposta didática. Todas as análises foram desenvolvidas com base em categorias estabelecidas a partir dos referenciais teóricos e epistemológicos discutidos nos capítulos precedentes.

No capítulo 9, as questões norteadoras da pesquisa são respondidas, destacando-se os aprendizados alcançados e as contribuições do estudo. Este capítulo enfatiza a evolução conceitual dos conhecimentos de Óptica entre os participantes, a construção do produto educacional e a validação das intervenções pedagógicas propostas.

Por fim, no capítulo 10, são apresentadas as considerações finais do estudo. Este capítulo reflete sobre as principais conclusões da pesquisa, avaliando sua contribuição para o ensino de Física e para a formação inicial de professores. São discutidos os desafios enfrentados e superados durante a pesquisa, os impactos do produto educacional e os caminhos para futuras investigações na área. Além disso, destaca-se a importância de incorporar abordagens histórico-epistemológicas na prática docente e a necessidade de reestruturações curriculares em cursos de Licenciatura. O capítulo conclui com um apelo à continuidade dos esforços em pesquisa e desenvolvimento de materiais didáticos que promovam uma visão crítica e dinâmica do ensino de ciências.

2 REFERENCIAL EPISTEMOLÓGICO: A EPISTEMOLOGIA DE GASTON BACHELARD

Este capítulo tem por objetivo apresentar o referencial no campo epistemológico, situando-o no contexto da pesquisa atual em Ensino de Física, especialmente fundamentado nos conceitos de obstáculos epistemológicos, perfil epistemológico e perfil conceitual e está dividido em quatro seções: a primeira apresenta quem é Gaston Bachelard como ser-humano e professor-pesquisador; a segunda discute os obstáculos epistemológicos relevantes para as discussões trazidas neste trabalho; a terceira apresenta a ideia de perfil epistemológico e suas possíveis aplicações como parte do processo pedagógico; e a quarta seção discute a ideia de perfil conceitual de Mortimer, sua relação com o perfil epistemológico e sua razão de existir como ferramenta pedagógica.

2.1 Vida e obra de Gaston Bachelard

Gaston Bachelard nasceu em 27 de junho de 1884 em Bar-sur-Aube, uma comuna francesa, e veio a falecer aos 78 anos em Paris.

Iniciou a vida profissional como funcionário dos Correios, função que exerceu entre 1907 e 1913. De origem humilde, estudava enquanto trabalhava, perseguiu seu sonho de ser engenheiro e, em 1912, formou-se em matemática (Dejan, 2017).

Casou-se com Jeanne Rossi em julho de 1914, três semanas antes de irromper a Primeira Guerra Mundial, para a qual foi convocado e serviu por três anos nas trincheiras.

Quando retornou da Guerra, passou a ministrar aulas de física e química em uma escola secundária da sua vila natal durante os anos de 1919 a 1930. Durante esse período como professor secundário, interessou-se por filosofia, obtendo graduação e doutorado, em 1927, pela faculdade de Letras de Sorbonne (Chimisso, 2001). Em paralelo, nesse período, Bachelard viveu a alegria do nascimento da filha, Suzanne, em outubro de 1919, e a tristeza pela morte da esposa, em 1920.

Em 1930, torna-se docente no Departamento de Filosofia da Universidade de Dijon. Em 1940, conquista um lugar na Universidade de Sorbonne, sendo designado como chefe do Departamento de História e Filosofia das Ciências e professor da cadeira de mesmo nome. Seu maior volume de produções intelectuais se deu nas décadas de 1930-40.

Também era estudioso da psicanálise, área que não foi considerada na sua admissão a essa cadeira. Influenciado por ela, produziu diversos livros tratando da importância do

irracional sobre a mente humana, o que o ajudou a desenvolver o conceito de obstáculos epistemológicos e de como o conhecimento evolui dinamicamente e de forma descontínua (Chimisso, 2001).

Os seus livros mais relevantes para este trabalho são “A formação do espírito científico”, publicado originalmente como *La formation de l'esprit scientifique: contribution à une psychanalyse de la connaissance objective* em 1938 e “A filosofia do não”, originalmente *La philosophie du non: essai d'une philosophie du nouvel esprit scientifique* publicado em 1940. Neles, a epistemologia de Bachelard é discutida em termos dos conceitos de obstáculos epistemológicos (Bachelard, 1978) e de perfil epistemológico (Bachelard, 2005), ambos discutidos mais à frente neste trabalho.

Nesses livros, diversos exemplos para as suas ideias são apresentados a partir das suas áreas em que atuou como professor nas áreas de física, de biologia, de matemática, mas também de química, os quais também podem ser traduzidos em uma perspectiva pedagógica, fornecendo, assim, proveitosas inspirações para o ensino de Ciências.

2.2 Obstáculos Epistemológicos

A ideia de obstáculos epistemológicos foi proposta por Gaston Bachelard em seu livro “A formação do espírito científico”. Para Bachelard (2005) os obstáculos epistemológicos são entendidos como os entraves, inerentes ao próprio conhecimento científico, que bloqueiam seu desenvolvimento e são motivo de atraso no ritmo de desenvolvimento da ciência e, em alguns casos, podem até gerar regressão do conhecimento. É importante notar que eles não estão relacionados com as dificuldades práticas da ciência, como a montagem de um experimento ou a limitação dos nossos sentidos ao observar um fenômeno.

Outrossim, os obstáculos epistemológicos podem ser de ordem diversa, como construções da própria natureza humana ou provenientes de causas sociais, são internos ao sujeito, gerando conflitos entre a mente racional do cientista, ou daquele que está aprendendo ciência, e a mente irracional do ser humano. Bachelard (2005) aponta que os obstáculos são vícios concernentes ao ato de conhecer que se incrustam no pensamento, e sua permanente superação depende diretamente de uma catarse intelectual e afetiva, uma tarefa que demanda força de vontade e atenção permanente. Por isso, Bachelard analisa a evolução do conhecimento científico através da relação dialética entre a mente e os obstáculos epistemológicos.

Segundo Gaston Bachelard (2005, p. 23), a noção de obstáculo epistemológico é pouco conhecida na área da Educação. O autor reconhece que muitos professores não conseguem entender o motivo de um estudante não compreender determinado conteúdo ou conceito científico.

Os professores de ciências imaginam que o espírito começa como uma aula, que é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto a ponto. Não levam em conta que o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana.

Neste contexto, Bachelard (2005) caracteriza os obstáculos epistemológicos em obstáculos da experiência primeira, obstáculos do conhecimento geral, obstáculo verbal, obstáculo substancialista e obstáculo animista, que serão discutidos a seguir.

2.2.1 O perigo do saber não questionado

Em sua obra “A formação do espírito científico” Bachelard apresenta a história de o que não é ciência para, fazendo a devida contraposição, apresentar o que é de fato ciência. Apresentando o que não é ciência, veem-se claramente como os obstáculos epistemológicos eram, muitas vezes, os propulsores daquele conhecimento que viria a ser superado pela ciência moderna.

A alquimia e a filosofia natural são colocadas como exemplos de não-ciência e, após sofrerem uma ruptura, especialmente no que tange ao irracional da mente humana, surge a ciência do século XIX, cimentando as bases da ciência moderna. E os autores desse processo, os cientistas, devem estar cientes do poder que o irracional tem sobre seu raciocínio e lutar contra isso a todo momento, já que a ciência é justamente a aplicação da racionalidade ao criar questionamentos e procurar respostas. A prática de construção da ciência moderna está baseada na aplicação desapaixonada da racionalidade.

Se, por um lado, essa racionalidade é motivo de confiança da humanidade na sua ciência, por outro, cria a sensação de que o conhecimento adquirido é permanente. Nesse contexto, é importante evitar os extremos, prejudiciais também ao sadio avanço da ciência: a comodidade em aceitar o conhecimento conquistado a duros passos, não mais o questionando, é perigoso e estagna o progresso. E a ciência familiar, visível na rotina diária, é tão mais facilmente aceita, quanto a fuga em questioná-la.

O conhecimento não questionado passa, então, a servir de morada para um obstáculo epistemológico, pois a pergunta que gerou aquele conhecimento é esquecida, dando espaço para a resposta útil produzida por ela, lançando uma batalha entre dois instintos humanos: o irracional contra o racional. Na primeira fase da vida do cientista, o ímpeto racional de questionar o conhecimento estabelecido, de criar boas perguntas, a fim de extrair da natureza a resposta disruptiva. Na segunda fase da vida de (alguns) cientistas, quando a convivência com aquele conhecimento torna as ideias tão claras que polarizam a própria forma de pensar, prefere-se aquilo que confirma o que é sabido. Mesmo os cientistas mais atentos podem se tornar reféns da sua irracionalidade.

É preciso retificar, variar as condições de um experimento, fugir da certeza e da unidade de uma teoria homogênea, completa, inquestionável. A razão é o motor desse movimento a terras desconhecidas, obscuras, e sua lanterna é a capacidade de abstração, de propor experiências indiretas. Pelo caminho, deve ficar o fascínio magnético pela experiência imediata, concreta e tão “real” aos sentidos.

Como afirma Gottsmann (2016), é necessário fazer uma catarse intelectual e afetiva, pois preconceitos e opiniões são contra a liberdade de pensamento e do espírito crítico promovido pela razão. De outra forma, independentemente das contradições internas, é mais tentador refugiar-se nas respostas prontas do conhecimento não questionado. Nas palavras de Bachelard (2005, p. 24),

[...] Logo, toda cultura científica deve começar, como será longamente explicado, por uma catarse intelectual e afetiva. Resta, então, a tarefa mais difícil: colocar a cultura científica em estado de mobilização permanente, substituir o saber fechado e estático por um conhecimento aberto e dinâmico, dialetizar todas as variáveis experimentais, oferecer enfim à razão razões para evoluir.

2.2.2 A experiência primeira

A experiência primeira é aquela que surge do primeiro contato com a natureza. A percepção dos fenômenos a partir dos sentidos é tão real, natural, concreta, que passa acima de qualquer crítica, estabelece-se como verdade. Este obstáculo se dá da “experiência colocada antes e acima da crítica” (Bachelard, 2005, p. 29). Para o autor “[...] a observação primeira é sempre um obstáculo inicial para a cultura científica. De fato, essa observação primeira se apresenta repleta de imagens; é pitoresca, concreta, natural, fácil. Basta descrevê-la para se ficar encantado. Parece que a compreendemos” (Bachelard, 2005, p. 25).

O espírito oriundo da experiência primeira é a favor da natureza, uma continuação sem irregularidades da observação direta. Mas o espírito científico deve se formar contra a natureza, por isso a experiência primeira é um obstáculo epistemológico. O espírito científico deve se formar contra a natureza, pois sempre se reforma, explora os limites do conhecido, reconstruindo-o, extraindo dela aquilo que naturalmente ela não fornece, através de experimentos construídos para tal, conforme Bachelard (2005, p. 29):

Eis, portanto, a tese filosófica que vamos sustentar: o espírito científico deve formar-se contra a Natureza, contra o que é, em nós e fora de nós, o impulso e a informação da Natureza, contra o arrebatamento natural, contra o fato colorido e corriqueiro. O espírito científico deve formar-se enquanto se reforma.

É aqui que se deve tomar cuidado com a armadilha criada pelos livros didáticos, que se apresentam, ou são percebidos, facilmente como imutáveis, corretos, eternos. Ou ainda, o conhecimento dos livros didáticos é passado como natural, mas não o é, segundo Bachelard (2005, p. 30):

Os livros de física, que há meio século são cuidadosamente copiados uns dos outros, fornecem aos alunos uma ciência socializada, imóvel, que, graças à estranha persistência do programa dos exames universitários, chega a passar como natural; mas não é; já não é natural.

Outrossim, são produtos de experimentos mais ou menos elaborados, de sistemas conceituais abstratos, já não mais conectados com a experiência direta com a natureza, mediada pelos sentidos, “as experiências e os livros agora estão, pois, de certa forma desligados das observações primeiras” (Bachelard, 2005, p. 30).

Ao lado do uso dos livros didáticos, é comum outro momento pedagógico nas aulas de física, ou seja, as demonstrações experimentais. O professor incauto pode deixar-se enganar pelo interesse guiado pela *alma pueril, mundana* dos alunos pelo belo fenômeno cuidadosamente apresentado, *alma* que, segundo Bachelard (2005, p. 12) é “animada pela curiosidade ingênua, cheia de assombro diante do mínimo fenômeno instrumentado, brincando com a física para se distrair e conseguir um pretexto para uma atitude séria, [...] passiva até na felicidade de pensar”.

Portanto, o que por certo acontece é um arrebatamento passageiro, alimentado por um interesse superficial. O prazer gerado pelo estímulo imediato vence, atravancando o avanço em direção ao conhecimento e à abstração, faz-se presente o obstáculo da experiência primeira. O obstáculo da experiência primeira cria uma espécie de indivíduo feliz que acha

que entende o que está observando. Todavia, ao ser questionado sobre o seu conhecimento, percebe que nada sabe.

Por fim, a intuição primeira causa estagnação no avanço do conhecimento e é a causa principal de o que poderia ser uma tragicomédia ambientada entre os séculos XVII e XVIII, cujos elementos principais seriam experimentos de ciências e cientistas excêntricos fazendo uso quase infantil de seus laboratórios, um espetáculo de curiosidades. Segue uma descrição do jantar elétrico de Franklin para seus amigos, que ocorreu em 1748:

mataram um peru por choque elétrico, assaram-no num espeto elétrico, diante de um fogo aceso por meio da garrafa elétrica: a seguir, beberam à saúde de todos os célebres entendidos em eletricidade da Inglaterra, Holanda, França e Alemanha, em copos eletrizados, e ao som da descarga de uma bateria elétrica (Bachelard, 2005, p. 41).

Apenas em 1785, Coulomb iniciou a publicação de uma série de sete memórias, em que primeiro se apresentaram leis da eletricidade e do magnetismo. Antes disso, havia cardápios elétricos para todos os gostos.

2.2.3 *O conhecimento geral ou realista*

Para Bachelard (2005), o espírito humano tem uma tendência natural de se aproximar de dois extremos, o particular e o universal, ou seja, “o espírito científico pode enganar-se ao seguir duas tendências contrárias: a atração pelo particular e a atração pelo universal” (Bachelard, 2005, p. 75). Ao encontrá-los, um ou outro, têm a tendência de ali permanecer, mas o avanço científico se faz entre esses extremos, ou melhor, num movimento de ir e vir entre o particular e o geral.

Para Bachelard (2005), nada prejudicou mais o progresso do conhecimento científico do que a falsa doutrina do geral, que dominou de Aristóteles a Bacon. Pois, pela facilidade no uso de generalizações, há uma pressa na ampliação de conceitos fracos de ligação com as funções básicas do fenômeno, acarretando generalizações mal colocadas e disfarçadas de grandes leis. Muitas vezes, o problema da generalidade é ela ser uma meia verdade, que se alimenta da preguiça intelectual e ganha fama vestindo uma máscara de conhecimento autêntico.

A dificuldade em avançar e mudar de paradigma pode estar presente em qualquer área do conhecimento. Em um estudo sobre a percepção de professores sobre os objetivos de programas bilíngues na Espanha, Guillé (2019), constatou que o obstáculo do conhecimento

geral “impede a compreensão da mudança presidida pela integração, pois recorrem a concepções e categorias curriculares anteriores”.

O ardil das leis gerais está em definirem palavras e não coisas (Bachelard, 2005). Utilizando as palavras certas, simples, de conhecimento geral, o fenômeno é descrito, estando descrito, tem-se a sensação de que foi compreendido.

Tome-se como exemplo a força magnética entre dois ímãs permanentes. Ao aproximá-los, eles se atraem ou se repelem, dependendo da sua posição relativa. Logo, afirma-se que existem dois polos, norte e sul, polos iguais se repelem e polos opostos se atraem. Basta identificar os polos em cada ímã e o tipo de força resultante poderá ser, assim, antecipado.

A afirmação acima está correta, faz uso de palavras cujos significados são públicos: polo, atrair e repelir. O fenômeno foi descrito, identificado, realizou-se a generalização. O espírito incauto alegra-se por dominar um novo conhecimento, pois “há de fato um perigoso prazer intelectual na generalização apressada e fácil” (Bachelard, 2005, p. 69).

Assim, uma contenção para o surgimento de novas ideias é estabelecida, pois a lei é autoexplicativa, a identificação do fenômeno está completa. O obstáculo imposto pelo conhecimento geral, então, se apresenta como resposta negativa às seguintes questões: é necessário estudar mais de perto esse fenômeno? Devem-se buscar ideias de experimentos que questionem a validade desse conhecimento?

Decorrem daí duas consequências, a mais direta é o empobrecimento da técnica experimental, a outra consequência importante dos resumos muito gerais é a falta de elementos para uma descrição matemática do fenômeno.

Seguindo o exemplo acima, a força magnética seria descrita apenas em termos dos tipos de polos e a distância entre eles, *todos os outros materiais magnéticos devem seguir essa regra*. A crença nessas variáveis não é capaz de explicar ou gerar um movimento para buscar explicar, por exemplo, fenômenos magnéticos quânticos ou mesmo a origem do magnetismo.

Os resumos gerais causam imobilidade, a fuga da inércia do resumo geral está em tomar os seus conceitos e complicá-los, dar-lhe novas facetas, procurar brechas pelas quais se atravessará com os experimentos certos. A ciência passa a construir os seus objetos. O desenho de um experimento é feito criando condições técnico-experimentais para extrair da natureza não o que ela lhe dá, como ao estender a mão para colher uma fruta madura, mas sim para expor determinado comportamento escondido.

Enquanto experiências no período pré-científico eram vagas, o conceito revisto, científico, está atrelado a técnica experimental que o gerou, “é uma ciência elaborada num mau laboratório, mas que traz assim mesmo a feliz marca desse laboratório” (Bachelard, 2005,

p. 30). Se houvesse uma escala de cientificidade de determinado conceito, ela seria proporcional ao nível técnico empregado no seu embasamento experimental.

O conceito deve ser revisto conforme os experimentos que lhe deram existência, e ainda no conceito devem ser incorporados as características e limitações de seus experimentos geradores, o que Bachelard chama de fenomenotécnica. “De fato, para o espírito científico, todo fenômeno é um momento do pensamento teórico, um estágio do pensamento discursivo, um resultado preparado. É mais produzido do que induzido” (Bachelard, 2005, p. 127).

A ciência moderna busca limitar o seu campo experimental, a precisão na execução do experimento é uma condição para isso. A observação do fenômeno faz surgir as variáveis matemáticas que o governam. Dentro do complexo sistema racional daquele conhecimento, as variáveis matemáticas podem revelar comportamentos sutis. O cientista retorna, por conseguinte, ao experimento e o ajusta para expor claramente essas sutilezas.

Nessa conjunção entre conhecimento físico-matemático e técnica experimental, a ciência moderna empreende fuga da inércia imposta pelo obstáculo do conhecimento geral. É a objetividade, e não o universalismo, que deve identificar o pensamento científico moderno.

2.2.4 O obstáculo verbal

O período pré-científico da física, ou ainda filosofia natural, mais precisamente nos séculos XVII e XVIII, poderia ser chamado de período das teorias metafóricas. O processo de criação de conhecimento físico nesse período poderia ser resumido como: (i) a observação de determinado fenômeno; (ii) a escolha de uma metáfora para explicar o fenômeno; (iii) prever, ou adequar novos fenômenos dentro do sistema metafórico.

A metáfora se transforma na explicação do fenômeno e, conseqüentemente, baliza experimentos e ideias posteriores. O uso desse recurso é uma forma de recorrer ao concreto, quando uma explicação objetiva demandaria abstração e linguagem matemática. O realista é o senhor das metáforas.

Galeno (1834, p. 625, tradução nossa) julga necessário apresentar os cinco sentidos do corpo humano de forma concreta, baseado no princípio grego da interação de semelhante com semelhante, ele declara que “podemos dizer que a visão é um instrumento luminoso, a audição é aérea, o olfato é vaporoso, o paladar é úmido e o tato é terreno”. Podemos dizer que padre Castel também cede ao apelo do concreto ao declarar:

De modo natural observamos e sentimos a maioria das coisas, a luz, o calor, o frio, o vento, o ar, a água, o fogo, a gravidade, a energia, a duração etc. Cada olhada é uma observação da natureza; cada operação de nossos sentidos e de nossas mãos é uma experiência (Castel, 1743, p. 6 *apud* Bachelard, 2005, p. 282).

Quando utilizadas dessa forma, essas imagens generalizadas apresentam o lado concreto sem a cautela devida, prejudicando a visão abstrata e aguçada dos fenômenos reais. Afinal, se a audição é aérea não se considera a propagação por materiais sólidos, ou se cada observação da natureza é uma experiência, não há necessidade de desenvolver um instrumento de medição mais acurada. São, pois, obstáculos tanto para avanço da ciência, quanto para o aprendizado da ciência nas escolas. Guillé (2019) complementa que o uso de determinadas palavras-chaves, ou conceitos, cujos significados são imprecisos e instáveis, ou a falta de termos mais adequados prejudica o avanço do trabalho científico ou do ensino de forma geral, da mesma forma.

Claverie (2016) afirma que romper com o obstáculo verbal “exige repentinamente uma inspeção semântica, tendo em conta detalhes ou graus até então insuspeitados pelos progressos científicos”, e que isso exige um grande esforço de reflexão, pois se tratam de conceitos até então óbvios e autoexplicativos, herdados da experiência cotidiana.

Na ciência moderna e, especialmente na física, as metáforas ainda são frequentemente utilizadas. O uso de uma imagem ou palavra cujos detalhes são acessados diretamente pelos sentidos, ou seja, um exemplo concreto é feito propositalmente. Cria-se um degrau antes de se apresentar o sistema de representação abstrato, tome-se como exemplo a analogia hidráulica para explicar determinados fenômenos elétricos.

Por fim, Bachelard é cauteloso com a adoção de metáforas, sua aprovação no ensino da ciência moderna é justificada quando são construídas *a partir* da explicação científica, mas a tentação realista ainda persevera, especialmente entre os alunos. Assim, o professor deve explicitar as limitações daquela representação, evitando que o aluno se contagie por uma preguiça intelectual, pois “o perigo das metáforas imediatas para a formação do espírito científico é que nem sempre são imagens passageiras; levam a um pensamento autônomo; tendem a completar-se, a concluir-se no reino da imagem” (Bachelard, 2005, p. 101).

2.2.5 O conhecimento unitário e pragmático

Os obstáculos do conhecimento geral e obstáculo verbal pertencem ao extremo de concepção universal do conhecimento. Entretanto, é possível avançar ainda mais e encontrar o

obstáculo do conhecimento unitário e pragmático, que não mais faz uso primeiro do empírico, mas já pode ser caracterizado como um pensamento filosófico (Bachelard, 2005).

Este obstáculo funda-se nos conceitos de perfeição e unidade da natureza. A partir deles, derivam-se adjetivos dos mais variados como puro, limpo, constante. Estes conceitos e adjetivos guiam tanto premissas quanto conclusões, dominando o avanço do pensamento, que seria como raciocinar “segundo as ideias dos Poetas, dos Filósofos e de Moisés” (Bachelard, 2005, p. 108).

Tome-se a luz, ao se tratar de algo já presente no imaginário humano como algo relacionado ao divino, possuindo o necessário para facilitar e justificar o obstáculo do conhecimento unitário, o qual foi difundido por diversos textos do século XVIII, como o seguinte:

A Luz anima e alegra toda a Natureza; onde ela falta, não há alegria, nem força, nem vida; só há horror, fraqueza, vácuo. A luz é, portanto, a única de todas as criaturas sensíveis que se assemelha e é conforme à Divindade (Avant-Propos, III *apud* Bachelard, 2005, p. 105-106).

Portanto, se a luz é como a Divindade, as propriedades da luz também devem ser de características divinas. O trecho a seguir explicita esse raciocínio quando o autor tenta reconciliar o aspecto divino da luz, com a sua propriedade de decréscimo de intensidade e a distância:

Se seguíssemos as opiniões comuns, seria preciso acrescentar que a Luz se enfraquece por si só ao afastar-se do corpo luminoso; que, a exemplo de todas as outras qualidades, ela perde pouco a pouco sua virtude nos progressos que faz; e é essa a verdadeira razão pela qual ela se enfraquece e até, no fim, se torna insensível. Mas, sejam como forem as outras qualidades, temos certeza de que a Luz é de natureza e de ordem tão acima delas, que não está sujeita a nenhuma de suas enfermidades... (seu) enfraquecimento é apenas exterior, não chega à essência nem à virtude interior da Luz. (C. de La Chambre, p. 230 *apud* Bachelard, 2005, p. 106).

Assim, fica claro como o obstáculo do conhecimento unitário pode impedir a evolução do espírito científico e, neste caso, descartar mais estudos com relação à dependência da intensidade da luz com a distância à fonte. Neste espírito pré-científico, a unidade é o princípio da natureza e apazigua todas as supostas irregularidades, dualidades, em escalas grandes ou pequenas, dos fenômenos observados.

Há, também, o obstáculo do conhecimento pragmático, uma espécie de irmão do conhecimento unitário, que traz a utilidade como princípio de existência de objetos ou

fenômenos naturais, também podendo ser chamada de “indução utilitária” (Bachelard, 2005, p. 113).

A procura e justificação de alguma utilidade é fruto da necessidade de organização extrema, entretanto a utilidade geralmente é direcionada para a perspectiva humana. O fenômeno ou objeto devem servir ao homem de alguma forma, pois essa é a razão daquilo existir.

Ao (se julgar) encontrar fenômenos úteis na natureza e para a natureza, logo se buscam outros fenômenos similares que serão úteis da mesma forma para servir ao homem, Bachelard (2005) afirma que o homem não critica o útil, não sabe limitá-lo.

Um exemplo de indução utilitária apresentado por Bachelard (2005) citando Réaumur é o seguinte: as crisálidas de lagarta transpiram e dependem dessa transpiração para evoluir, ao recobri-las com verniz, reduz-se ou estagna-se a velocidade da evolução; logo, pode-se cobrir o corpo humano com uma espécie de verniz, fazendo-se reduzir a sua velocidade de envelhecimento.

Nota-se, no exemplo anterior, a necessidade de transferir a utilidade para a perspectiva humana. Também se encontram exemplos, como a seguir, cuja utilidade alegada perdura até hoje nas mentes menos instruídas.

O uso de materiais magnéticos para fins medicinais é utilizado até hoje em colchões, sandálias, pulseiras. Alega-se que o magnetismo ajuda a diminuir dores sem a necessidade de procedimentos invasivos ou medicamentos. Essa fascinação pelo magnetismo é antiga e Van Swinden (1785, p. 4 *apud* Bachelard, 2005, p. 115) tenta encontrar uma utilidade virtuosa, que justifique a sua existência:

Pergunto ainda a todo Físico sincero se está interiormente convencido de que essa força magnética, tão universal, variada, espantosa e admirável, foi produzida pelo Criador apenas para orientar as agulhas imantadas, que foram durante tanto tempo desconhecidas do gênero humano...

Ou seja, como o magnetismo já existia antes das bússolas, deveria haver uma utilidade anterior, que justificasse a sua existência, e tal utilidade é voltada a um bem humano mais essencial, sua saúde.

2.2.6 *O obstáculo substancialista*

Ao se estudar uma substância pode-se ter a tentação de conceder a ela diversas qualidades. Geralmente, essas qualidades encontram-se em seu interior e é dever do

experimentador trazê-las à vista. Afinal, sob a perspectiva do obstáculo substancialista, “a substância é o seu interior” (Bachelard, 2005, p. 123). A ideia de substância, tão simples, tão clara, funciona como obstáculo epistemológico na construção de conhecimentos não substancialistas.

Um dos sintomas mais claros da sedução substancialista é o acúmulo de adjetivos para um mesmo substantivo: as qualidades estão ligadas à substância por um vínculo tão direto que podem ser justapostas sem grande preocupação com suas relações mútuas. [...] quanto menos precisa for uma ideia, mais palavras existem para expressá-la. No fundo, o progresso do pensamento científico consiste em diminuir o número de adjetivos que convém a um substantivo, e não em aumentar esse número. Na ciência, os atributos são pensados de forma hierárquica e não de forma justaposta (Bachelard, 2005, p. 140).

A alquimia reserva diversos exemplos de obstáculos substancialistas. As substâncias possuem qualidades íntimas virtuosas, podendo ser tão valorizadas que se pode questionar como algo tão numeroso e nobre acomodar-se-ia em um interior tão pequeno. O filósofo realista, refém do obstáculo substancialista faz ele mesmo perecer numa espécie de conto de fadas que ignora proporções de tamanhos (Bachelard, 2005).

Um dos objetivos de vida íntima do alquimista virtuoso se confunde com o próprio objetivo da alquimia, que é o de perseguir certas qualidades valorosas presentes no íntimo de substâncias cuidadosamente escolhidas, encontrar as chaves que as desnudem, que as virem do avesso. “O realista acumula então na substância, como o homem previdente na despensa, os poderes, virtudes, forças, sem perceber que toda força é relação” (Bachelard, 2005, p. 127).

Outro exemplo muito instrutivo apresentado por Bachelard (2005) refere-se à resistência elétrica, comparando o espírito pré-científico de Aldini com o espírito científico de Ohm. Nele, há outra faceta do obstáculo substancialista, quando se nomeia uma substância responsável pelo fenômeno observado, neste caso a eletricidade. A substância assume novas propriedades, além da intuição inicial que a criou, neste caso transmitir eletricidade.

Aldini, sobrinho de Galvani, ao fazer experimentos de condutividade elétrica de diversos fluidos, confia nos dados imediatos de paladar e tato obtidos por eletrodos, em sua língua, para conferir à substância elétrica as variações percebidas no fenômeno. Ao fazer passar a *substância* da eletricidade por diferentes meios, esta carregaria consigo as propriedades dos mesmos. Assim, Aldini imbuí mais uma propriedade para esta substância. Acreditando nisso, descreve:

[...] obtive os seguintes resultados de descargas sucessivas da mesma pilha: através da urina, 5 de força, gosto muito ácido, clarão branco; através do leite, 4 de força, gosto doce, ligeiramente ácido, clarão vermelho; através do vinho, 6 de força, gosto ligeiramente ácido; através do vinagre, 2 de força, gosto picante, clarão vermelho; através da cerveja, 7 de força, gosto picante, clarão esbranquiçado... através da solução de muriato de sódio, 10 de força; nesta experiência e nas seguintes não dava para suportar a sensação na língua... (Aldini, 1804, p. 206 *apud* Bachelard, 2005, p. 130).

A substância leva consigo tanto o gosto doce do leite ou o picante do vinagre, ocorrendo a “substancialização de uma qualidade imediata percebida numa intuição direta” (Bachelard, 2005, p. 127).

Por outro lado, o conceito de resistência elétrica proposto por Ohm é abstrato e matemático, não mais se limita à impressão primeira obtida pelos sentidos. Caso alguém queira estender as aplicações da resistência, lhe conferir novas atribuições, o núcleo de conceitos na qual a lei de Ohm está incluída impede qualquer invenção deste tipo.

2.2.7 O obstáculo animista

Quando a intuição da vida domina as explicações de fenômenos que não estão diretamente relacionados a ela, esbarramos no obstáculo animista.

Praticamente todos os verbos relacionados à vida podem ser escalados para explicar um fenômeno físico: respirar, alimentar-se, dormir, correr, voar, nadar, saltar, reproduzir-se, crescer, evoluir, cavar, escalar, esconder-se, lutar, curar, comunicar, pensar, aprender, adaptar-se, construir, hibernar, aquecer-se, proteger, pular, empurrar, puxar. Se você já obteve ou forneceu uma explicação de um fenômeno físico com algum destes verbos da lista, é provável que já tenha entrado em contato com o obstáculo animista.

É claro que tais verbos, por si sós, não representam o animismo e poderiam ser utilizados com o devido cuidado, mas quando vêm carregados do contexto vital, geram dificuldades para a devida compreensão científica. O corpo humano também surge, nesse contexto, como um “aparelho de física, um detector químico, um modelo de fenômeno objetivo” (Bachelard, 2005, p. 201).

A seguir, temos um exemplo do uso do verbo crescer no contexto vital (Hecquet, 1712, p. 136 *apud* Bachelard, 2005, p. 196). Veja como, explicando o fenômeno desta forma, extingue-se o avanço daquele conhecimento, já que nenhum experimento pode gerar conhecimento útil partindo desse pressuposto: “[...] os minerais crescem e renascem como as plantas, porque, se as estacas para enxerto das plantas formam raízes, os estilhaços das pedras

ou dos diamantes que foram lapidados, se enterrados na terra, reproduzem outros diamantes e outras pedras ao cabo de alguns anos”.

Este trecho exemplifica o que Bachelard chama de mito da fecundidade das minas. Trata-se, portanto, de sobrepor fenômenos físicos aos fenômenos biológicos, de relacionar os reinos animal, mineral e vegetal dando maior importância aos reinos animal e vegetal (Bachelard, 2005).

O próprio Lavoisier é tomado pela intuição vital ao questionar as transformações entre os três reinos da natureza (Berteloth, 1902, p. 168 *apud* Bachelard, 2005, p. 187):

Por meio de que procedimentos a natureza opera essa maravilhosa circulação entre os três reinos? Como consegue formar substâncias combustíveis, fermentáveis e putrescíveis, com materiais que não tinham nenhuma dessas propriedades? São mistérios até agora impenetráveis. Entrevê-se, porém, que a vegetação e a animalização sejam fenômenos inversos aos da combustão e da putrefação.

Verifica-se que obstáculo animista impediu Lavoisier de, pelo menos, perceber que a combustão, um processo de oxidação, tem seu oposto na redução. A comparação entre os reinos da natureza, ou seja, seguir o caminho traçado pelas necessidades do que é vivo é uma tentativa de assentar-se em bases concretas, de escapar da abstração. A intuição animista tudo pode abarcar e, sendo assim, convence facilmente. Segundo Bachelard (2005), a intuição da vida impede um estudo objetivo dos fenômenos físicos, havendo uma inversão dos meios de explicação na era pré-científica, pois em lugar de explicar os fenômenos biológicos por princípios físicos, o universo era estudado a partir de atribuições de características biológicas do homem.

Bachelard (2005) enfatiza que na sala de aula deve-se falar em obstáculos pedagógicos. O aluno não possui um espírito imaculado, aguardando a aula para poder criar os seus conceitos sobre o que quer que o currículo lhe imponha. Antes, o professor deve ter consciência de que lida com espíritos velhos, o aluno já possui pré-conceitos oriundos de suas experiências diárias. E a sua familiaridade com esses conceitos torna-os mais atraentes e reais para o aluno do que uma teoria abstrata apresentada pelo seu professor de física.

Assim, o trabalho do professor de física, ou de ciências é o de gerar uma mudança de cultura experimental, deve-se desfazer a estrutura das intuições primeiras. Do contrário, a explicação do professor será um trabalho desperdiçado.

Essa forma de iniciar os estudos de um conceito novo demanda um esforço não só intelectual, mas também afetivo. Ao aluno, lhe será apresentada a limitação de suas crenças, gerando ao mesmo tempo satisfação por conhecer mais e frustração por ter conhecido menos.

Ao professor, lhe é cobrado que assuma que tenha falhado, mudando de uma pedagogia estéril para uma mais dinâmica e adaptativa.

2.3 Perfil epistemológico

Ao pensamento científico, por ser tão dinâmico, não lhe cabe uma determinada filosofia. Essa filosofia seria, por si mesma, completa, acabada e apenas isso é suficiente para que ela falhe em abranger toda a efervescência da mente humana, expressa na evolução científica. Bachelard afirma que, no lugar de uma determinada filosofia, há de se definir uma filosofia aberta, dispersa, que persiga a superação dos seus princípios.

Nesta filosofia aberta que será apresentada, a Filosofia do *Não* se refere não a uma negação absoluta daquilo que já está constituído, mas a uma dialetização dos seus princípios em busca de novos fenômenos, um conceito, qualquer que seja. Por novo, espera-se algo que contradiga a teoria anterior e, no sucesso ao dialetizar, saber que isso não é permanente.

Por assim ser, a filosofia aberta recusa um ponto de vista único para contemplar o pensamento científico, suas diferentes teorias, aplicações e formas de descobertas. Afinal, deve ser dado ao cientista, também, a possibilidade de sonhar novas teorias, experimentos e fenômenos, mesmo que isso não seja compartilhado oficialmente com seus pares, os meios de evolução do pensamento científico são diversos.

2.3.1 A noção de perfil epistemológico

Além de defender a tese da existência de obstáculos na evolução do conhecimento, Bachelard buscou estabelecer na obra “A filosofia do não” as bases filosóficas do novo espírito científico. Nela, o autor defende que o progresso de um conhecimento científico se dá no sentido de um racionalismo crescente, passando por estágios intermediários bem estabelecidos; e também os conceitos submetidos à determinada área do conhecimento científico são passíveis de serem categorizados dentro desses estágios de desenvolvimento.

Esses estágios de evolução do conhecimento⁴, que também abrangem as diversas maneiras que um conceito se apresenta na mente de uma pessoa qualquer, cientista ou não, são: realismo ingênuo, empirismo claro e positivista, racionalismo clássico, racionalismo

⁴ Também chamados de escolas filosóficas.

completo e racionalismo dialético (Bachelard, 1978). Bachelard declara que “esta ordem é genética. Esta ordem mostra a própria realidade da epistemologia” (Bachelard, 1978, p. 29).

A coexistência de diversos sistemas filosóficos é a tentativa de Bachelard em conciliar a busca do filósofo por submeter toda a ciência a certos princípios gerais e o foco do cientista nos fenômenos particulares⁵, pois

[...] se se pretende esclarecer os problemas da ciência através da reflexão metafísica, se se pretende misturar os teoremas e os filosofemas, surge imediatamente a necessidade de aplicar uma filosofia necessariamente finalista e fechada a um pensamento científico aberto. Corre-se o risco de não agradar a ninguém; nem aos cientistas, nem aos filósofos, nem aos historiadores (Bachelard, 1978, p. 3).

Ou ainda “Por outras palavras, cada filosofia fornece apenas uma banda do espectro nocional, e é necessário agrupar todas as filosofias para termos o espectro nocional completo de um conhecimento particular” (Bachelard, 1978, p. 29).

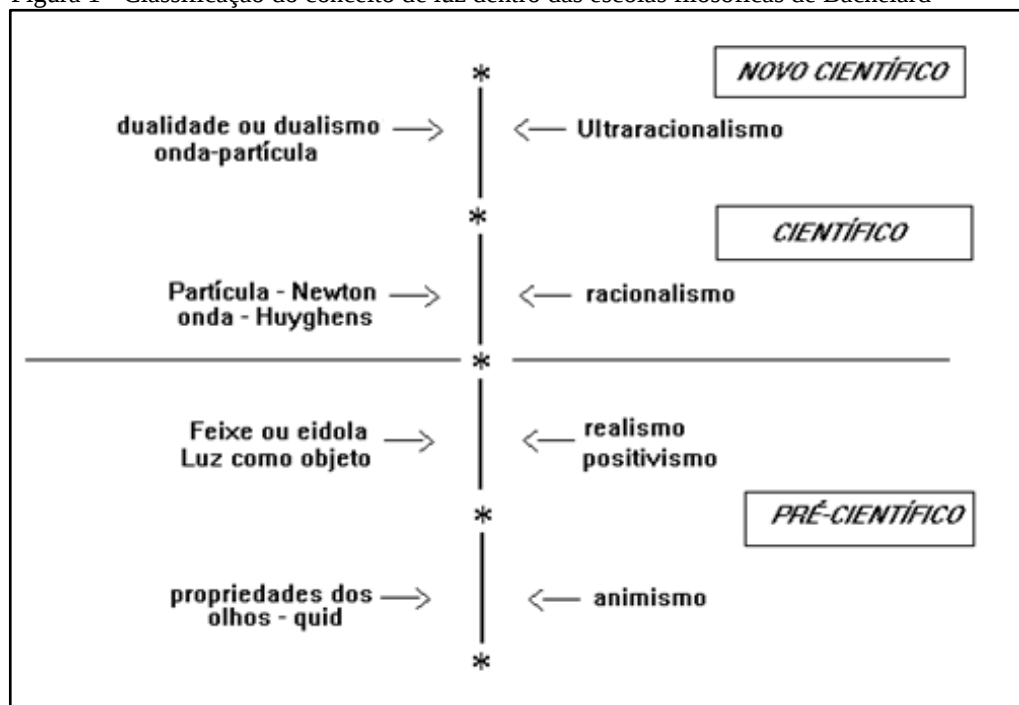
Cada uma dessas escolas filosóficas é uma etapa da evolução do espírito científico e mais divisões podem surgir, dependendo apenas do desenvolvimento das teorias científicas. O sentido natural da evolução é do Realismo Ingênuo para o Racionalismo Discursivo, a tendência é se afastar do Realismo. Existem teorias científicas que não possuem o último nível racionalista discursivo, portanto deve-se levar em conta o contexto em que essa noção é aplicada.

Dessa filosofia da ciência dispersa surge a ideia de perfil epistemológico, que pode ser aplicado: a) à avaliação do desenvolvimento de determinado conceito dentro de um campo de estudo científico, ou do desenvolvimento do próprio campo de estudo ou; b) aplicado à forma como o conceito é utilizado pelo indivíduo.

No primeiro caso, pode-se usar como exemplo a proposta de Pinto e Zanetic (1999) em relacionar as teorias da física da luz e as escolas filosóficas de Bachelard, o resultado está na Figura 1.

⁵ Aqui, Bachelard faz referência aos “obstáculos epistemológicos contrários que limitam todo o pensamento: o geral e o imediato” (Bachelard, 1978, p. 3).

Figura 1 - Classificação do conceito de luz dentro das escolas filosóficas de Bachelard



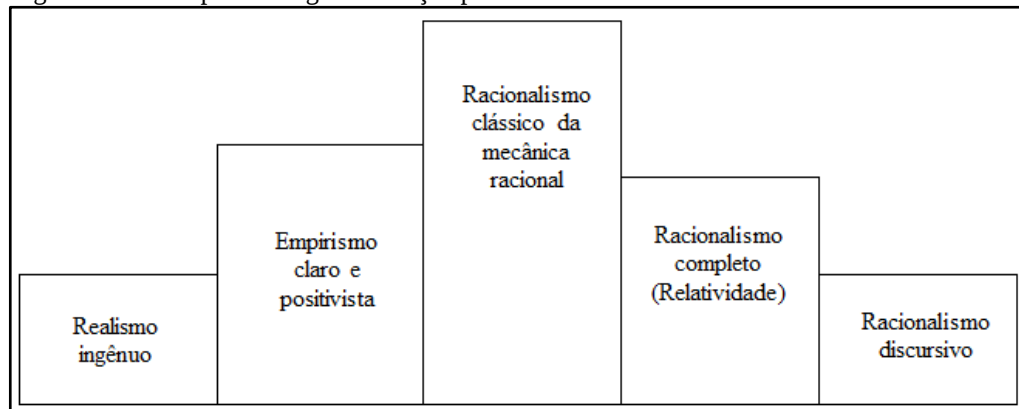
Fonte: Pinto; Zanetic (1999).

No segundo caso, para fazer uso de determinado conceito, pode-se tomá-lo em uma “versão” de acordo com o contexto. Uma mesma pessoa possui diversas “versões” prontas para serem utilizadas e cada uma delas se encaixa em alguma das cinco escolas filosóficas. A validade desta proposição depende de se aplicá-la a um determinado conceito e em determinado contexto sociocultural. Assim, torna-se útil como psicologia do espírito científico.

Insistimos no fato de um perfil epistemológico dever sempre referir-se a um conceito designado, de ele apenas ser válido para um espírito particular que se examina num estágio particular da sua cultura. É esta dupla particularização que torna um perfil epistemológico interessante para uma psicologia do espírito científico (Bachelard, 1978, p. 25).

Como exemplo, Bachelard apresenta o seu perfil epistemológico para o conceito de massa (Figura 2). Nele, a altura de cada coluna refere-se ao número de vezes em que utilizou o conceito de massa, sob a perspectiva de determinada escola filosófica, uma medida da frequência de uso. Entretanto, o autor ressalta que a medida realizada pelo próprio indivíduo de si mesmo é uma “medida muito grosseira” (Bachelard, 1978, p. 25).

Figura 2 - Perfil epistemológico da noção pessoal de massa de Bachelard



Fonte: Bachelard (1978).

No realismo ingênuo, a massa é vista como “maior tem mais massa”, esta é a definição mais simples e grosseira do conceito, não há provas subsidiando as conclusões. Ela é inata, não é necessário que seja ensinada.

No empirismo, existe a observação dos fenômenos, mas se caracteriza pela somente descrição dos mesmos. Varia-se o número de observações, mas não é feita uma investigação para encontrar a racionalização que explicaria aquilo.

O racionalismo clássico supera as duas escolas anteriores, pois a razão supera a observação rasa dos fenômenos. Aqui, pode-se citar a noção de massa dentro da teoria Mecânica Newtoniana e sua relação com a variação temporal do momento linear. A proposta de Newton também implica em um universo determinista.

A zona do racionalismo completo é de difícil definição, mas pode-se afirmar que nela novos conceitos surgem de forma a multiplicar as noções elementares, como o conceito de massa, mas não rompe com eles, expande-os. O exemplo apresentado é o surgimento da teoria da relatividade, que expande o conceito de massa, ainda se comunicando com a visão anterior, sofisticando-a.

A última zona, o racionalismo discursivo, não necessariamente existe em todos os campos cultivados pela ciência, visto que ele é produto da racionalização teórico-instrumental em avançada maturidade. A mecânica de Dirac, com a proposição de um conceito de massa negativa, dialetiza com o conceito de massa em todas as zonas anteriores e necessita de uma nova reorganização dos princípios das teorias vigentes. É nessa zona que o cientista se permite sonhar, em que a criatividade pode dirigir o próximo passo na evolução do espírito científico.

Portanto, a noção de perfil epistemológico pode ser aplicada tanto à evolução das ideias/conceitos dentro de determinado conhecimento científico, quanto na avaliação do perfil

epistemológico individual. Bachelard deixa claro que o perfil individual pode ser diferente para uma mesma pessoa, se realizado em momentos diferentes e a sua quantificação é de difícil mensuração. A essa dificuldade de mensuração, Bachelard não apresenta uma solução, e deve, portanto, ser desenvolvida especificamente para cada pesquisa que deseje realizá-la. Nesse sentido, Souza (2014, p. 196) comenta que a construção de instrumentos para sua tese de doutorado “foi um trabalho muito difícil e demandou muito tempo e reflexões”.

2.4 O perfil conceitual de Eduardo F. Mortimer

Para Bachelard (1978), toda a evolução do conhecimento pode ser categorizada dentro de escolas filosóficas, como discutido na seção anterior. A partir disso, Mortimer (2000) propõe a ideia de perfil conceitual, adicionando uma camada ontológica de mesma importância que a epistemológica, já proposta por Bachelard.

O surgimento dessa camada ontológica é devido ao contexto de época, no qual o problema da mudança conceitual estava em voga, e o perfil conceitual é apresentado como uma solução satisfatória a ele, como o autor afirma: “A noção de perfil conceitual permite, também, dar uma solução satisfatória ao problema da mudança conceitual” (Mortimer, 2000, p. 354). Esta preocupação do autor, gerada diretamente de uma necessidade pedagógica, mostra que um dos objetivos da aplicação do perfil conceitual é permitir “a construção de um novo modelo para a análise da evolução conceitual em sala de aula” (Mortimer, 2000, p. 13).

Ainda sob o ponto de vista pedagógico, o autor esclarece que o perfil conceitual partilha do mesmo fundamento do perfil epistemológico, de que determinado conceito poderia habitar ao mesmo tempo em diferentes zonas epistemológicas, agora adicionadas às zonas ontológicas, e que se faz o uso de cada uma delas, conforme o contexto. Dessa forma, “o processo de ensino deveria tentar delimitar o domínio das concepções prévias, através de situações em que elas não funcionassem, *mas não suprimi-las*” (Mortimer, 2000, p. 26, grifo nosso). Ou ainda, sendo mais explícito sobre o atrelamento entre o perfil conceitual de Mortimer e o perfil epistemológico de Bachelard, Mortimer esclarece que

[...] esse modelo deveria admitir a possibilidade de se usar diferentes formas de pensar em diferentes domínios e, ainda, permitir que a construção de uma nova ideia pudesse, em algumas situações, ocorrer independentemente das ideias prévias e não necessariamente como uma acomodação de estruturas conceituais já existentes (Mortimer, 2000, p. 67-68).

Dessa forma, isso pode ser entendido como uma aplicação pedagógica da visão de Bachelard para o perfil epistemológico, pois “cada filosofia fornece apenas uma banda do espectro nocional, e é necessário agrupar todas as filosofias para termos o espectro nocional completo de um conhecimento particular” (Bachelard, 1978, p. 29).

Ainda sobre o uso do perfil conceitual como estratégia de ensino, Mortimer frisa que dois aspectos permanecem independentemente da área de ensino: i) o novo conceito deve ser primeiramente ensinado dentro de uma zona específica do perfil conceitual; ii) o aluno deve tomar consciência de seu próprio perfil, “o que permite a comparação entre as diferentes zonas que o constituem, bem como a avaliação do domínio a que se aplica e do poder relativo de cada uma delas” (Mortimer, 2000, p. 143). Na obra de Bachelard (1978), estes e outros aspectos pedagógicos não estão explícitos como em Mortimer (2000), entretanto, com as devidas precauções, acreditamos que essa abordagem seja válida para ambos os autores.

Desprendendo-se das similaridades entre os perfis epistemológico e conceitual e com o interesse em descrever as consequências do processo de ensino, Mortimer (2000) introduz novas características em seu perfil conceitual: a primeira, sobre a construção das categorias da região pré-científica e a segunda, sobre a face ontológica de determinado conceito.

A respeito da região pré-científica do perfil, enquanto em Bachelard (1978), submete-se essa região às escolas filosóficas definidas, como animismo e realismo, Mortimer (2000) defende que as categorias desta região no perfil conceitual originam-se do imaginário de senso comum ou concepções alternativas de determinada sociedade e, portanto, podem ser estabelecidas antes de se consultar o indivíduo, ou seja, para cada indivíduo dentro daquela sociedade, as categorias pré-científicas são as mesmas. Assim, cada indivíduo será responsável por atribuir diferentes pesos a essas zonas pré-estabelecidas por esse “sistema supra-individual de formas de pensamento” (Mortimer, 2000, p. 80). Sobre essa uniformização de concepções elementares, o autor esclarece que:

Vai além dos objetivos deste trabalho responder se essas similaridades são devidas às características transculturais das concepções alternativas, o que daria suporte à ideia de que as concepções dos estudantes seriam moldadas mais pelo meio físico que pelo cultural. Ou se elas são consequência da uniformidade cultural da nossa civilização industrial moderna, já que as diferenças culturais entre as diversas regiões e países têm se tornado cada vez menores, à medida que o mundo se transforma numa “aldeia global” (Mortimer, 2000, p. 81).

A inclusão do aspecto ontológico é motivada por um mesmo conceito poder apresentar um perfil conceitual (ontológico) diferente do seu perfil epistemológico e a razão para recategorizar um conceito em seu aspecto ontológico é “[...] que muitos dos problemas na

aprendizagem de conceitos científicos têm sido relacionados com a dificuldade em se mudar as categorias ontológicas às quais os conceitos são designados” (Mortimer, 2000, p. 79).

O autor exemplifica como o conceito de átomo se distribui em três categorias ontológicas: (i) átomos como matéria contínua; (ii) átomos como partículas e (iii) átomos como objetos quânticos.

Na zona (i), o conceito de átomo é negado, pois se assume que a matéria é contínua, não há vácuo. O autor nomeia “essa concepção de sensorialista, por estar associada à percepção sensorial direta da matéria como algo contínuo” (Mortimer, 2000, p. 128);

A zona (ii) divide-se em duas categorias:

Na zona (ii-a), o conceito de partícula existe, mas as *partículas replicam as propriedades da matéria macroscópica*, por isso essa é uma zona substancialista. Neste caso, um aspecto característico do perfil conceitual é que estudantes que estejam na zona (ii) ainda podem manter a aversão ao vácuo, de forma que também permanecem na zona (i), como Mortimer afirma: “o fato de os estudantes que manifestam uma concepção de atomismo substancialista usarem partículas em suas representações para a matéria não é uma garantia de que eles acreditem na existência do vazio entre elas” (Mortimer, 2000, p. 130). Conforme o autor, esta coexistência em duas zonas do perfil existiu, também, entre os filósofos mecanicistas do século XVII, Newton defendia átomos separados pelo vácuo e Descartes átomos cujos espaços intersticiais seriam ocupados por outros átomos cada vez menores, a fim de não existir o vazio.

Na zona (ii-b), aceita-se o modelo de átomo clássico, conforme definido pela ciência moderna. Esta zona pode conter subdivisões, as quais se caracterizam pela superação das zonas (i) e (ii-a), ao assumir a descontinuidade da matéria e eliminar o substancialismo e “outra importante categoria a ser adicionada é a conservação da massa nas transformações da matéria” (Mortimer, 2000, p. 133). Entretanto,

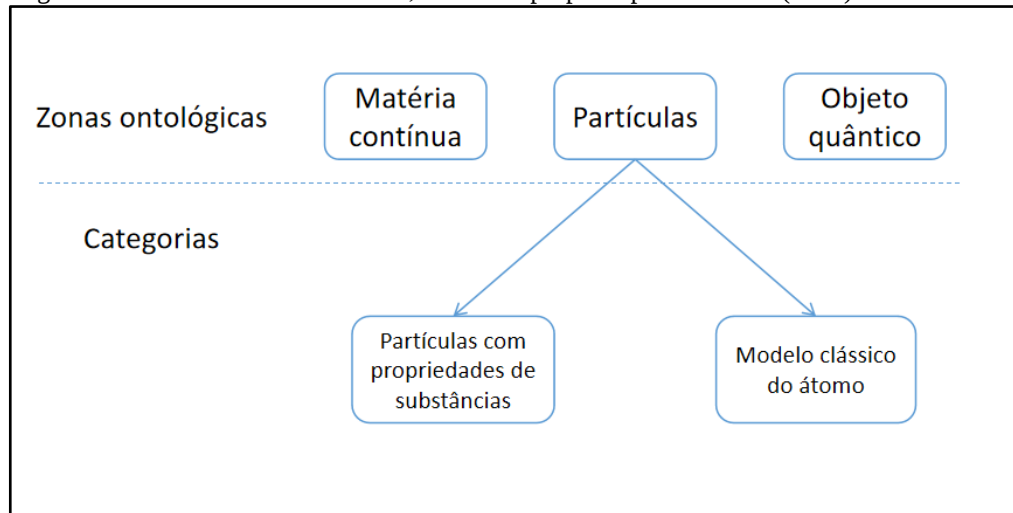
É importante ressaltar que o atomismo clássico ainda carrega algumas características realistas e substancialistas, como herança de sua origem mecanicista. Em que pesem as diferenças epistemológicas entre o atomismo clássico e essas duas outras áreas do perfil, todas essas concepções consideram o átomo como o bloco básico de que as substâncias são feitas. Neste sentido, todos esses “átomos” (substancialista, realista e clássico) pertencem à mesma categoria ontológica (Mortimer, 2000, p. 136).

Na zona (iii), o átomo é tratado como um objeto quântico, logo, de uma natureza diferente das anteriores: “Ele é um tipo de objeto mais bem descrito por equações

matemáticas do que por modelos ou analogias com a realidade macroscópica” (Mortimer, 2000, p. 139).

A fim de facilitar a compreensão desta noção de perfil conceitual de átomo proposto por Mortimer (2000), apresenta-se um diagrama na Figura 3 contendo as zonas ontológicas e suas principais categorias.

Figura 3 - Perfil conceitual do átomo, conforme proposto por Mortimer (2000)



Fonte: Autor (2024).

Portanto, o perfil conceitual e o perfil epistemológico têm diversos aspectos em comum, especialmente na coexistência de diferentes concepções para um mesmo conceito, e a grande diferença entre eles, o aspecto ontológico, é motivada pela preocupação em tornar o perfil conceitual uma ferramenta fundamentalmente pedagógica e não somente filosófica.

3 REFERENCIAL TEÓRICO: A TEORIA DE DESENVOLVIMENTO COGNITIVO DE LEV S. VIGOTSKI

Neste capítulo, apresenta-se o referencial teórico fundamentado na teoria de desenvolvimento cognitivo de Lev S. Vigotski. Consciente da abrangência e complexidade da obra do autor serão discutidos principalmente as suas implicações no campo pedagógico e da Educação em geral, iniciando pela caracterização das Funções Psicológicas Superiores, o conceito de mediação, a relação entre conceitos científicos e espontâneos, as consequências para a o ensino e aprendizagem e, por fim, será discutida a conformidade entre as visões de Vigotski e Bachelard para o ensino de ciências.

3.1 Introdução

Lev Semionovitch Vigotski nasceu no ano de 1896 e faleceu com 37 anos, em 1934. Para compreender a obra de Vigotski é importante entendê-la no seu contexto histórico-cultural, localizado na Rússia pós-revolução de 1917. Vigotski trabalhou para desenvolver uma teoria marxista do funcionamento cognitivo humano, muitas vezes, para isso, fazendo o contraponto ao desenvolvimento cognitivo apresentado por animais superiores, como os macacos antropoides.

Em sua época de estudante e profissional, a psicologia experimental, fundada por Wilhelm Wundt e o pragmatismo americano, liderado por William James, estavam em plena efervescência. Também foi contemporâneo de pesquisadores muito influentes da teoria comportamental behaviorista e do movimento Gestalt, os quais cita frequentemente em seus escritos e dirige duras críticas sobre as limitações de seus pressupostos.

Esses movimentos teóricos tentavam se afirmar através da melhoria do método experimental, que envolvia desde o estudo do estímulo elétrico de tecidos musculares de rãs, passando pelos macacos antropoides, até chegar em estudos clínicos com crianças e adultos; e da estrutura teórica que propunha os elementos constituintes da estrutura cognitiva humana.

Com tantos movimentos e pesquisadores de continentes diferentes, principalmente América (Estados Unidos) e Europa, aspectos importantes de suas teorias se contradiziam para explicar os mesmos fenômenos. Aqui, há uma separação clara, também assumida por Vigotski, entre os aspectos que uma teoria do intelecto deve explicar: a) processos psicológicos elementares, que são aqueles sensoriais e reflexos; b) processos psicológicos superiores, relacionados a pensamentos, linguagem e comportamento volitivo.

As grandes questões estavam em como processos elementares (Funções Psicológicas Elementares) se relacionavam com os processos superiores (Funções Psicológicas Superiores). Tais como: Pode-se isolar os elementos cognitivos responsáveis pelos comportamentos elementares?; A evolução quantitativa e qualitativa desses elementos origina os processos psicológicos superiores?; Ou será que os processos superiores são explicados por estruturas completamente diferentes daquelas que condicionam os comportamentos elementares?

Os gestaltistas não acreditavam que associações de processos psicológicos simples originassem processos superiores. Wundt propôs que os processos superiores não poderiam ser estudados através do método utilizado pelos psicólogos experimentais. Também havia a revolucionária e influente teoria da evolução de Darwin, que propunha a continuidade da evolução entre animais e ser humano, podendo implicar na evolução dos comportamentos elementares em complexos.

Vigotski (2021) acreditava que o materialismo histórico e dialético poderia fazer a ponte entre essas diversas visões do intelecto humano. Na sua teoria do desenvolvimento dos processos psicológicos superiores ele estudou os fenômenos como processos dinâmicos, em constante evolução e mudança (Vigotski, 2021). Essa perspectiva pressupunha que, para se conhecer a fonte de determinado comportamento, este deve ser acompanhado historicamente até a sua gênese.

Estudos da atividade intelectual de povos primitivos e da história da linguística soviética demonstram a crença de Vigotski e seus colaboradores, especialmente Luria, de que se pode reconstruir a evolução dos processos mentais através de uma abordagem histórica. O desenvolvimento cognitivo de um povo pode ser compreendido através da evolução das suas produções tecnológico-culturais, daí a abordagem histórico-cultural da sua teoria cognitiva.

O método experimental adotado por Vigotski diferia daquele convencionalmente utilizado pela psicologia experimental. A forma então aceita para a psicologia experimental era manter o máximo de controle sobre os estímulos, as tarefas e as respostas, a fim de conseguir isolar fatores de estímulo que influenciam em determinada resposta. Em virtude deste controle das condições de experimentação, também eram realizados em laboratórios, locais designados para este fim.

Vigotski (1996) entendia a experimentação de maneira própria, uma vez que o objetivo dos experimentos era de expor processos mentais que estão sob o comportamento comum, já cristalizado na rotina daquele ser humano. Contrário aos controles rígidos da psicologia experimental tradicional, ele concebia testes com várias formas de se alcançar a sua solução,

cabendo ao voluntário escolher como proceder e estas escolhas evidenciariam processos mentais encobertos por aqueles mais rotineiros e visíveis.

A engenhosidade destes experimentos residia, dentre outros fatores, em propor problemas que não eram comuns ao voluntário, de tal forma que soluções rápidas e fáceis não estavam presentes. A busca por estas soluções era o caminho encontrado por Vigotski para alcançar a gênese de determinada função psicológica.

Um exemplo interessante era quando do estudo da fala, criar situações de interação em que uma criança não pudesse se comunicar com outra de forma habitual, sendo as outras surdas ou falantes de outros idiomas. Isso faria com que as crianças acessassem processos psicológicos que ainda não passaram por um processo elaborado de evolução. Outra maneira era fornecer ferramentas para a solução de testes, como cartas ou determinadas anotações, a forma como a criança acessava estes meios artificiais era indicativo de determinadas funções psicológicas. Uma terceira maneira de acessar a gênese de funções psicológicas foi formar uma dupla na qual um dos integrantes possuía muito mais habilidades e conhecimentos que o outro membro.

Portanto, o método utilizado por Vigotski não seguia os protocolos dos trabalhos experimentais tradicionais. Ele fazia uso tanto dos estudos clínicos, quanto de campo, dando às crianças uma variedade de possibilidades de concluir a tarefa proposta, fosse obtendo dados quantitativos e qualitativos, descrevendo minúcias dos comportamentos apresentados durante os testes, fosse diferenciando-se em aprender sobre o processo em desenvolvimento ali e não nos resultados obtidos pela criança em determinada tarefa.

3.2 A origem e a natureza sociais das Funções Psicológicas Superiores (FPS)

De acordo com Marques e Castro (2022), Vigotski partiu dos trabalhos de importantes pesquisadores da época (como Wolfgang Köhler e Robert Yerkes) para mostrar que a espécie humana se diferencia das demais por sua estrutura mental própria e pelas possibilidades de desenvolvimento cultural, o que não faz parte da herança genética. Vigotski (2021) considera que existem formas especificamente humanas de pensamento, relacionadas ao ambiente cultural, ou seja, determinadas pelas relações sociais entre as pessoas.

Vigotski (2021) estabelece uma distinção entre as funções elementares comuns aos humanos e aos animais e aquelas especificamente humanas, chamadas Funções Psicológicas Superiores (FPS). Enquanto as primeiras estão sob a influência do desenvolvimento biológico (natural), as segundas são desenvolvidas no convívio sociocultural. Através do

desenvolvimento cultural da criança, ou seja, da inserção em meio sociocultural caracterizado pelo uso de signos, que essas FPS vão se desenvolvendo.

Na perspectiva de Vigotski (2021) as funções elementares se caracterizam pela ausência de controle voluntário, são reguladas pelo meio, as FPS são regidas pela autorregulação. Dessa forma, as FPS surgem da tomada de consciência dos próprios processos mentais, ou seja, não é a natureza, mas a cultura que representa o fator dominante do comportamento humano. Enfim, o desenvolvimento das FPS reside na utilização de signos mediadores da cultura.

Dessa forma, o controle voluntário e a consciência são funções de natureza social que supõem a existência de ferramentas psicológicas, de signos que servem para dominar tanto a sua própria atividade quanto a dos outros. A fonte de desenvolvimento das FPS está nos processos de mediação semiótica de origem social que são próprios ao desenvolvimento histórico-cultural.

Marques e Castro (2022) explicam que não se encontra na obra de Vigotski uma lista dos processos naturais que fundamentam o desenvolvimento de FPS, no entanto, ele tem discutido o desenvolvimento cultural a partir de processos naturais em diferentes obras. Os autores encontraram seis processos naturais que foram distinguidos por ele: percepção, intelecto prático e planejamento, memória, atenção, emoções e fala.

De acordo com Marques e Castro (2022), como os signos são usados de acordo com os diferentes modos culturais, as FPS surgem primeiro como formas de colaboração psicológica, em sociedade e com os outros. A diferença fundamental entre processos psicológicos naturais e culturais, ou processos psicológicos inferiores e superiores, reside na incorporação de signos (cultural) na estrutura da mente (biológico). Assim, os signos mudam quando se relacionam com a estrutura da mente do indivíduo e através da apropriação cultural, pela língua, as qualidades do signo externo também mudam e a comunicação com os signos adquire novos aspectos (Marques; Castro, 2022).

3.3 Mediação na perspectiva vigotskiana

Vigotski (2001) propôs o princípio da dupla estimulação para explicar como o desenvolvimento cognitivo e a aprendizagem ocorrem por meio da interação entre dois tipos de estímulos. O primeiro estímulo é o objeto ou problema que o indivíduo precisa resolver, representando o desafio ou a situação que requer uma solução ou compreensão. O segundo estímulo consiste nas ferramentas mediadoras – instrumentos e signos – fornecidas ao

indivíduo para auxiliar na resolução do problema. Isso pode incluir a linguagem, números, símbolos, diagramas ou qualquer recurso cultural que possa mediar o processo de desenvolvimento cognitivo. Ao interagir com ambos os estímulos, o indivíduo utiliza essas ferramentas mediadoras para transformar e reorganizar o problema inicial, desenvolvendo assim funções psicológicas superiores. Esse processo enfatiza a importância do ambiente social e cultural na formação das habilidades cognitivas, pois as ferramentas fornecidas geralmente têm origem na cultura em que o indivíduo está inserido.

Segundo Oliveira (1993, p. 24), “a relação do homem com o mundo não é uma relação direta, mas uma relação mediada, sendo os sistemas simbólicos os elementos intermediários entre o sujeito e o mundo”. Dessa forma, o desenvolvimento das FPS é mediado por instrumentos e signos construídos social, histórica e culturalmente no contexto em que ele se situa. Instrumento é algo que pode ser usado para fazer alguma coisa, enquanto o signo (ferramenta psicológica) é algo que significa alguma coisa.

Como exemplos de ferramenta psicológica, Vigotski (2021) cita: “a linguagem (fala), as diferentes formas de numeração e cálculo, os dispositivos mnemotécnicos (técnica de estimulação da memória), o simbolismo algébrico, as obras de arte, a escrita, os diagramas, os mapas, os desenhos, todos os tipos de sinais convencionais”.

Vigotski (2021) atribui um papel central à experiência sociocultural, que não é cumulativa, pois vai acarretar uma série de mudanças internas associadas ao domínio progressivo de ferramentas culturais fornecidas pela sociedade na qual está imersa. A ação humana se desenvolve, necessariamente, pela mediação de uma série de instrumentos e signos (ferramentas psicológicas) cuja peculiaridade é sua natureza cultural.

As sociedades constroem instrumentos e sistemas de signos ao longo de sua história e eles modificam o desenvolvimento social e cultural dessas sociedades. É através da apropriação (internalização, reconstrução interna) dessas construções sócio-históricas e culturais, via interação social, que o sujeito se desenvolve cognitivamente.

Dessa forma, é importante mencionar que mediação na concepção histórico-cultural é um termo designado para caracterizar o uso de meios auxiliares para solucionar problemas psicológicos (lembrar, raciocinar etc.). Logo, as ferramentas e os signos são os “meios auxiliares” pelos quais as interações entre o sujeito e o objeto são mediadas, sendo o sujeito o protagonista da atividade e o objeto - a força motivadora.

Vigotski (2021) afirma que as FPS, no indivíduo, derivam da vida social, via interação mediada, e como consequência, todas as funções no desenvolvimento humano aparecem duas vezes: primeiro, no nível social, e, depois, no nível individual; primeiro, entre pessoa

(interpessoal), e, depois, no interior da pessoa (intrapessoal). Isso se aplica igualmente para a atenção voluntária, para a memória lógica e para a formação de conceitos. Todas as funções superiores originam-se das relações reais entre indivíduos humanos.

De acordo com Marques e Castro (2022), o conceito de mediação deve ser interpretado em uma concepção não determinista dos processos educativos, tendo em vista que parte da concepção de nossa relação em sociedade será sempre mediada, seja por ferramentas (de dentro para fora) ou por signos (de fora para dentro). O professor, nessa concepção, não é o mediador, é o profissional responsável por potencializar a apropriação e o uso de ferramentas e signos pelos estudantes na escola, contribuindo sobremaneira para seu desenvolvimento intelectual e para sua inserção e participação na sociedade (Marques; Castro, 2022).

3.4 Conceitos científicos e conceitos espontâneos

Carvalho (2010) explica que todo o fenômeno pode ser mostrado, pois é um acontecimento da natureza; entretendo, o conceito não está diretamente visível, é uma abstração, quase sempre uma explicação para o fenômeno, e precisa ser explicado obedecendo a certa lógica. Para Vigotski (2001) os conceitos são sistemas de relações e generalizações contidas na linguagem, determinados por um processo histórico-cultural, produzidos culturalmente e apropriados pelos indivíduos ao longo de seu processo de desenvolvimento.

Segundo Vigotski (2001), os conceitos científicos são todos os conhecimentos oriundos do ensino formal, caracterizados por serem sistemáticos e hierárquicos, já os conceitos espontâneos, em contraste, são todos os conhecimentos adquiridos por meio do ensino informal, ou seja, por meio da experiência cotidiana, portanto, não sistemáticos e não hierárquicos.

Vigotski (2001) considera que apesar da diferença entre as duas categorias, quanto à presença ou ausência de um sistema, ambas estão intimamente interligadas, exercendo influência uma sobre a outra. Para o autor, “trata-se do desenvolvimento de um processo único de formação de conceitos, que se realiza sob diferentes condições internas e externas, mas continua indiviso por sua natureza” (Vigotski, 2001, p. 261).

Para Vigotski (2001, p. 243), “o desenvolvimento dos conceitos científicos supera o desenvolvimento dos espontâneos”. O sujeito torna-se capaz de generalizar e contextualizar os conceitos científicos quando esses passam de um estágio de compreensão menos elaborado, para um estágio de compreensão mais elaborado e complexo. O autor reitera que o domínio cognitivo dos conceitos científicos pelos estudantes está sempre à frente do domínio cognitivo

dos conceitos espontâneos, e que o avanço do estudante no domínio cognitivo de seus conceitos espontâneos se deve à aprendizagem formal dos conceitos científicos.

De acordo com Marques e Castro (2022, p. 181), “os conceitos científicos não emergem diretamente dos conceitos espontâneos, mas são introduzidos pedagogicamente, em geral, nas sociedades organizadas e letradas contemporâneas, pelos professores nas escolas”. Ainda segundo os autores, a colaboração sistemática entre professor e estudante permite o desenvolvimento de FPS e, conseqüentemente, seu desenvolvimento intelectual.

Na visão de Vigotski (2010), o aprendizado efetivo de um conceito científico dá às pessoas escolhas deliberadas e a capacidade de justificá-las; “tendo se apropriado de um conceito, podem refletir sobre seu conteúdo e agir sobre o mundo com maior autonomia e em um plano superior de desenvolvimento intelectual” (Marques; Castro, p. 181).

Marques e Castro (2002) explicam que falar em conceitos científicos é falar em conteúdo escolar. Seguem os autores:

Os conhecimentos científicos de Vygotsky são os conteúdos historicamente desenvolvidos pelo homem, sendo, parte importante deles, sistematizada e disponibilizada nas escolas e nas universidades. À escola, na sociedade contemporânea, cabe a transmissão (essa palavra não pode ser tratada pejorativamente, pois é essa a intenção real da escola e o objetivo de sua existência) – não mecânica – desses conteúdos aos estudantes, de geração em geração, permitindo a perpetuação da cultura humana. Os conceitos científicos são o fundamento da existência das instituições educacionais (Marques; Castro, p. 182).

Dessa forma, a passagem dos conceitos espontâneos para os conceitos científicos ilustra bem o papel da educação formal no desenvolvimento das FPS.

Assim, ao abordar a transição dos conceitos espontâneos para os conceitos científicos, evidencia-se o papel central da educação formal no desenvolvimento das FPS. Esse processo não apenas organiza e sistematiza o conhecimento historicamente acumulado, como também promove a internalização de conceitos de maneira estruturada. É nesse contexto que o princípio da ascensão do abstrato para o concreto se torna fundamental, pois esclarece como o aprendizado progride do geral e abstrato para o específico e concreto, favorecendo uma compreensão mais integrada e significativa.

O princípio da ascensão do abstrato para o concreto aborda a maneira como o conhecimento é internalizado, iniciando-se com conceitos gerais e abstratos e avançando para uma compreensão concreta e aplicada. O aprendizado começa com a introdução de conceitos gerais, teorias ou princípios abstratos que não estão necessariamente ligados a experiências concretas imediatas. Através da aplicação prática e da interação com situações reais, esses

conceitos abstratos são gradualmente compreendidos em um nível mais profundo e concreto. O indivíduo começa a perceber como as ideias gerais se manifestam em contextos específicos.

Vigotski (2001) argumenta que esse processo permite uma compreensão mais sólida e integrada, pois o indivíduo não apenas memoriza fatos isolados, mas compreende as relações subjacentes que conectam os conceitos abstratos às manifestações concretas no mundo real. Isso promove uma aprendizagem efetiva, em que a teoria explica a prática e vice-versa.

3.5 Implicações para o ensino e aprendizagem

Vigotski (2001) afirma que o único ensino válido é aquele que precede ao desenvolvimento. Os resultados de suas pesquisas mostram que em nenhum caso as funções psicológicas necessárias à aprendizagem desses conteúdos estavam presentes na mente das crianças quando eles começaram a ser ensinados, ou seja, o ensino está sempre à frente do desenvolvimento cognitivo. Esses resultados também tornaram claro para Vigotski que, do ponto de vista do desenvolvimento cognitivo, todos os conteúdos básicos do ensino escolar atuam como uma disciplina formal, cada um facilitando a aprendizagem dos outros.

Dessa forma, o ensino de conteúdos novos deve se antecipar às funções psicológicas necessárias à aprendizagem desses conteúdos na mente do estudante, pois é por meio dessa aprendizagem que essas funções são formadas. A questão que se coloca então é: qual é o limite dessa antecipação? (Marques; Castro, 2022).

Para responder a essa questão, Vigotski (2001) propôs uma nova abordagem, na qual um parceiro mais capaz estivesse presente e tivesse participação ativa nesse processo. A partir daí, define a zona de desenvolvimento iminente (ZDI), que corresponde a uma espécie de desnível cognitivo do aprendiz dentro do qual a instrução é mais viável e produtiva.

Segundo Prestes (2020), a ZDI corresponde à distância entre o nível do desenvolvimento atual do estudante, que é definido com ajuda de questões que o estudante resolve sozinho, e o nível do desenvolvimento possível, que é definido com a ajuda de problemas que o estudante resolve sob a orientação dos adultos e em colaboração com companheiros mais inteligentes (mais capazes). Dessa forma, o estudante será capaz de realizar de forma independente, amanhã, aquilo que hoje ele realiza com a colaboração e a orientação de outros.

A partir da compreensão da Zona de Desenvolvimento Iminente, entende-se que o ensino precisa se adaptar, não ao nível do desenvolvimento real, mas sim ao nível de desenvolvimento iminente dos estudantes (Prestes, 2010). Vigotski (2001) lembrava que,

quando em casa, um estudante resolve problemas depois de ter visto uma amostra do conteúdo em sala de aula, ele continua a agir em colaboração, embora, nesse momento, o professor não esteja mais a seu lado fisicamente. “Se eu vi uma coisa hoje e faço a mesma coisa amanhã, eu o faço por imitação” (Vigotski, 2001, p. 342). Essa ajuda, esse momento de colaboração, está presente na forma aparentemente autônoma na resolução do estudante, mas não o é. “A aprendizagem é possível onde é possível a imitação” (Vigotski, 2001, p. 332).

Para Vigotski (2001), a imitação não é, como creem os leigos em psicologia, apenas uma atividade mecânica, que quase todas as pessoas são capazes de fazer se tiverem a quem imitar. Para imitar é necessário possuir os meios para passar de algo que se sabe para conhecer algo novo. Com assistência, todo estudante pode fazer mais do que faz por si só, mas só dentro dos limites do seu nível de desenvolvimento, ou seja, se a imitação não tivesse limites, qualquer criança seria capaz de resolver qualquer problema com a assistência de um adulto.

De acordo com Vigotski (2001), o processo de aprendizagem resulta essencialmente de cooperação, ensino e imitação: o estudante pode aprender se contar com a cooperação do professor ou de um parceiro mais capaz que o ensine “deixando-se” imitar: a aprendizagem é possível onde a imitação é possível.

Segundo Marques e Castro (2022), o estudante realiza tarefas infinitamente mais complexas quando tem colaboração com o adulto, quando imita esse adulto. Isso significa que, com trabalho pedagógico do professor, o estudante pode resolver as tarefas que seriam muito difíceis de serem resolvidas sozinho. Nessa concepção, a atuação do professor deve incidir sobre aquelas funções psíquicas que ainda vão se desenvolver, ou seja, possuem potencial para amadurecer.

3.6 Vigotski, Bachelard e o Ensino de Ciências

Como discutido anteriormente, Vigotski atribui uma enorme importância à dimensão social e ao papel do outro no desenvolvimento dos indivíduos, uma vez que o desenvolvimento humano provém da relação do indivíduo com o mundo, através dos instrumentos de mediação cultural, oriundos do contexto social e da interação com pessoas. Já para Bachelard a concepção de epistemologia está ligada diretamente à história das Ciências e traz à tona uma análise da produção do conhecimento científico numa perspectiva histórica.

Bachelard (2005) analisa o progresso da Ciência contemporânea em forma de problemas (obstáculos). Considera que as condições psicológicas influenciam no progresso da

Ciência, tomando alguns elementos da psicologia, da filosofia e da educação (experiência primeira, conhecimento unitário, substancialismo, animismo, senso comum, opinião, imagens, analogias, metáforas, generalidades) como objetos de estudo.

Quando se procuram as condições psicológicas do progresso da ciência, logo se chega à convicção de que é em termos de obstáculos que o problema do conhecimento científico deve ser colocado. E não se trata de considerar obstáculos externos, como a complexidade e a fugacidade dos fenômenos, nem de incriminar a fragilidade dos sentidos e do espírito humano: é no âmago do próprio ato de conhecer que aparecem, por uma espécie de imperativo funcional, lentsidões e conflitos. É aí que mostraremos causas da estagnação e até de regressão, detectaremos causas de inércia às quais daremos o nome de obstáculos epistemológicos (Bachelard, 2005, p. 17).

Para Bachelard, a análise das condições psicológicas que influenciam o progresso da ciência é crucial para compreender como os cientistas enfrentam e superam os obstáculos epistemológicos em sua busca por um conhecimento objetivo e rigoroso sobre o mundo natural. Percebem-se, em toda a argumentação do autor, as relações com assuntos como: a linguagem, a abstração e a generalização, as sensações, as imagens, os conceitos, o senso comum, o conhecimento científico, o conhecimento cotidiano que são temas presentes na teoria de Vigotski.

Com relação à diferenciação entre os tipos de conhecimento (científico e cotidiano), os autores caracterizam, de forma singular, os conhecimentos do adulto e da criança, e descrevem detalhadamente os conhecimentos cotidiano e científico. Bachelard e Vigotski concebem a produção de conhecimento a partir das relações entre conhecimento cotidiano e científico. Salienta-se que para Bachelard (2005) os conceitos científicos são os das ciências naturais enquanto para Vigotski (2001) esses conceitos vão além dos limites das Ciências Naturais e são independentes das rupturas com os conceitos espontâneos, porque podem tornar-se comuns no senso das pessoas.

Vigotski, assim como Bachelard, aponta os limites das analogias das experiências ocultistas (aspectos antropomórficos) como fonte de conhecimento. Vigotski (1996), citando Planck, discute os conceitos científicos tanto nas Ciências Naturais quanto na Psicologia e afirma que é necessário superar a experiência direta (entre elas as percepções sensoriais) como representação da realidade, pois o conhecimento científico e a percepção direta não coincidem em absoluto.

Citando Planck, Vigotski (1996) explica que

[...] a Física opera com métodos nos quais o olho humano quase não intervém, atua somente como um aparelho ocasional (é verdade que de grande sensibilidade), já que os raios dentro de uma reduzida zona do espectro, quase não alcança a amplitude de uma oitava. Para o resto do espectro intervêm, no lugar dos olhos, outros aparelhos de percepção e de mensuração, como por exemplo, o detector de ondas, o termoelemento, o barômetro, o radiômetro, a chapa fotográfica, a câmara de ionização. [...] a física estuda principalmente aquilo que o olho não vê (Vygotsky, 1996, p. 277).

Vigotski (2001) argumentava que o conhecimento científico vai além da percepção direta e destacava que as percepções sensoriais e as experiências imediatas não são suficientes para compreender a complexidade da realidade. O autor discutiu como as interações sociais e o desenvolvimento da linguagem desempenham um papel crucial na formação do pensamento humano, enfatizando que o conhecimento científico é produzido socialmente e transcende as percepções individuais.

Bachelard (2005), ao criticar o uso de analogias ocultistas como fonte de conhecimento, argumentava que essas analogias podem ser enganosas e limitar a compreensão científica da realidade. Ambos ressaltam a importância de superar as limitações das percepções sensoriais e das analogias simplistas na busca pelo conhecimento científico. Enquanto Vigotski se concentra na influência das interações sociais e da linguagem no desenvolvimento do pensamento, Bachelard analisa as barreiras epistemológicas que podem impedir o progresso científico. Juntos, contribuem para uma compreensão mais completa das complexidades envolvidas na produção do conhecimento humano.

Bachelard defendeu, como fundamento de seu trabalho, a negação das impressões primeiras, alertou sobre a necessidade de ‘enxergarmos’ para além daquilo que nos parece, em princípio, óbvio. Bachelard falava de um conhecimento definido, predefinido pela comunidade científica. Vigotski também defendeu a superação das impressões primeiras, porém sua preocupação era metodológica. Essa preocupação o levava para a suspeita dos determinismos primeiros, e não apenas das intuições primeiras. Vigotski buscava a gênese dos processos metodológicos em que reconheciam, no funcionamento das práticas interativas, as conexões e condições que possibilitavam a produção do novo conhecimento (Andrade; Smolka, 2009). Sua ênfase na gênese dos processos metodológicos refletia sua preocupação em entender como o novo conhecimento é produzido e como as práticas interativas contribuem para esse processo.

Andrade e Smolka (2009) entendem que Bachelard e Vigotski

[...] representam e apresentam não somente uma proposta teórica, mais que isso, seus trabalhos constituem arcabouços teórico-metodológicos de investigação que têm uma história de produção sustentada por distintos referenciais epistêmicos e por práticas sociais amplas e diferenciadas. Por seus interesses e suas reflexões, são autores que muito contribuem para o estudo da construção das práticas de ensino de ciências e da história da definição dos campos de trabalho dos profissionais da educação (Andrade; Smolka, 2009, p. 266-267).

Assim, enquanto Bachelard enfatizava a importância de rejeitar as intuições imediatas para abrir espaço a uma investigação científica mais profunda, Vigotski estava interessado em entender os processos e condições que moldam a formação do conhecimento, particularmente dentro do contexto das interações sociais e da linguagem. Ambos compartilham uma preocupação com a superação das limitações das percepções imediatas, mas abordam essa questão de maneiras diferentes, refletindo suas respectivas ênfases metodológicas e epistemológicas.

Vigotski e Bachelard reconhecem a importância do contexto social, cultural e histórico na formação do conhecimento. No ensino de ciências, isso significa que os educadores devem ajudar os estudantes a compreender como as ideias científicas são influenciadas pelo contexto em que surgiram e como evoluíram ao longo do tempo. Isso pode envolver o estudo da História da Ciência e a análise de como diferentes culturas abordam e interpretam os fenômenos naturais.

Os autores também valorizam o pensamento crítico e a imaginação criativa como componentes essenciais do processo de produção do conhecimento. No ensino de ciências, isso implica encorajar os estudantes a questionar, analisar e sintetizar informações, bem como a gerar novas ideias e soluções para problemas científicos.

Também é possível estabelecer uma relação entre os dois princípios de Vigotski – o princípio da dupla estimulação e o princípio da ascensão do abstrato para o concreto – e os conceitos de perfil epistemológico e obstáculos epistemológicos de Gaston Bachelard.

O princípio da dupla estimulação de Vigotski enfatiza o papel das ferramentas mediadoras, como a linguagem e outros signos culturais, na resolução de problemas. Essas ferramentas permitem que o indivíduo reorganize seu pensamento e desenvolva funções mentais superiores. Relacionando isso ao conceito de obstáculos epistemológicos de Bachelard, podemos considerar que as concepções cotidianas e intuitivas de um indivíduo podem atuar como barreiras ao novo conhecimento (observação primeira). As ferramentas mediadoras de Vigotski funcionariam, então, como meios para superar esses obstáculos, permitindo que o aprendiz reorganize seu entendimento e avance cognitivamente.

O princípio da ascensão do abstrato para o concreto, proposto por Vigotski, sugere que o aprendizado formal se inicia com conceitos abstratos que, por meio da interação e aplicação prática, tornam-se concretos e integrados ao conhecimento do indivíduo. Esse princípio alinha-se ao perfil epistemológico de Bachelard, que se refere às estruturas mentais e às formas de pensar que influenciam como o indivíduo compreende e internaliza o conhecimento. Ao abordar o aprendizado a partir do abstrato, o indivíduo é desafiado a confrontar e, possivelmente, reformular suas concepções espontâneas ou cotidianas – as quais podem incluir obstáculos epistemológicos –, promovendo um avanço em seu perfil epistemológico.

Ambos os autores destacam a importância de reconhecer e superar barreiras no processo de aprendizagem. Enquanto Bachelard focaliza nos obstáculos internos do pensamento científico e na necessidade de uma ruptura epistemológica para avançar, Vigotski enfatiza o papel das interações sociais e das ferramentas culturais como mediadoras desse progresso cognitivo. Assim, podemos relacionar os princípios de Vigotski com os conceitos de Bachelard ao entender que o desenvolvimento cognitivo envolve tanto a superação de obstáculos epistemológicos quanto a utilização de signos para promover uma compreensão mais profunda e sofisticada dos fenômenos naturais.

Portanto, ao integrar as ideias de Vigotski e Bachelard no Ensino de Ciências, os educadores podem ajudar os alunos a desenvolver uma compreensão mais profunda e crítica dos conceitos científicos, ao mesmo tempo em que promovem sua capacidade de pensar de forma criativa e investigativa sobre o mundo natural.

No contexto do ensino de Ciências, a mudança conceitual está intimamente ligada ao construtivismo. A proposta de Mortimer pode ser considerada uma crítica a essa visão predominante, lançando as bases para novas possibilidades teóricas e didáticas. Nesse sentido, suas contribuições são relevantes, embora haja discordâncias em relação a várias apropriações da obra de Vigotski, especialmente no que se refere à aproximação da teoria vigotskiana com a corrente construtivista. A escola de Vigotski não é interacionista nem construtivista, equívocos que Mortimer comete.

Acredita-se que várias dessas apropriações equivocadas decorrem das traduções disponíveis naquele momento, mas reitera-se a importância da obra de Mortimer para o ensino de Ciências. Neste trabalho, a utilização da proposta de Mortimer fica restrita à análise do perfil conceitual e suas aproximações com Bachelard.

4 REVISÃO DE ESTUDOS

Este capítulo apresenta uma revisão sobre estudos e produtos educacionais que tratam de obstáculos e perfis epistemológicos, além de propostas voltadas para o ensino de Óptica. Na seção 4.1, são analisados os resultados da busca na base Scopus, com destaque para pesquisas que utilizam a epistemologia de Bachelard em diferentes áreas, incluindo ensino e análise de materiais didáticos. A seção 4.2 explora as contribuições do Catálogo de Teses e Dissertações da Capes, com enfoque em práticas pedagógicas e o impacto delas nos perfis epistemológicos dos estudantes. Na seção 4.3, são examinados Produtos Educacionais voltados à Óptica, abordando suas estruturas e objetivos. Por fim, a seção 4.4 sintetiza os resultados da revisão, evidenciando contribuições relevantes e lacunas importantes no cruzamento entre epistemologia e ensino de Óptica, indicando a necessidade de novos desenvolvimentos nessa área.

Cada seção deste capítulo é finalizada com um quadro-síntese que consolida as informações bibliográficas mais significativas, facilitando a visualização dos principais conceitos, autores e contribuições para o campo.

4.1 Scopus

A busca na base Scopus foi realizada com dois grupos de descritores e excluindo trabalhos anteriores ao ano de 2012. O primeiro grupo incluiu o termo “*epistemological obstacle*” em qualquer lugar do texto e o termo “Bachelard” no título, resumo ou palavras-chave. O segundo grupo incluiu o termo “*epistemological profile*” em qualquer lugar do texto e o termo “Bachelard” no título, resumo ou palavras-chave. Foram encontrados 7 trabalhos para o descritor 1 e 1 trabalho para o descritor 2. Destes, 4 escritos em língua inglesa, 2 em francesa, 1 em espanhol e 1 em língua portuguesa.

Gottsmann e Delignières (2016) estudaram os obstáculos epistemológicos para a emergência do conceito de competência no contexto da pedagogia das competências. Eles identificaram os seguintes obstáculos: senso comum, institucional, ideológico, cognitivo, associacionista e da “tarefa”. Concluíram que a imprecisão conceitual do termo “competência”, aliada ao fato de ser um termo banal, pode expô-lo inadvertidamente ao senso comum ou desviar seu significado.

Guillén Díaz e Sanz Trigueros (2019) analisaram os documentos de planejamento para a implementação das seções bilíngues na educação primária⁶ na Espanha. Verificou-se que não estão claros os pontos de intersecção entre os componentes curriculares não linguísticos e os componentes de língua estrangeira. Segundo os autores, isso se deve ao fato de que os professores enfrentam os seguintes obstáculos epistemológicos e empíricos: o obstáculo do conhecimento geral, o obstáculo empírico da própria experiência, o obstáculo pragmatista e, por fim, o obstáculo verbal.

O estudo de Hillesheim e Moretti (2019), fundamentado nos três estados do espírito científico propostos por Bachelard, avaliou como o ensino de regras de sinais é afetado pelo uso de metáforas presas a exemplos concretos. Quando vinculados a exemplos práticos, atrapalham a compreensão especialmente da multiplicação entre números negativos. Segundo o autor, o referencial indica que a forma de ensino das regras de sinais deve ser a de explicitação dos seus processos de produção e sistematização, libertando-se dos exemplos concretos provenientes da primeira impressão.

Crépin-Obert (2014) discute como pensar por analogia relaciona-se com o conceito de obstáculo epistemológico, numa pesquisa realizada desde a escola primária até a universidade sobre o conceito de evolução das espécies. A autora esclarece que a analogia possui função heurística, mas não deve ser utilizada como prova em si. Ela pode criar conhecimento ampliando um conceito científico e auxilia o raciocínio criativo ou pode se submeter ao mundo sensível, tornando-se superficial e enganadora, um obstáculo polimórfico e transversal. Portanto, como proposição de modelo didático, nada proíbe o uso de analogias, mas é necessário tornar claro aos alunos os seus limites de aplicação.

Em pesquisa realizada no ensino médio no Brasil, Pazinato *et al.* (2020) acompanharam a evolução dos perfis epistemológicos de estudantes que participaram de uma sequência de ensino-aprendizagem sobre o conceito de ligações químicas. A sequência fundamentou-se nos critérios de Meheut atendendo a quatro componentes básicos do processo de ensino e aprendizagem: o professor, os alunos, o conhecimento científico e o mundo material. Os resultados mostraram que o objetivo foi cumprido, pois os perfis epistemológicos individuais avançaram para a zona racionalista. Por fim, os autores recomendam considerar os aspectos termodinâmicos para justificar a estabilidade das substâncias e o modelo eletrostático para elucidar a natureza das interações.

⁶ Equivalente ao ensino fundamental no Brasil.

Ruíz e Villarreal (2016) estudaram quais obstáculos epistemológicos estão presentes durante a produção de trabalhos de final de curso de graduação (TFC). Segundo os autores, todos os obstáculos epistemológicos propostos por Bachelard foram identificados, afetando tanto a concepção de o que é o TFC, sua estrutura e os processos cognitivos envolvidos. Propõe-se que seja feita uma formação específica para os estudantes, com atenção aos obstáculos observados, o que pode vir a afetar benéficamente toda a sua carreira acadêmica.

Em um estudo de análise histórica, Torres-Sánchez (2021) avalia a importância dos obstáculos epistemológicos de Bachelard e dos ídolos de Bacon sobre os 2300 anos necessários para a humanidade decifrar, entender, dominar e aplicar o eletromagnetismo. O autor chega à conclusão de que estes obstáculos poderiam ser a explicação de tamanha lentidão no surgimento de novas ideias e que eles ainda estão presentes na rotina dos cientistas.

Em um artigo proveniente de sua dissertação, Trintin (2018) conduziu sua pesquisa com alguns livros didáticos do Plano Nacional do Livro Didático de 2018, disponíveis no Centro de Aplicação Pedagógica da Universidade Estadual do Paraná. A autora procurou identificar os obstáculos epistemológicos relacionados ao conceito de força e traçou o perfil epistemológico de cada livro. Verificou-se que o perfil Racionalismo Clássico é preponderante, entretanto a presença do perfil Realista é muito alta, fazendo concluir que os autores deveriam problematizar mais o conceito de força, objetivando construir reflexões mais abstratas sobre o mesmo.

Quadro 1 - Síntese das pesquisas relacionadas a obstáculos epistemológicos no contexto educacional, identificadas na base Scopus no período de 2012 a 2024

Autor	Título/ Título traduzido ou tema do artigo	Ano	Resumo de Tópicos
Gottsmann e Delignières	À propos des obstacles épistémologiques à l'émergence du concept de compétence/ Obstáculos epistemológicos para a emergência do conceito de competência	2016	- Identificação de obstáculos epistemológicos (senso comum, institucional, ideológico, cognitivo, associacionista e da “tarefa”) - Imprecisão conceitual do termo “competência” - Riscos de exposição ao senso comum e desvio de significado
Guillén Díaz e Sanz Trigueros	Un dispositivo para una relación pragmática de los docentes con los objetivos de programas bilingües, desde un estudio en documentos de planificación/ Análise dos documentos de planejamento para implementação de seções bilíngues na educação primária	2019	- Falta de clareza nos pontos de intersecção entre componentes curriculares não linguísticos e de língua estrangeira - Obstáculos epistemológicos enfrentados pelos professores: conhecimento geral, experiência empírica, pragmatismo e obstáculo verbal
Hillesheim e Moretti	The consolidation of rules of signs and stages of the scientific spirit in Bachelard/ Ensino de	2019	- Fundamentação nos três estados do espírito científico de Bachelard - Problemas no uso de metáforas presas a exemplos

	regras de sinais e o uso de metáforas		concretos - Necessidade de explicitação dos processos de produção e sistematização das regras de sinais - Libertação dos exemplos concretos provenientes da primeira impressão
Crépin-Obert	L'analogie, obstacle épistémologique ou raison scientifique pour enseigner la parenté et la filiation entre êtres vivants/ Pensamento por analogia e obstáculos epistemológicos	2014	- Pesquisa sobre o conceito de evolução das espécies desde a escola primária até a universidade - Função heurística da analogia - Riscos de uso da analogia como prova - Analogia como obstáculo polimórfico e transversal - Proposta de modelo didático com uso consciente de analogias
Pazinato et al.	Epistemological profile of chemical bonding: evaluation of knowledge construction in high school/ Evolução dos perfis epistemológicos no ensino de ligações químicas	2020	- Sequência de ensino-aprendizagem fundamentada nos critérios de Meheut - Avanço dos perfis epistemológicos individuais para a zona racionalista - Recomendação para considerar aspectos termodinâmicos e modelo eletrostático
Ruiz e Villarreal	Elaboración de trabajos de fin de grado. Superación de obstáculos y errores/ Obstáculos epistemológicos na produção de trabalhos de final de curso de graduação	2016	- Identificação de todos os obstáculos epistemológicos propostos por Bachelard - Impacto na concepção, estrutura e processos cognitivos dos TFCs - Proposta de formação específica para estudantes - Benefícios potenciais para toda a carreira acadêmica
Torres-Sánchez	The epistemological obstacle in Electromagnetism/ Análise histórica dos obstáculos epistemológicos e ídolos de Bacon no desenvolvimento do eletromagnetismo	2021	- Avaliação do impacto dos obstáculos epistemológicos ao longo de 2300 anos - Explicação para a lentidão no surgimento de novas ideias - Presença contínua desses obstáculos na rotina científica
Trintin	Perfis epistemológicos dos livros didáticos de Física do PNLD de 2018/ Análise de livros didáticos do PNLD 2018 quanto ao conceito de força	2018	- Identificação de obstáculos epistemológicos relacionados ao conceito de força - Perfil epistemológico predominante: Racionalismo Clássico - Presença significativa do perfil Realista - Necessidade de maior problematização do conceito de força - Recomendação para construção de reflexões mais abstratas

Fonte: Autor (2024).

4.2 Catálogo de Teses e Dissertações – Capes

A busca na base Catálogo de Teses e Dissertações da Capes foi realizada com dois grupos de descritores e excluindo trabalhos anteriores ao ano de 2012. O primeiro grupo incluiu os termos “obstáculos epistemológicos” e “Bachelard” em qualquer lugar do texto. O segundo grupo incluiu o termo “perfil epistemológico” e “Bachelard” em qualquer lugar do texto. Foram encontrados 3 trabalhos para o descritor 1 e 4 trabalhos para o descritor 2, todos em língua portuguesa.

Na tese intitulada “Estudo da contribuição de uma exposição virtual museal de química para a formação do espírito científico” de Rosalino (2021) discutiu-se que atividades em ambientes não formais de ensino podem contribuir para a formação do espírito científico. A partir de questionários e entrevistas foi possível categorizar as noções científicas dos respondentes que visitaram uma exposição virtual sobre química e obter os seus respectivos perfis epistemológicos. Os dados mostraram concentração na região Racionalismo Aplicado do perfil, indicando que, segundo o autor, a visita à exposição contribuiu para formação do espírito científico.

Cedran (2015) estuda em sua tese os motivos pelos quais a disciplina de Química Orgânica apresenta altos níveis de reprovação em cursos de graduação e propõe uma abordagem fundamentada na noção de perfis epistemológicos de Bachelard. A análise comparou o perfil epistemológico individual dos alunos com o perfil dos livros didáticos utilizados na disciplina. Os dados colhidos pelo autor mostraram que havia dessemelhança entre os perfis dos livros (Racionalismo Aplicado) e dos alunos (Empirismo), o que poderia ser um dos fatores para a alta reprovação.

Souza (2014), em sua tese, faz uma análise da relação entre epistemologia e cultura no ensino de física, por meio dos conceitos de espaço e tempo, tese essa fundamentada nos perfis e obstáculos epistemológicos de Bachelard e, segundo o autor, em uma teoria de evolução das consciências de Paulo Freire. O autor conclui que um dos maiores desafios foi elaborar os instrumentos de análise de dados, os quais pudessem explicitar determinadas noções físicas e culturais dos participantes da pesquisa; o perfil epistemológico é inestimável como auxiliar no planejamento pedagógico e avaliação das concepções dos estudantes.

Na tese de Vilas Bôas (2020), o objetivo é avaliar a superação de obstáculos epistemológicos sobre o conceito de ressonância através de uma atividade experimental construída com materiais de baixo custo. A autora utilizou-se de perguntas abertas antes e após atividades experimentais, guiadas por roteiros estruturados para identificar a evolução dos obstáculos epistemológicos para o conceito de ressonância. O perfil epistemológico dos alunos não foi utilizado neste trabalho.

Costa (2015) apresenta uma tese, segundo ela, de caráter teórico-bibliográfico e explicitativo, apresentando Bachelard por Bachelard e discutindo aspectos epistemológicos, científicos e pedagógicos relevantes para a ciência e educação. Parte da sua conclusão afirma que se pode aplicar à escola os conceitos que Bachelard endereçou à filosofia da ciência, como conhecimento aproximado, obstáculos, rupturas, retificações, comunidade de sábios, vigilância, erro e que toda a esfera da educação tem que estar em constante vigilância e

psicanálise. A meta da educação científica é o conhecimento objetivo, que deve ser produto de uma pedagogia objetiva por parte do sistema educacional.

A tese de Siqueira (2012) investigou a presença de obstáculos didáticos-pedagógicos, conforme propostos por Astolfi, durante a inserção de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea de seis professores, atuantes na rede pública de ensino do estado de São Paulo. Estes obstáculos didático-pedagógicos seriam, na verdade, os obstáculos epistemológicos de Bachelard no contexto do ensino-aprendizagem. Identificaram-se os seguintes obstáculos: pré-requisito, simplificação matemática, falta de referentes, falta de domínio do conteúdo, currículo tradicional, avaliação. O autor conclui que cada obstáculo se apresentou em diferentes intensidades para cada professor e que a pré-disposição a inovar e o apoio prolongado de um grupo de especialistas são fatores essenciais para o sucesso da implementação.

Em sua tese, escrita à maneira de Bachelard, Oliveira (2020) defende que as apropriações interepistêmicas renascem os obstáculos epistemológicos. Segundo o autor, as apropriações interepistêmicas de elementos da física contemporânea, no campo do ensino de ciências, retiram a reflexão sobre o processo de ensino de ciências e inserem elementos epistemológicos que deveriam ser combatidos, já que essa assimilação é feita num nível de realismo ingênuo.

Quadro 2 - Síntese das pesquisas relacionadas a obstáculos epistemológicos no contexto educacional, identificadas na base Catálogo de Teses e Dissertações - Capes no período de 2012 a 2024

Autor	Título/Tema	Ano	Resumo de Tópicos
Rosalino	Estudo da contribuição de uma exposição virtual museal de química para a formação do espírito científico	2021	- Contribuição de ambientes não formais para a formação do espírito científico - Uso de questionários e entrevistas para categorizar noções científicas - Obtenção de perfis epistemológicos dos visitantes - Concentração na região do Racionalismo Aplicado - Exposição virtual contribui para formação do espírito científico
Cedran	O conceito de estrutura dos compostos orgânicos: uma análise à luz da epistemologia de Gaston Bachelard/Estudo sobre os altos níveis de reprovação em Química Orgânica	2015	- Proposta de abordagem baseada nos perfis epistemológicos de Bachelard - Comparação entre perfil epistemológico de alunos e livros didáticos - Dessemelhança entre perfis: livros (Racionalismo Aplicado) e alunos (Empirismo) - Relação entre diferença de perfis e altos índices de reprovação
Souza	Epistemologia e cultura no ensino de Física: desvelando os conceitos de tempo e espaço/Análise da relação entre epistemologia e cultura no ensino de física	2014	- Estudo dos conceitos de espaço e tempo - Fundamentação nos perfis e obstáculos epistemológicos de Bachelard - Referência à teoria de evolução das consciências de Paulo Freire - Desafio na elaboração de instrumentos de análise de dados

			- Perfil epistemológico como ferramenta para planejamento pedagógico e avaliação
Vilas Bôas	A epistemologia de Bachelard e a aprendizagem do conceito de ressonância em tubos sonoros	2020	- Uso de atividade experimental com materiais de baixo custo - Utilização de perguntas abertas antes e após atividades experimentais - Roteiros estruturados para identificar evolução dos obstáculos epistemológicos - Perfil epistemológico dos alunos não foi utilizado
Costa	Ciência e educação em Bachelard /Estudo teórico-bibliográfico sobre Bachelard	2015	- Apresentação de Bachelard por Bachelard - Discussão de aspectos epistemológicos, científicos e pedagógicos - Aplicação de conceitos de Bachelard à escola: conhecimento aproximado, obstáculos, rupturas, etc. - Necessidade de vigilância e psicanálise na educação - Meta da educação científica: conhecimento objetivo
Siqueira	Professores de Física em contexto de inovação curricular: saberes docentes e superação de obstáculos didáticos no ensino de física moderna e contemporânea/Investigação sobre obstáculos didáticos-pedagógicos na inserção de conteúdos de Física Moderna	2012	- Estudo com seis professores da rede pública de São Paulo - Obstáculos identificados: pré-requisito, simplificação matemática, falta de referentes, falta de domínio do conteúdo, currículo tradicional, avaliação - Intensidade variável dos obstáculos para cada professor - Fatores essenciais para implementação: pré-disposição a inovar e apoio de especialistas
Oliveira	A física apropriada: realismo ingênuo e obstáculos epistemológicos/Estudo sobre apropriações interepistêmicas e obstáculos epistemológicos	2020	- Tese escrita à maneira de Bachelard - Apropriações interepistêmicas renascer os obstáculos epistemológicos - Crítica à retirada da reflexão sobre o processo de ensino de ciências - Elementos epistemológicos inseridos deveriam ser combatidos - Assimilação feita num nível de realismo ingênuo

Fonte: Autor (2024).

4.3 Produtos Educacionais

A busca por Produtos Educacionais se deu nas plataformas Educapes, proEdu e do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). O termo “óptica” foi utilizado como único descritor, a fim de ampliar os resultados da busca. A base proEdu não retornou resultados. A busca na plataforma Educapes remeteu quase sempre a links inativos para acesso aos trabalhos, inviabilizando uma pesquisa efetiva nesta base de dados. A busca pelo descritor “óptica” na base do MNPEF retornou 21 resultados, dos quais cinco estavam disponíveis para consulta.

Cardoso, Batista e Sousa (2018) propõem o Produto intitulado “Óptica Geométrica e a visão do olho humano” fundamentado na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, na Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e na Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica. O produto é composto por uma sequência didática de oito encontros e material de

apoio ao professor e estudantes e utiliza o celular e a fotografia como câmera *pinhole* para promover as discussões sobre os tópicos de óptica geométrica. Além disso, entre alguns encontros, como “tarefa de casa”, o produto fornecia questões extraídas de vestibulares ou olimpíadas de física e, em paralelo, propunha uma atividade experimental.

O Produto de Brito (2019) é intitulado “Uma abordagem experimental com materiais de baixo custo no ensino da Óptica Geométrica” e fundamenta-se na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. É proposta uma sequência didática de nove encontros, nos quais sete são propostas de atividades experimentais envolvendo óptica geométrica e os demais encontros preveem a aplicação de pré e pós-teste. Além dos roteiros experimentais, o Produto fornece um texto de apoio ao professor, contemplando os tópicos de óptica geométrica tratados nos experimentos.

Silva (2020) tratou do ensino de Óptica Geométrica e direcionou o seu Produto para alunos não videntes no ensino regular da Educação Básica, adotando a perspectiva de Vigotski na compreensão das limitações e potencialidades destes alunos. A proposta se fundamenta em construir maquetes táteis com materiais de baixo custo, desenvolvendo tópicos sobre lentes e espelhos esféricos e planos.

Michels (2022) abordou Óptica Geométrica aplicada ao olho humano, problemas da visão e possibilidades de correção, propondo sequências didáticas direcionadas para os Ensinos Fundamental e Médio, fundamentado na teoria da Aprendizagem Significativa Crítica. Contém material para alunos e professores e sugestões de questões para avaliações do tipo *prova*.

Silva e Lima (2023) escolheram o tópico de pinças ópticas para abordar Óptica Geométrica e inserir conceitos de Física Contemporânea no Ensino Médio. O autor propôs uma sequência didática do tipo Unidade de Ensino Potencialmente Significativa e utilizou a plataforma PHET para discutir o fenômeno de pinça óptica. Para o professor, o Produto apresenta os tópicos pertinentes de maneira objetiva e serve como primeiro contato com o tema.

Quadro 3 - Síntese de Produtos Educacionais sobre Óptica disponíveis no repositório do MNPEF

Autor	Título	Ano	Resumo de Tópicos
Cardoso, Batista e Sousa	Óptica Geométrica e a visão do olho humano	2018	- Fundamentação: Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica - Sequência didática de oito encontros - Material de apoio para professor e estudantes - Uso de celular e fotografia como câmera <i>pinhole</i> - Questões de vestibulares e olimpíadas de física

			como tarefas • Atividades experimentais paralelas
Brito	Uma abordagem experimental com materiais de baixo custo no ensino da Óptica Geométrica	2019	• Fundamentação: Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel • Sequência didática de nove encontros • Sete encontros com atividades experimentais sobre óptica geométrica • Aplicação de pré e pós-teste • Roteiros experimentais • Texto de apoio ao professor sobre óptica geométrica
Silva	Material didático para o ensino de conceitos básicos da óptica geométrica para inclusão de alunos com deficiência visual	2020	• Fundamentação: Perspectiva de Vigotski • Direcionado para alunos não videntes no ensino regular • Construção de maquetes táteis com materiais de baixo custo • Tópicos sobre lentes e espelhos esféricos e planos
Michels	Estudo das lentes em óptica geométrica: olho humano, problemas da visão e possibilidades de correção	2022	• Fundamentação: Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica • Abordagem de problemas da visão e possibilidades de correção • Sequências didáticas para Ensinos Fundamental e Médio • Material para alunos e professores • Sugestões de questões para avaliações tipo <i>prova</i>
Silva e Lima	Utilização do simulador PHET sobre pinças ópticas como recurso metodológico no ensino de conceitos de Física Contemporânea	2023	• Sequência didática do tipo Unidade de Ensino Potencialmente Significativa • Inserção de conceitos de Física Contemporânea no Ensino Médio • Uso da plataforma PHET para discussão de pinça óptica • Material objetivo para primeiro contato do professor com o tema

Fonte: Autor (2024).

4.4 Considerações sobre a Revisão de Estudos

A busca na base Scopus focou em trabalhos que abordassem os conceitos da epistemologia de Bachelard, obstáculos e perfil epistemológico, em qualquer área de estudos. Os trabalhos encontrados mostram, como Bachelard já defendia, que os obstáculos epistemológicos estão presentes em qualquer nível de ensino, assim professores, alunos, autores de livros científicos ou mesmo historiadores devem estar atentos às implicações que os obstáculos epistemológicos têm sobre sua vida profissional e pessoal. Em especial, se percebe que o uso de metáforas e a presença do obstáculo verbal são resistentes ao campo científico. O perfil epistemológico parece ser menos estudado, mas observa-se a tendência de livros didáticos em ocupar a zona do Racionalismo Clássico.

No Catálogo de Teses e Dissertações da Capes, seguiu-se o mesmo objetivo anterior e foi possível encontrar trabalhos que avaliassem a mudança do perfil epistemológico dos alunos, a partir de determinada inserção pedagógica. Neles, discute-se a potencialidade do uso

do perfil epistemológico como ferramenta de avaliação do processo de ensino-aprendizagem, destacando, ao mesmo tempo, a dificuldade em quantificá-lo (o perfil). Nestas duas bases não foram encontrados estudos abordando a Óptica.

Os Produtos Educacionais, por sua vez, trataram da Óptica Geométrica na perspectiva da teoria da Aprendizagem Significativa Crítica. Sobre exceções com relação ao tópico de Óptica, apenas um dos trabalhos incluiu noções de Física Contemporânea (Silva; Lima, 2023), e, com o referencial teórico, Silva (2020) adotou Vigotski. Não se encontrou Produtos com referenciais epistemológicos contemporâneos.

Essa lacuna pode ser compreendida com base na análise de Carvalho e Gil-Perez (2011), que apontam que muitos educadores, ao planejarem suas práticas, tendem a priorizar estratégias mais diretamente aplicáveis ao ensino. Isso ocorre frequentemente em detrimento de uma reflexão mais profunda sobre os fundamentos epistemológicos da ciência que ensinam. Esse foco pragmático, embora útil para atender demandas curriculares imediatas, limita a incorporação de discussões metacientíficas e epistemológicas, fundamentais para uma compreensão mais crítica e abrangente da ciência.

Portanto, a partir dos critérios de pesquisa expostos, não se encontrou um Produto Educacional que abordasse, em conjunto, a Óptica na sua perspectiva histórica e epistemológica.

5 METODOLOGIA DE PESQUISA

Neste capítulo, apresentam-se os procedimentos metodológicos adotados neste trabalho, que são: i) o método de estudo de caso, conforme proposto por Yin (2010) e que contempla a primeira seção deste capítulo e ii) a análise qualitativa dos dados, conforme Yin (2016), discutida na segunda seção do capítulo.

5.1 Estudo de caso na perspectiva de Yin

O estudo de caso trata-se de uma abordagem metodológica, definida por Yin (2010, p. 22) como “uma investigação empírica de um fenômeno contemporâneo (o “caso”) em profundidade e em seu contexto de vida real, especialmente quando os limites do fenômeno e o contexto não são claramente evidentes”. É especialmente importante em pesquisas em educação, pois este ambiente é, por natureza, complexo e de difícil delimitação das variáveis relevantes.

Yin (2010) delimita três condições básicas para utilizar a metodologia de estudos de caso: (i) o tipo de questão de pesquisa proposto; (ii) a extensão do controle que um pesquisador tem sobre os eventos comportamentais reais; (iii) o grau de enfoque sobre eventos contemporâneos em oposição aos eventos totalmente históricos. Os estudos de caso são preferíveis quando as questões de pesquisa são do tipo “como” e “por que”. Tais questões são feitas para eventos contemporâneos, em que os comportamentos relevantes não podem ser manipulados.

Segundo Esteban (2010), o estudo de caso constitui um método de pesquisa para análise da realidade social de grande importância no desenvolvimento das Ciências Sociais e Humanas e representa a forma mais pertinente e natural das pesquisas orientadas de uma perspectiva qualitativa. Dessa forma, o estudo de caso pode ser utilizado em pesquisas em Educação com a natureza interpretativo-qualitativa e o fato de o investigador estar pessoalmente implicado na investigação confere aos planos qualitativos um forte caráter descritivo.

Para Yin (2010), os estudos de caso podem e devem ter uma orientação teórica bem fundamentada como parte da fase de projeto, que sirva de suporte à formulação das respectivas questões e instrumentos de recolhimento de dados e guia na análise dos resultados, “por essa razão, é essencial que se desenvolva uma teoria antes que se faça a coleta de dados para qualquer estudo de caso” (Yin, 2010, p. 58-59).

Assim, de acordo com os objetivos e a natureza das informações finais, Yin (2010) classifica os estudos de caso como: *exploratórios*, *descritivos* e *explanatórios*. Segundo o autor um estudo de caso é *exploratório* quando se conhece muito pouco da realidade em estudo, os dados se dirigem ao esclarecimento e delimitação dos problemas ou fenômenos da realidade e a investigação busca levantamento de hipóteses e proposições pertinentes para investigações posteriores.

O estudo de caso é *descritivo* quando tem por objetivo descrever uma intervenção focada na conjuntura na qual ocorreu, ou seja, descreve o fenômeno dentro de seu contexto. Já um estudo de caso é *explanatório* quando possui o intuito de explicar relações de causa e efeito, em situações reais, a partir de uma teoria e lidam com vínculos operacionais que necessitam serem traçados ao longo do tempo, mais do que as meras frequência ou incidências, ou seja, de que forma os fatos acontecem em função uns dos outros.

Com a complexidade na investigação de um estudo de caso o pesquisador deve estar preparado para fazer uso de várias fontes de evidências, que precisam convergir, oferecendo, dessa maneira, condições para se firmar fidedignidade e validade dos achados por meio de triangulações de informações, dados e evidências (Yin, 2010).

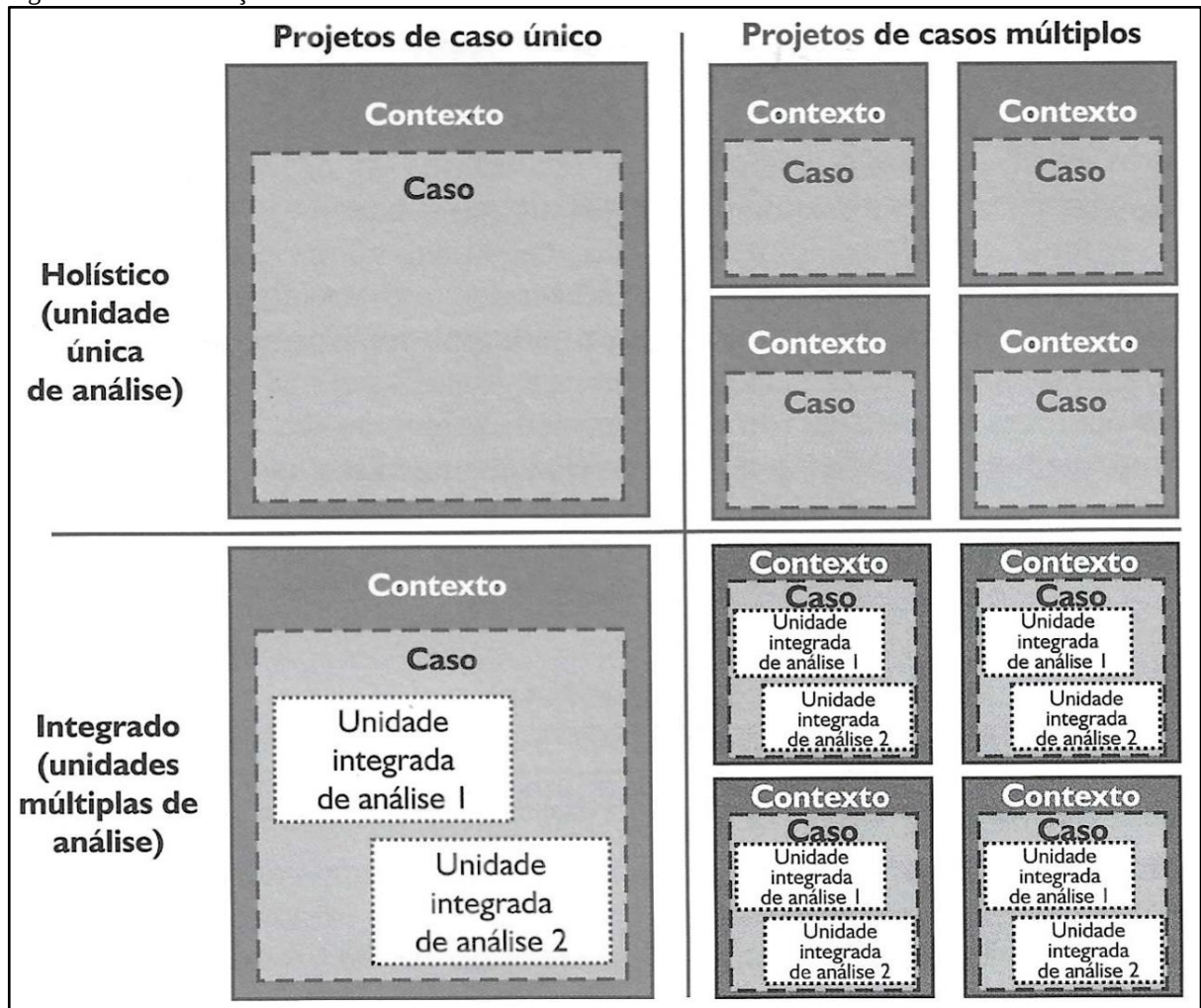
Yin (2010) apresenta quatro tipos básicos de estudo de caso: (i) projetos de caso único holístico – unidade única de análise e único caso; (ii) projetos de caso único incorporado – unidades múltiplas de análise e único caso; (iii) projetos de casos múltiplos holísticos – unidade única de análise e múltiplos casos; (iv) projetos de casos múltiplos incorporados – unidades múltiplas de análise e múltiplos casos. Cabe estabelecer mais claramente em que consistem os casos e as unidades de análise. Como exemplo prático,

os casos podem conter quaisquer componentes de um todo, como objetos, ou entidades claramente identificáveis (pessoas, organizações, salas de aula, etc.), eventos, atividades (como o ato de ensinar) ou processos (como a aprendizagem de um conhecimento específico), bem como seu contexto (Müller, 2017, p. 71).

A unidade de análise, por sua vez, corresponde aos diferentes aspectos ou perspectivas que compõe o caso, “como orientação geral, a definição da unidade de análise (e, portanto, do caso) está relacionada à maneira como as questões iniciais da pesquisa foram definidas” (Yin, 2010, p. 52). Pode-se realizar um estudo sobre a adaptação de determinada instituição de ensino superior ao mercado de trabalho, a unidade principal é a instituição como um todo, a menor unidade é um aluno e ainda pode haver diversas unidades intermediárias.

Em estudos holísticos de caso único, geralmente a unidade de análise é o próprio caso. Além disso, deve-se considerar o fundamento teórico do estudo, que será decisivo na determinação das unidades de análise, pois há teorias que são intrinsecamente holísticas. A Figura 4 apresenta as formas possíveis de tipos de estudo de caso.

Figura 4 - Caracterização dos estudos de caso



Fonte: Yin (2010, p. 70).

Portanto, para Yin (2010), no sentido mais elementar, o projeto de pesquisa é a sequência lógica que conecta os dados empíricos às questões de pesquisa iniciais do estudo e, finalmente, as suas conclusões. Para os estudos de caso, cinco componentes de um projeto de pesquisa são especialmente importantes: (i) as questões de estudo, provavelmente mais apropriado para as questões “como” e “por que”; (ii) as proposições (se houver), pois cada proposição dirige a atenção para algo que deve ser examinado dentro de um escopo do estudo; (iii) a(s) unidade(s) de análise, que estão relacionadas com o problema fundamental de definir

o que é o “caso”; (iv) a lógica que une os dados às proposições do estudo; e (v) os critérios para interpretar as constatações.

O presente estudo aborda o processo de evolução conceitual associado à Óptica, configurando-se como um estudo de caso único. A evolução conceitual refere-se tanto ao referencial epistemológico quanto ao teórico. Nesse contexto, as unidades de análise consistem em três professores de Física em formação inicial, caracterizando unidades múltiplas de análise. Assim, este trabalho configura-se como um **estudo de caso único integrado**, no qual diferentes perspectivas são analisadas dentro de um mesmo contexto.

5.2 Produção e análise de dados

Yin (2010) propõem três princípios para a coleta de dados que são extremamente importantes para a realização de um estudo de caso de alta qualidade: (i) o uso de múltiplas fontes de evidência, não apenas uma; (ii) a criação de um banco de dados do estudo de caso; (iii) a manutenção de um encadeamento de evidências.

Yin (2016, p. 11) destaca que “o pesquisador em campo serve efetivamente como principal instrumento de pesquisa para coletar dados em um estudo qualitativo”, mas as evidências do estudo de caso podem vir, também, das seguintes fontes de evidências: registros em arquivos, entrevistas, observação direta, observação participante e artefatos físicos. Nesta tese foram utilizados questionários com questões abertas, entrevistas semiestruturadas, diário do pesquisador e documentos produzidos pelos participantes, como diagramas, figuras e anotações diversas⁷.

Segundo Yin (2016) a entrevista qualitativa difere-se da entrevista estruturada, pois se identifica como um relacionamento social, permitindo, inclusive, que o entrevistado questione o entrevistador. A liberdade assumida, neste momento, tem o objetivo de propiciar ao entrevistador compreender o “mundo do participante” (Yin, 2016, p. 121) e é delineada “por uma concepção mental das perguntas do estudo, mas as perguntas especificamente verbalizadas propostas, a qualquer participante, vão diferir de acordo com o contexto e o ambiente da entrevista” (Yin, 2016, p. 119).

⁷ Como em um estudo de campo as variáveis e seus dados correspondentes podem ser ilimitados, é necessária uma estratégia analítica para delimitá-los, “as proposições dariam forma ao plano da coleta de dados e, por conseguinte, estabeleceriam a prioridade às estratégias analíticas relevantes” (Yin, 2001, p. 133). Dessa forma, os instrumentos de coleta de dados baseiam-se nas proposições teóricas refletidas pelas questões e objetivos geral e específicos desta pesquisa, conforme descritos na Introdução.

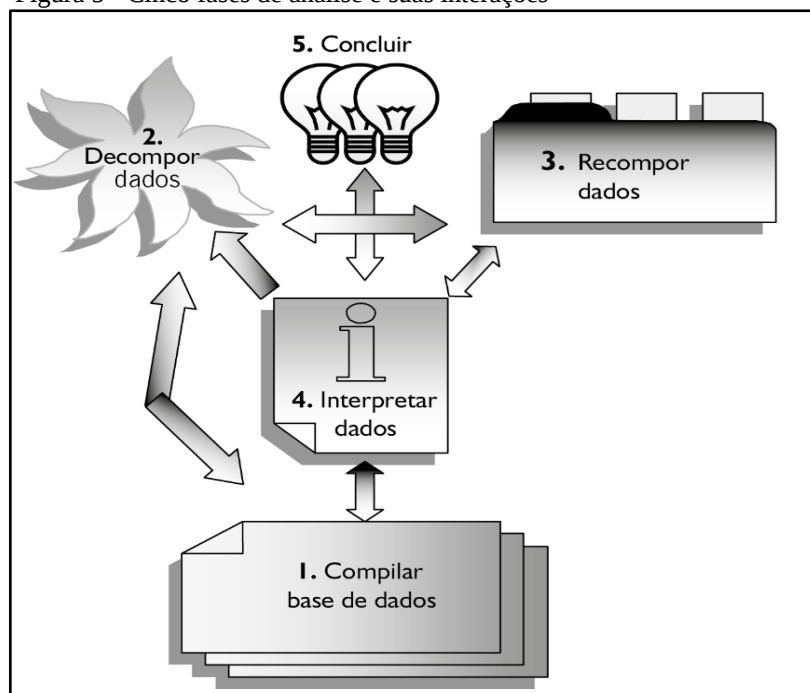
O diário do pesquisador tem o objetivo de agregar confiança e credibilidade à pesquisa qualitativa, por meio de transparência e metodicidade, registrando emoções, acertos, erros, experiências significativas para o desenvolvimento da pesquisa em campo (Yin, 2016). Neste contexto,

Eisenhart também encoraja os pesquisadores qualitativos a demonstrarem que os dados e as interpretações são precisos de algum ponto de vista, o que leva especialmente a uma sensibilidade sobre a necessidade de relatar, de uma maneira autorreflexiva, a suposta interação entre o posicionamento do pesquisador (como um instrumento de pesquisa) e os eventos e participantes no campo (Eisenhart, 2006, p. 575-579 *apud* Yin, 2016, p. 17-18).

Com o objetivo de complementar informações obtidas pelos questionários e entrevistas foi solicitado aos participantes suas notas de aula produzidas durante o trabalho de campo, pois “objetos coletados podem incluir aqueles produzidos diretamente pelos participantes, tais como seus diários e fotografias, cujo uso pode complementar as informações obtidas em entrevistas com os participantes” (Yin, 2016, p. 131).

A partir do momento em que o pesquisador possui dados parciais de campo, já é possível e desejável que inicie a análise dos mesmos, conforme mostrado na Figura 5, as cinco etapas de análise são (Yin, 2016): (1) compilar, (2) decompor, (3) recompor (e arranjar), (4) interpretar e (5) concluir.

Figura 5 - Cinco fases de análise e suas interações



Fonte: Yin (2016, p. 159).

É importante ressaltar que, por mais que o autor liste as etapas em uma ordem cronológica, “durante o desenvolvimento da investigação, a exposição do pesquisador a outras experiências pode influenciar seu pensamento, o que pode acarretar um desejo por parte deste de investir em modificações em qualquer uma das cinco fases” (Müller, 2017, p. 74), ou seja, pode ser necessário ao pesquisador fluir entre elas, avançando e retrocedendo para que a análise se torne mais compreensível e confiável.

A etapa de compilação de dados caracteriza-se pela classificação das notas de campo acumuladas, a partir das diferentes fontes de evidência usadas ao longo da pesquisa, ou seja, é a organização dos dados de modo a otimizar e facilitar o trabalho do investigador. O produto da compilação pode ser considerado, então, o banco de dados da pesquisa.

A fase de desagrupamento consiste em decompor os dados compilados em fragmentos ou elementos menores, o que pode ser considerado um procedimento de decomposição. Yin (2016) destaca que esse processo pode ser repetido muitas vezes, como parte de um processo de tentativa e erro, pois o sucesso do pesquisador, nessa fase de análise, depende intimamente da fase de reagrupamento. A reorganização, ou reagrupamento destas porções de dados deve ser realizada quantas vezes for necessário, a fim de que as categorias referentes às questões de pesquisa surjam. A busca e a organização de categorias é a base para a interpretação dos dados, que vem a seguir.

A etapa de interpretação tem o objetivo de dar significado aos dados que, por si só, não contam história alguma, ela deve ser feita de forma abrangente, ter início, meio e fim, representando os dados corretamente, podendo ser acompanhada de tabelas e gráficos. Esses cuidados são importantes para evitar que interpretações diferentes concorram com a interpretação proposta pelo pesquisador, como Yin (2016, p. 185) questiona: “Considerando sua postura interpretativa, outros com a mesma postura chegariam à mesma interpretação?”. Por fim, a interpretação deve ser realizada com atenção a evitar dois extremos, o de “dispor de uma grande quantidade de dados, mas fazer uma interpretação superficial que não “minere” os dados, ou fazer uma interpretação insistente que exagere a qualidade dos dados” (Yin, 2016, p. 185-186).

Nesta tese, utiliza-se a interpretação descritiva e, quando pertinente e possível, será também feito um esforço explicativo, tendo consciência de que “[...] todas as interpretações são dedicadas a explicar como ou por que eventos ocorreram, ou alternativamente como ou por que as pessoas foram capazes de perseguir determinados cursos de ação. Nessa situação, a estrutura interpretativa assume um modo explicativo, [...]” (Yin, 2016, p. 194).

Neste contexto, Yin (2001) destaca que poderá ser utilizado o formato de pergunta-resposta, baseado nas perguntas e respostas constantes no banco de dados para o estudo de caso⁸, as vantagens deste formato em estudos de casos múltiplos são:

o leitor só precisa examinar as respostas dadas à mesma pergunta ou às mesmas perguntas dentro de cada estudo de caso para começar a fazer comparações cruzadas. Como cada leitor pode se interessar em questões diferentes, o estilo inteiro facilita o desenvolvimento de uma análise cruzada talhada para interesses específicos dos leitores (Yin, 2001, p. 168).

O produto da interpretação dos dados (ver Seção 8 A EVOLUÇÃO DO PERFIL EPISTEMOLÓGICO DOS PROFESSORES EM FORMAÇÃO INICIAL EM FÍSICA) será o principal amparo para o desenvolvimento da etapa de conclusão, na qual o pesquisador vai refletir sobre seus resultados e elaborar as conclusões do seu estudo, é desejável que ela apresente o significado mais amplo do estudo, explicitando o que foi aprendido e suas inferências. Por fim, “não é desejável apresentar conclusões que apenas reafirmem os resultados usando outras palavras” (Yin, 2016, p. 198).

⁸ Neste trabalho, as análises dos dados produzidos estão organizadas por tópicos de óptica (ver seção 8 A EVOLUÇÃO DO PERFIL EPISTEMOLÓGICO DOS PROFESSORES EM FORMAÇÃO INICIAL EM FÍSICA), permitindo ao leitor examinar apenas as noções dos participantes relacionadas a determinados temas. Alguns desses temas se repetem explicitamente ao longo dos encontros, possibilitando uma análise cruzada direta, como, por exemplo, as concepções sobre “a natureza da luz”, “a interação da luz com a matéria” ou “o papel do olho no processo da visão”. Além disso, enquanto alguns temas surgem de forma pontual, outros aparecem distribuídos em diferentes tópicos ao longo das análises.

6 PROPOSTA DIDÁTICA

Neste capítulo, são apresentados os fundamentos e a organização da proposta didática desenvolvida, incluindo uma sequência didática na perspectiva histórico-cultural de Vigotski, articulada a um Texto de Apoio ao professor. Na primeira seção, descrevem-se as etapas da sequência didática, fundamentadas em Marques (2022) e adaptadas ao ensino de Óptica.

Na segunda seção, discute-se a concepção e o desenvolvimento do Texto de Apoio ao Professor, explorando seu enfoque histórico e epistemológico sobre os conceitos de Óptica. Em seguida, estão incluídos os resultados da avaliação piloto conduzida por professores de Física, descrevendo as críticas, sugestões e aprimoramentos realizados a partir das contribuições dos avaliadores. Por fim, são apresentados a capa, o sumário e a forma de acesso ao texto integral do Produto Educacional.

Na terceira seção, detalham-se os encontros realizados.

6.1 Proposta didática na perspectiva histórico-cultural

A proposta didática é uma Sequência Didática na perspectiva histórico-cultural de Vigotski e está amparada em um Texto de Apoio ao professor.

De acordo com Zabala (1998, p. 18), sequência didática é “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecido tanto pelos professores como pelos alunos”. Para a Sequência Didática deste trabalho, utilizamos como referência a proposta de Marques (2022) que propõe as seguintes etapas: identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes, sistematização do conhecimento científico, aplicação do conhecimento e identificação da evolução conceitual. As etapas sequenciais da proposta estão apresentadas de forma resumida no Quadro 4.

Quadro 4 - Resumo das etapas sequenciais

Etapas da sequência didática	
1	Resgate dos conhecimentos espontâneos, a partir de situações vivenciadas pelos estudantes, relacionados com o objeto de estudo.
2	Discussão (apresentação de forma dialógica) dos conceitos em estudo, por meio da ação estruturante do professor, mediado por diferentes estratégias de ensino.
3	Inicialmente, a realização de atividades de aplicação dos conceitos em situações vivenciais e contextualizadas socialmente e a seguir apresentação de situações, quando possível, no contexto histórico e cultural global.
4	Realização de atividades de cooperação, compartilhamento e socialização.
5	Atividades de aplicação do conhecimento que permitam analisar a evolução conceitual dos estudantes.

Fonte: Adaptado de Marques (2022).

O autor propõe que em todas as etapas da sequência didática, temos que ter presente os seguintes princípios fundamentais: (a) todo o aprendizado é mediado pela fala (linguagem) e, nesse contexto, o foco interpretativo do fenômeno de ensinar e aprender é o conjunto das interações verbais; (b) todo aprendizado tem uma história prévia; (c) a aprendizagem de um conhecimento novo pressupõe a consideração da distância entre o nível de desenvolvimento real no qual o estudante é capaz de solucionar problemas de forma independente e o nível de desenvolvimento iminente, no qual o estudante necessita de orientação diretiva daquele que se propõe para ensinar; (d) a aprendizagem dos conceitos científicos deve se dar a partir dos conceitos espontâneos, ou seja, a partir do que o estudante já sabe. As escolhas do professor devem levar em consideração alguns princípios didáticos dentre os quais estão a valorização dos conhecimentos prévios dos estudantes; (e) as transformações produzidas nos processos de aprendizagem têm origem na cultura.

6.2 A construção e a análise do Produto Educacional

O Produto Educacional que integra esta tese consiste em um Texto de Apoio ao Professor, caracterizado como

[...] um material de auxílio aos professores, cuja abordagem deve estar direcionada ao aprofundamento de um determinado assunto, tema, ou conteúdo de uma disciplina. Sua função é instrumentalizar os professores para que tenham a possibilidade de construir e ampliar seus conhecimentos, além de expandir o repertório de suas práticas pedagógicas (Buss, 2022, p. 1014).

Neste sentido, o texto busca fazer um resgate histórico da evolução dos conceitos da Óptica sob o viés epistemológico de Bachelard, evidenciando as superações dos obstáculos epistemológicos encontrados durante esta produção humana e, investigando o perfil epistemológico dos estudantes, visa subsidiar a sua evolução.

A relação entre os obstáculos epistemológicos e o perfil epistemológico do sujeito é profunda, pois é no perfil epistemológico que se torna evidente os compromissos do sujeito com os obstáculos. Então o objetivo passa a ser superar estes obstáculos, progredindo no sentido de uma racionalidade crescente. Martins (2007, p. 9) descreve muito bem este ponto:

Bachelard fornece uma estrutura para pensarmos as concepções [do sujeito]: a hierarquia de doutrinas filosóficas. Relaciona as diferentes regiões do perfil com compromissos epistemológicos do sujeito. Aponta um sentido de progresso, ao longo do qual há um alargamento descontínuo do conhecimento. Aliada à noção de obstáculo epistemológico, a ideia de perfil, a nosso ver, faz um raio-X das concepções e dissecos os “contextos”, re-contextualizando-os sob a ótica das escolas filosóficas e dos compromissos de natureza epistemológica dos sujeitos.

Logo, as noções de obstáculos epistemológicos e perfil epistemológico permitem ao mesmo tempo aprofundar a compreensão sobre o tema de estudo e embasam ferramentas para o professor investigar como os estudantes utilizam suas concepções espontâneas e científicas.

A abordagem de resgate histórico é outro aspecto importante deste Texto, a sua adoção está de acordo com a epistemologia de Bachelard e com a teoria histórico-cultural, cuja perspectiva foi adotada na elaboração da Sequência Didática. De acordo com Duarte (2021), a decisão de transmitir conhecimento às novas gerações por meio da educação escolar engloba uma interação entre o presente, o passado e o futuro, estabelecendo uma conexão dialógica e histórico-cultural. De tal forma que os conteúdos não podem ser tratados como coisas mortas e desconectadas da realidade dos estudantes, “mas o conhecimento é atividade humana condensada e sua socialização traz à vida a atividade que ali se encontra em estado latente” (Duarte, 2021, p. 34). A adoção do referencial epistemológico de Bachelard passa a ser, então, uma consequência da opção pelo resgate histórico, pois concordamos com Martins (2007) em que a epistemologia de Bachelard é justificada pela história da ciência e construída a partir dessa história, portanto,

A história da ciência não é apenas importante para a epistemologia de Bachelard, mas é *constitutiva* dessa epistemologia, pois é nesse terreno que nosso autor busca os elementos que ilustram e alicerçam suas teses principais. Ao analisar a pré-ciência dos séculos passados, Bachelard encontra obstáculos que também podem ser percebidos na prática educativa contemporânea. Mais do que isso, defende que por meio do estudo histórico procuremos as origens e razões da resistência dos obstáculos epistemológicos (Martins, 2007, p. 8, ênfase do autor).

Por fim, este Texto de Apoio foi desenvolvido para ser utilizado durante a formação inicial de professores de Física, mas acreditamos que pode servir, conforme critério do docente, como Texto de Apoio em cursos superiores que abordem Óptica e no Ensino Médio,

pois os aspectos epistemológico e histórico-cultural devem abranger não só a Óptica, mas ser uma forma de explicar a realidade, transformável pela ação humana (Duarte, 2021).

A versão preliminar do Texto de Apoio ao Professor foi submetida à avaliação piloto pelos pares, encaminhada a cinco professores atuantes no Curso de Licenciatura em Física. Pediu-se que preenchessem o formulário constante no APÊNDICE A, que contempla a pertinência do texto para um estudo crítico e reflexivo da história da óptica; o grau de dificuldade encontrado em relação a cada uma das seções do texto e as sugestões que julgassem relevantes para a melhoria do texto. As descrições a seguir englobam as informações recebidas em todo o formulário e não estão, necessariamente, divididas entre as seções do mesmo.

Sobre o tópico de pertinência do texto para um estudo crítico e reflexivo da história da óptica, foram identificadas duas categorias de respostas. A primeira categoria, composta pelos Avaliadores 1, 2 e 3, destacou que o texto contempla tópicos relevantes, ausentes nos livros didáticos, e que está escrito de maneira coerente e de fácil leitura. A segunda categoria, composta pelos Avaliadores 4 e 5, apontou dificuldades com determinadas palavras ou termos de uso pouco comum, que haviam sido utilizados no texto sem a devida definição prévia.

O nível de dificuldade encontrado em cada seção do texto variou entre fácil e média compreensão, em uma escala que incluía os níveis fácil, média e difícil. As melhorias sugeridas concentraram-se em incluir definições de determinados conceitos, palavras ou descrições de experimentos mencionados no texto, cuja compreensão exigiu consultas externas.

Entre as sugestões gerais, os Avaliadores 4 e 5 propuseram a inclusão de tabelas, quadros e/ou linhas temporais para comparar e explicar diferentes conceitos, enquanto o Avaliador 1 recomendou uma explicação mais detalhada da epistemologia de Bachelard na Introdução.

Como resultado da avaliação piloto, as sugestões foram incorporadas ao texto final por meio da adição de notas de rodapé para esclarecer termos obscuros ou incomuns, quadros explicativos e outros ajustes menores, contribuindo para a melhor compreensão de aspectos históricos menos conhecidos.

A capa do Produto Educacional e seu sumário podem ser visualizados nas Figuras Figura 6 , Figura 7 e Figura 8. O texto integral está disponível no site do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Passo Fundo e no site Educapes no link <http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/984067>.

Figura 6 - Capa do Produto Educacional



Fonte: Autor (2024).

Figura 7 - Sumário do Produto Educacional (Parte 1/2)

SUMÁRIO	
9	APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL
10	Composição do material
10	Fundamentação teórica
11	Público-alvo e aplicabilidade
12	Estrutura do material
15	1 INTRODUÇÃO
19	2 A CONTRIBUIÇÃO DOS GREGOS: ÓPTICA COMO UMA TEORIA DA VISÃO
20	2.1 Introdução
23	2.2 O estudo da visão
24	2.3 O fogo visual
25	2.4 A perspectiva atomista
27	2.5 Platão
28	2.6 Aristóteles
30	2.7 Os Estoicos
31	2.8 Euclides
33	2.9 Ptolomeu
36	2.10 Análise epistemológica
41	3 A ÓPTICA MEDIEVAL, A RENASCENÇA E KEPLER
42	3.1 Introdução
44	3.2 Perspectiva
47	3.3 Kepler e a imagem na retina
52	3.4 Análise epistemológica
57	4 O PREDOMÍNIO DO MECANICISMO
58	4.1 Introdução
61	4.2 O Universo Mecânico de Descartes
62	4.2.1 A natureza da luz e sua propagação

Figura 8 - Sumário do Produto Educacional (Parte 2/2)

SUMÁRIO	
66	4.2.2 Os fenômenos de reflexão e refração
73	4.3 O Universo Mecânico de Newton
76	4.3.1 A Teoria da Luz e Cores de Newton
82	4.4 Análise epistemológica
87	5. ONDA, PARTÍCULA, ONDA-PARTÍCULA
88	5.1 Introdução
90	5.2 A unificação da óptica e do eletromagnetismo
92	5.3 A descoberta do efeito fotoelétrico
95	5.4 A solução de Planck para a radiação de corpo negro
97	5.5 A hipótese do quantum de luz
100	5.6 As ondas de matéria
101	5.7 Análise epistemológica
105	6. CONSIDERAÇÕES FINAIS
109	PROPOSTA DIDÁTICA PARA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL
110	Proposta didática na perspectiva histórico-cultural
111	Descrição dos encontros
117	Questionário
119	Guia para entrevista comentado
127	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
133	APÊNDICE A - Categorização epistemológica do conceito de luz
136	APÊNDICE B - Categorização ontológica do conceito de luz

Fonte: Autor (2024).

6.3 Descrição dos encontros

A intervenção pedagógica foi realizada por meio da aplicação de uma sequência didática planejada para seis encontros de quatro horas cada⁹, envolvendo três estudantes do curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal Catarinense, campus Concórdia¹⁰. Dois estudantes, o Participante 1 e o Participante 2, estavam na terceira fase do curso, enquanto o Participante 3 cursava a sétima fase.

Propusemos uma articulação entre a história da Óptica e as principais características da filosofia histórica de Bachelard, com ênfase nas rupturas e discontinuidades, nos perfis epistemológicos e nos perfis conceituais. O resumo das atividades está apresentado no Quadro 5.

Esta articulação entre a história da Óptica e a filosofia bachelardiana, posta em prática durante a formação de professores de Física, visou prover uma visão crítico-reflexiva da evolução do pensamento científico, visão esta que está ausente de abordagens que apresentam os resultados da ciência em ordem meramente cronológica (Melo; Peduzzi, 2007).

Esser *et al.* (2021), ao fazerem uma revisão sistemática sobre as contribuições da epistemologia de Gaston Bachelard para o ensino de Física, verificaram que existem poucas produções acadêmicas dentro dessa perspectiva, expondo a necessidade de maior atenção para o estudo da História e Filosofia da Ciência para a melhoria da qualidade do ensino de Física.

Ao mesmo tempo, os autores indicaram a importância do desenvolvimento e da publicação de sequências didáticas embasadas nos conceitos de obstáculos epistemológicos e perfil epistemológico, a fim de servirem como fonte de futuras ações docentes.

Quadro 5 - Organização das atividades da Sequência Didática

Encontro	Descrição	Objetivos
1	(i) Apresentação do curso no contexto da pesquisa; (ii) A filosofia da ciência de Bachelard:	(i) Apresentar os objetivos da pesquisa; (ii) Investigar as concepções conceituais e epistemológicas dos participantes dos

⁹ A intervenção foi realizada no formato de curso de curta duração no período vespertino, enquanto o curso regular de licenciatura em Física é oferecido no período noturno.

¹⁰ O Instituto Federal Catarinense (IFC) – Campus Concórdia iniciou suas atividades em março de 1965 como Ginásio Agrícola. Em 1972, tornou-se Colégio Agrícola e, em 1979, Escola Agrotécnica Federal de Concórdia. Em 2008, integrou-se ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense, passando a ser denominado Campus Concórdia. Atualmente, oferece cursos técnicos integrados ao ensino médio e cursos superiores nas áreas de Agronomia, Engenharia de Alimentos, Licenciaturas em Física e Matemática e Medicina Veterinária. A infraestrutura inclui laboratórios especializados, ginásio de esportes, biblioteca e alojamentos estudantis. O quadro de servidores é composto por aproximadamente 270 profissionais, incluindo docentes e técnicos administrativos efetivos, docentes contratados, terceirizados e estagiários (IFC, 2019). Em 2023, o campus formou 308 alunos em diversos cursos, incluindo técnicos integrados e graduações (IFC, 2023).

	obstáculos epistemológicos e perfil epistemológico; (iii) Discussão sobre o estudo e ensino da Óptica através de uma perspectiva histórica e epistemológica.	participantes; (iii) Introduzir a epistemologia de Bachelard, a fim de fornecer ferramentas com as quais os participantes possam analisar a evolução dos conceitos de óptica apresentados no decorrer do curso.
2	(i) Abordagem do capítulo 2 do texto de apoio - A contribuição dos gregos: Óptica como uma teoria da visão; (ii) Produções escritas e oralizadas sobre tópicos de óptica ¹¹ .	(i) Investigar as concepções conceituais e epistemológicas dos participantes; (ii) Discutir as primeiras tentativas dos Gregos para sistematizar um conhecimento sobre a luz e a visão; (iii) Avaliar o capítulo 2 do Texto de Apoio ¹² .
3	(i) Abordagem do Capítulo 3 do texto de apoio - A Óptica medieval, a renascença e Kepler; (ii) Produções escritas e oralizadas sobre tópicos de óptica; (iii) Atividades práticas sobre formação de imagens em espelhos planos e lentes convergentes.	(i) Investigar as concepções conceituais e epistemológicas dos participantes; (ii) Analisar como o conhecimento grego foi absorvido criticamente pelos árabes e redescoberto pelos europeus, culminando na superação de diversos obstáculos, por Kepler, ao estabelecer a formação da imagem na retina; (iii) Investigar, por meio de atividade prática, concepções espontâneas relacionadas à formação de imagens e elementos da óptica geométrica; (iv) Avaliar o capítulo 3 do Texto de Apoio.
4	(i) Abordagem do Capítulo 4 do texto de apoio – O predomínio do mecanicismo (ii) Produções escritas e oralizadas sobre tópicos de óptica; (iii) Atividades práticas prática sobre a formação das sombras.	(i) Investigar as concepções conceituais e epistemológicas dos participantes; (ii) Examinar como os conceitos de luz como partícula ou onda eram propostos e questionados à época de Newton, evidenciando o exercício do racionalismo nas discussões científicas; (iii) Investigar, por meio de atividade prática, as concepções dos participantes sobre a relação da natureza da luz com a adição e subtração de cores e percepção visual das cores. (iv) Avaliar o capítulo 4 do Texto de Apoio.
5	(i) Abordagem do Capítulo 5 do texto de apoio – Onda, partícula, onda-partícula; (ii) Produções escritas e oralizadas sobre tópicos de óptica; (iii) Atividade sobre situações de interação da radiação com a matéria.	(i) Investigar as concepções conceituais e epistemológicas dos participantes; (ii) Analisar a superação dos modelos mecanicistas da luz através da introdução do conceito de fóton, inaugurando a era ultraracionalista do estudo da Óptica; (iii) Analisar algumas formas de interação de fótons com a matéria, a fim de compreender o fundamento quântico das cores das substâncias, da absorção, da difração e do efeito Compton. (iv) Avaliar o capítulo 5 do Texto de Apoio.
6	Momento reservado para as entrevistas com os participantes.	(i) Realizar o fechamento do curso; (ii) Conduzir as entrevistas semiestruturadas com os participantes, conforme guia no APÊNDICE C ¹³ .

Fonte: Autor (2024).

¹¹ As perguntas do Questionário 1, conforme descrito no Apêndice B, foram utilizadas ao longo de todo o curso para fomentar estas produções, sem um momento formal destinado à sua resolução.

¹² O Texto de Apoio foi adotado pelo pesquisador. Os participantes do curso não tiveram acesso direto a ele.

¹³ As perguntas do Guia da Entrevista, conforme descrito no APÊNDICE C, foram utilizadas parcialmente nas entrevistas, pois alguns questionamentos se esclareceram ao longo da aplicação do curso.

6.3.1 Relato do Primeiro Encontro - 01/07/2024: Introdução ao Pensamento de Gaston Bachelard

O encontro foi realizado no Laboratório de Instrumentação de Física, com a participação de três estudantes do curso de Licenciatura em Física, doravante referidos como Participante 1 (P1), Participante 2 (P2) e Participante 3 (P3).

No início do encontro, procedi à leitura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, que foi assinado por todos os presentes. P1 se voluntariou para gravar o áudio do encontro utilizando seu celular, em conjunto com o meu, resultando em duas gravações simultâneas, isso se repetiu nos encontros seguintes.

Em seguida, apresentei a justificativa da tese, ressaltando a importância do estudo da óptica e como esta é frequentemente subestimada no ensino comum. Expliquei que os alunos de Física, desde o ensino médio até a licenciatura, adquirem conceitos espontâneos que diferem das concepções científicas e que tais conceitos podem persistir mesmo após o término do curso. Estudos indicam que diversos fatores contribuem para isso, incluindo a idade em que o indivíduo começa a formar teorias de causa e efeito a partir do sentido da visão. Assim, o aluno que inicia o estudo da óptica já possui uma carga significativa de conceitos espontâneos, que, se não abordados de maneira eficaz durante a graduação, podem perdurar.

Durante a conversa, perguntei aos participantes se conheciam Gaston Bachelard. Eles não o conheciam, apenas tinham tido acesso ao material enviado anteriormente pelo grupo do WhatsApp. Apenas uma aluna havia consultado o material, mas não o leu integralmente. Os outros dois não estavam familiarizados com Bachelard, nem com os conceitos de obstáculos epistemológicos ou perfis epistemológicos.

Ao longo do encontro, os participantes foram incentivados a relatar suas percepções sobre determinados obstáculos epistemológicos mediante algumas perguntas. A segunda pergunta, foi “Você já teve alguma dificuldade para entender um conceito científico, mesmo após várias explicações? Qual foi o conceito e como você resolveu a dificuldade?”. Os participantes tiveram dificuldade em identificar conceitos específicos e suas respostas focaram na área da matemática, como cálculo e álgebra, sem exemplos ligados à Física.

Introduzi o conceito de obstáculos epistemológicos questionando: “Quais são algumas crenças comuns sobre fenômenos naturais que você acha que podem estar erradas?”. Os participantes também encontraram dificuldade em recordar de algumas crenças. Outra pergunta foi: “Você já aceitou alguma informação como verdadeira sem questionar? Como isso pode afetar o aprendizado científico?”. Indaguei ainda: “Quais exemplos você pode dar

de conhecimentos plenamente aceitos em determinada época e que foram superados com o tempo?”. Em geral, eles não conseguiram trazer exemplos próprios para a discussão.

Antes de introduzir o obstáculo verbal, perguntei: “Você já usou ou ouviu uma metáfora para explicar um fenômeno científico? Como isso ajudou ou atrapalhou o entendimento?”. P1 comentou que, como professor de Química, utilizou uma receita de bolo para explicar reações químicas, mas não conseguiu identificar como isso poderia prejudicar o entendimento dos alunos. P3 mencionou que um professor havia dito que a metáfora serve como base para o aluno raciocinar sobre o fenômeno, mas ele acaba esquecendo a origem do fenômeno.

Outra pergunta foi: “Como você descreveria a luz usando termos do cotidiano? Imagine que está explicando para uma criança ou uma senhora idosa, que não teve conhecimento formal”. P2 teve dificuldade em se manifestar. P1 tentou explicar a partir do comportamento da luz, como a reflexão e decomposição das cores, mas não abordou a natureza da luz. P3 procurou abordar a natureza da luz, mencionando que a luz são “coisas muito pequenas que criam algo maior que pode ser visto”, e depois comentou sobre a continuidade do assunto com o exemplo de P1 sobre o comportamento da luz.

Os participantes ficaram surpresos quando mencionei um texto que dizia: “A luz anima e alegra toda a natureza; onde ela falta, não há alegria, nem força, nem vida; só há horror, fraqueza, vácuo. A luz é, portanto, a única de todas as criaturas sensíveis que se assemelha à divindade”. Eles ficaram admirados ao saber que este texto foi proposto como científico na época.

A curiosidade deles manteve-se ao compreender a explicação sobre o decréscimo da intensidade da luz com a distância e como isso tentava ser reconciliado com o aspecto divino da luz, apresentado por La Chambre. Eles acharam bastante interessante o uso do magnetismo em colchões, sandálias e pulseiras, e como a utilidade para o bem-estar humano foi justificada antes do uso nas bússolas.

Para introduzir o obstáculo substancialista, perguntei: “Quais são algumas qualidades que você atribuiria à luz? Você acha que essas qualidades influenciam como você entende o comportamento da luz?”. Eles não compreenderam bem a pergunta. Comentei que alguns aspectos, como a luz transmitir alegria em um dia ensolarado, poderiam ser exemplos. Expliquei também sobre a energização das pedras utilizadas por algumas pessoas para atividades vinculadas à saúde. A partir desse exemplo, eles pareceram entender o que são essas qualidades, mas não conseguiram apresentar mais exemplos.

Em seguida, apresentei o exemplo de Aldini, que realizava descargas elétricas na língua, passando por vinho, leite, etc. Eles acharam interessante e até divertida a descrição, melhorando o ânimo geral no grupo. Contudo, ficou claro pela reação dos participantes que eles próprios foram influenciados pelo obstáculo da experiência primeira ao entrarem em contato com a experiência de Aldini. Ao enfatizar a questão do obstáculo substancialista, que se refere à substância elétrica que carrega propriedades além da eletricidade, o ânimo do grupo diminuiu.

Para introduzir o obstáculo animista, perguntei: “Você já pensou em objetos inanimados como se tivessem intenções ou emoções? Como isso afeta sua compreensão de fenômenos físicos?”. Comecei comentando sobre a bateria do celular que estava “cansada”. P1 mencionou que o Fusca de sua mãe não funcionava devido ao frio, conforme sua avó havia dito. Expliquei que isso poderia resolver um problema imediato, mas estagnaria o conhecimento. Mencionei o exemplo anterior de P2, que disse que um céu noturno com poucas estrelas indicava chuva, e com muitas estrelas indicava ausência de chuva. Esse exemplo também estagna o conhecimento. Não surgiram outros exemplos nesse sentido.

Para a introdução do perfil epistemológico das escolas filosóficas, perguntei: “Você já mudou sua maneira de pensar sobre um conceito científico após aprender mais sobre ele? Qual foi o conceito e como sua compreensão mudou?”. P1 comentou sobre sua concepção de que corpos mais “pesados”, de maior massa, caem primeiro e que, mesmo sabendo que não é assim, ainda tem essa tendência de pensar dessa forma.

Expliquei a aplicação do perfil epistemológico como análise da evolução das ideias e conceitos dentro de um determinado campo do conhecimento científico e avaliação do perfil epistemológico individual. Mostrei o perfil epistemológico de massa de Bachelard e como ele é aplicado de tal maneira que conhecimentos de escolas diferentes coexistem e são aplicados em situações distintas. Eles não tinham consciência disso e acharam importante para o estudo da óptica que realizaremos.

Por fim, perguntei: “Como você descreveria a evolução do conceito de luz ao longo do tempo?”. P1 mencionou uma aula sobre a história da luz, mas lembrou apenas até Newton e Huygens, sobre o dilema da luz como partícula ou onda. Antes disso, não ficou claro para ele nem para os demais participantes. Eles tinham alguma lembrança dos gregos, mas de forma muito fragmentada e confusa. Também mostraram ter alguma noção de conceitos quânticos.

Apresentei a programação da evolução das escolas filosóficas sobre visão e luz e como prosseguiríamos. O encontro foi encerrado.

Para ilustrar a dinâmica da aula e a percepção dos participantes em relação aos tópicos abordados, o Quadro 6 apresenta os tópicos abordados nas perguntas feitas durante o encontro e um breve exemplo das respostas dos participantes.

Quadro 6 - Tópicos abordados nas perguntas feitas durante o primeiro encontro e exemplos das respostas dos participantes

Tópico	P3	P2	P1
Dificuldade para entender um conceito científico	Método de explicação do professor não se adequava ao seu estilo de aprendizado	Melhor compreensão ao visualizar conceitos, como vetores em pré-cálculo	Dificuldade em integrar devido à base matemática fraca; ajudada pelo irmão
Crenças sobre fenômenos naturais	Lua em formato de barco ou guarda-chuva indica chuva	Ver poucas estrelas no céu indica chuva	-
Aceitação de informações sem questionamento	Aceitava facilmente informações dos professores e pais na juventude	-	-
Exemplos de conhecimentos antigos aceitos e superados	Superstições como surrar a planta para melhor produção	Superstições sobre cuidados pós-parto	Teoria do lugar natural dos corpos substituída pela teoria da gravidade
Uso de metáforas para explicar fenômenos científicos	-	Exemplo do carro para explicar MRU e MRUV	Metáfora do bolo para explicar o princípio de Lavoisier
Explicação sobre o conceito de luz	-	Tentativa de explicar a junção de várias cores para formar a luz	Uso de exemplos como arco-íris para explicar a decomposição da luz
Atribuição de qualidades à luz	-	-	-
Objetos inanimados com intenções ou emoções	-	-	Carro antigo “com frio”
Mudança na maneira de pensar sobre um conceito após aprendizado	Exploração espacial tem aplicações práticas importantes	-	Corpos mais pesados não caem mais rápido; atração gravitacional é mútua
Evolução do conceito de luz	Referência aos gregos considerando a luz como corpúsculo, passando por Newton e chegando a Max Planck	Referência ao professor Luciano sobre teorias gregas da visão, como cores saindo dos objetos	Linha do tempo discutida pelo professor da graduação, desde a discussão entre onda e partícula até a quantização

Fonte: Autor (2024).

6.3.2 Relato do Segundo Encontro - 04/07/2024: Contribuições dos Gregos - Óptica como uma Teoria da Visão

Nesse encontro, os participantes estavam mais animados. Iniciamos a aula trazendo uma mensagem de Sedley: “Ao reconstruir os pensamentos dos antigos, podemos com

proveito descobrir como seria enfrentar as questões que eles enfrentaram e pensar como eles pensavam.” Foi esse estado de espírito que compartilhei com eles para esse momento.

Comecei com uma introdução sobre o surgimento da filosofia grega, abordando a filosofia versus o misticismo, e o início das primeiras escolas filosóficas: os jônicos, os pitagóricos, os eleatas e os atomistas, com relevância para o nosso tema da óptica. Mostrei a eles como cada escola tentou encontrar uma ordem para a constituição do mundo e como isso influenciou o desenvolvimento das teorias da visão gregas.

Antes de iniciar de fato o estudo da visão sob a perspectiva grega, fiz a eles a pergunta: “O que é luz?” e pedi que escrevessem suas respostas no papel. Deixei em aberto para que respondessem de acordo com seu conhecimento, de forma o mais espontâneo possível. P3 comentou que seria difícil falar o que ela é sem se referir aos fenômenos que ela produz. Pedi para que ficassem à vontade para escreverem sobre a natureza da luz e os fenômenos relacionados a ela, inclusive incluindo desenhos, diagramas, ou qualquer outra forma de expressão.

Após isso, iniciamos uma introdução à óptica grega, destacando como ela é fortemente vinculada ao conceito de fogo, o “fogo visual”. Perguntei como eles explicariam a relação entre fogo e luz. Uma resposta clara que surgiu foi que o fogo permite que vejamos, possibilitando que as coisas sejam vistas. Depois de terminar o tema do fogo visual e antes de começar o tema atomista, fiz a seguinte pergunta: “Por que não conseguimos ver detalhes de objetos muito distantes?” Percebi que eles tiveram bastante dificuldade em identificar a função do olho nessa questão. P1 comentou sobre o vento, as partículas e a umidade do ar, que poderiam atrapalhar a visualização dos detalhes de um objeto distante. Então, levei a discussão para o vazio, o espaço, e surgiu a ideia de que a luz se espalha e o objeto ficaria muito tênue. Coloquei um objeto devidamente iluminado para ser visto, e P3 comentou que é muito difícil imaginar um experimento mental desse tipo, saindo da Terra para um ambiente controlado no espaço, o que se relaciona com as dificuldades iniciais que trabalhamos: a óptica num mundo cercado de ar, vidro, prismas, espelhos, e a óptica num sistema ideal, no vácuo. A ideia de que a dificuldade em ver à distância estava nas características do meio não levou à conclusão de que é o olho que limita essa definição.

Seguimos para a discussão dos atomistas e Platão, e então, antes de Aristóteles, fiz uma nova pergunta: “Por que você acha que não podemos ver no escuro?” Eles se saíram bem nessa resposta, essa pergunta era uma introdução para explicar a necessidade da luz para a visão, que em teorias anteriores ainda não estava clara.

Ao trazer Aristóteles, mostrei uma referência direta dele sobre a visão de objetos distantes. Ele cita que Demócrito se engana ao pensar que, se o meio estivesse vazio, até mesmo uma formiga no céu seria claramente visível, pois isso é impossível. Comentei com eles que Aristóteles deu a resposta, e eles ficaram surpresos, mas como ainda não ficou claro que era o olho o limitador dessa visão, eles se mostraram um pouco confusos, mesmo que admirados. Nesse momento, expliquei o papel do olho na visão desse fenômeno em particular.

Em seguida, antes de abordar os estoicos, fiz a seguinte pergunta: “Como você compararia a maneira como sentimos com a pele e como vemos com os olhos?” Além disso, adicionei se fazia sentido eu dizer que, quando você vê algo, está em contato com aquele objeto. Perguntei como se sentiam com essa afirmação, se concordavam ou discordavam. P1 ficou em dúvida, citando situações em que de fato estaria em contato, pois a luz é refletida e chega até ele, sendo uma espécie de contato. Porém, também considerou que não haveria contato. P2 discordou, afirmando que, de maneira alguma, sente que está em contato com o objeto.

Fiz a ligação disso com a teoria do pneuma e mostrei como o contato é uma necessidade da óptica grega, especialmente na teoria dos estoicos, do pneuma óptico. Eles ficaram admirados com a pergunta sobre o contato e como ela poderia gerar uma teoria com tantos questionamentos interessantes.

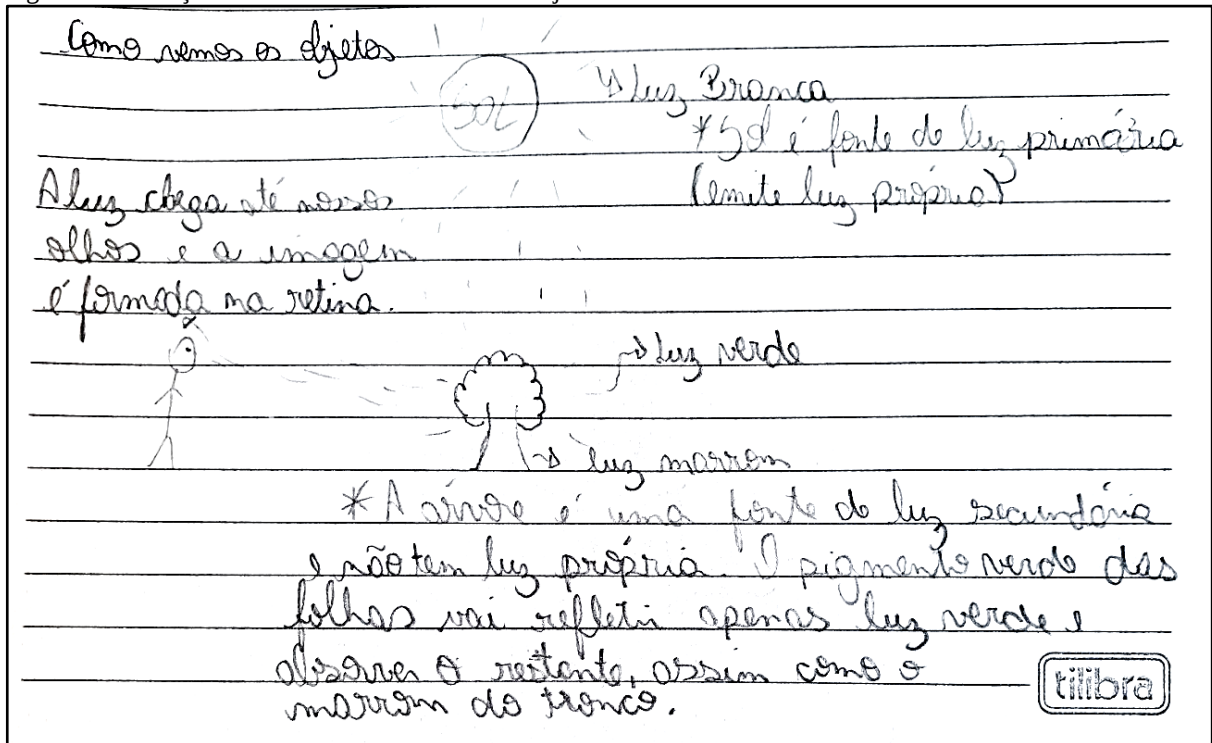
Em seguida, antes de introduzir Euclides, perguntei: “Como nossos olhos percebem a forma dos objetos?” Então, P3 comentou sobre as diferenças de cores que são percebidas. P1 complementou dizendo que, de fato, se não houvesse diferença de cores e tonalidades, não veríamos os contornos. P2 comentou sobre a diferença de sombras, que também dão profundidade e permitem ver os contornos. Inclusive, P3 mencionou a necessidade dos dois olhos e a diferença na posição relativa do objeto em relação aos olhos. O importante é que os olhos tenham uma noção de profundidade do objeto, tanto no sentido de formas quanto de cores, em um objeto 2D. No caso de um objeto 3D, é necessária a visão binocular.

Após Euclides e Ptolomeu, fizemos um pequeno experimento com os dedos, simulando a régua de Ptolomeu e o eixo comum entre os cones visuais. Eles acharam muito divertido e ficaram surpresos com o efeito, e como um experimento tão simples se relacionava com toda uma teoria grega da visão.

Após esse momento, entramos na análise epistemológica. Comentamos os obstáculos epistemológicos identificados nas teorias gregas. Eles já estavam mais familiarizados com o tema, então acharam interessante identificar como esses obstáculos precisaram ser superados, um a um, para que o conhecimento da óptica avançasse.

Em seguida, pedi duas atividades escritas para eles. A primeira foi sobre como vemos os objetos, pedindo que fizessem um diagrama para auxiliar na explicação. Eles se propuseram a desenhar e escrever. A produção de P1 está apresentada na Figura 9.

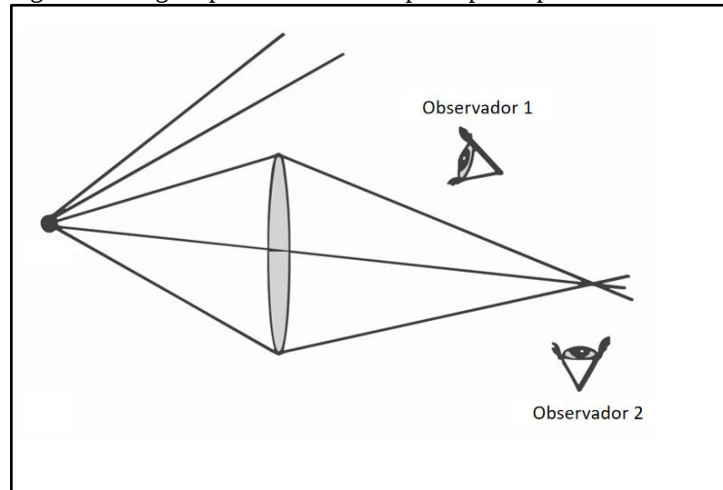
Figura 9 - Produção de P1 sobre como vemos os objetos



Fonte: Autor (2024).

Na segunda atividade, propus uma figura, ver Figura 10, em que alguns raios saem de um objeto pontual: dois deles vão em direção a um ambiente livre, um observador está olhando para esses dois raios no ar e um segundo observador está observando o cruzamento dos raios, que formariam a imagem do objeto após passarem por uma lente convergente. A pergunta era se eles concordavam com a seguinte afirmação: o observador 1 verá o objeto e o observador 2 verá a imagem, pois eles podem ver os raios do objeto e da imagem, respectivamente.

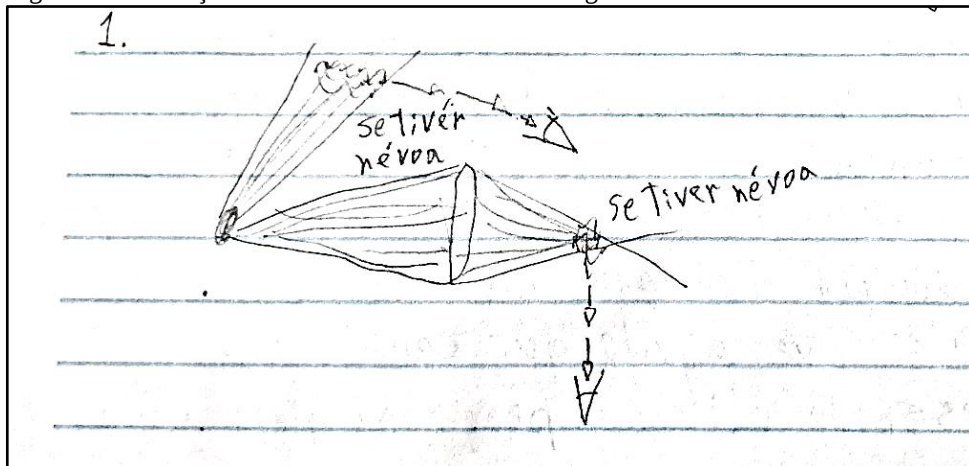
Figura 10 - Figura para ser analisada pelos participantes



Fonte: Adaptado de Ronen (1993).

Eles fizeram alguns questionamentos sobre se o objeto possuía luz própria. Eu comentei que poderiam considerar o objeto como uma vela. Também perguntaram se havia algum tipo de papel ou anteparo no ponto em que o observador estava olhando. Eu disse que não, apenas o ar. A partir disso, eles fizeram as devidas considerações por escrito. Como exemplo da atividade, segue produção de P3 na Figura 11, em que evidencia-se a necessidade de algo atuar como anteparo para a imagem ser visualizada, neste caso, névoa.

Figura 11 - Produção de P3 referente à atividade da Figura 10



Fonte: Autor (2024).

A aula finalizou com a apresentação do cronograma seguinte, que inclui a aula sobre a óptica árabe, os feixes de Kepler e a linha do tempo conforme as escolas filosóficas de Bachelard, situando-nos no momento atual.

Para ilustrar a dinâmica da aula e a percepção dos participantes em relação aos tópicos abordados, o Quadro 7 representa os tópicos abordados nas perguntas feitas durante o encontro e um breve exemplo das respostas dos participantes.

Quadro 7 - Tópicos abordados nas perguntas feitas durante o segundo encontro e exemplos das respostas dos participantes

Tópico	P3	P2	P1
O que é luz?	Energia que se comporta como onda ou partícula. Difícil definir.	Luz é aquilo que nos faz enxergar cor, medir distâncias e tem importância científica e prática, como no crescimento das plantas e na escolha de roupas.	Forma de energia que se propaga por ondas eletromagnéticas. Possui dualidade onda-partícula.
Caminho da visão na óptica grega	Dos olhos para o objeto.	Dos olhos para o objeto.	Ao mesmo tempo dos olhos para o objeto e do objeto para os olhos.
Relação entre fogo e luz	Luz [no Sol] seria uma reação que aconteceria junto com o calor, que o fogo emite. Luz pode ser transformada em calor como em painéis fotovoltaicos. O contrário acontece em corpos negros	Luz e fogo iluminam e produzem calor, mas a luz em si não é quente.	Luz do sol emite energia luminosa e térmica. A luz do sol aquece, mas a luz de uma lâmpada, como LED, não esquentar. Luz e calor são formas diferentes de energia.
Visão de objetos distantes	Luz se perde no caminho. Se a quantidade de luz que chega aos nossos olhos é suficiente, enxergaria normalmente.	Concordou com P3.	A umidade do ar dispersa a luz e a intensidade diminui com a distância. Mesmo sem complicações atmosféricas, a intensidade da luz diminui, dificultando a visão de objetos distantes.
Comparação entre tato e visão	Tato percebe forma sem cores, enquanto a visão percebe detalhes com cores. Concorda com P1 nos demais pontos.	Visão não envolve contato físico direto, mas a luz refletida do objeto atinge os olhos. Considera a luz refletida uma espécie de contato. Sem conhecimento atual sobre óptica, não perceberia a visão como um contato.	Tato percebe a forma e textura dos objetos, mas não os detalhes finos como a escrita e cores. Visão permite perceber tanto a forma quanto os detalhes e cores. Não considera que a visão envolva contato físico direto com os objetos, mas reconhece o contato através da luz refletida.
Considerações sobre a Figura 10	Nenhum dos observadores veria o objeto ou a imagem, pois para ver a imagem, seria necessário algo que refletisse a luz até o observador.	Observador 1 verá a luz emitida pelo objeto, e o Observador 2 verá a imagem do objeto.	Ambos os observadores irão enxergar a imagem, pois a lente faz os raios formarem a imagem na retina.
Explicação sobre como vemos os objetos	Sol (fonte de luz). Objeto (absorve parte da luz e reflete o restante). Olho (absorve parte da luz).	Luz reflete do objeto para o olho, criando a imagem na mente.	Luz chega aos olhos e a imagem é formada na retina. Árvores refletem a luz verde e absorvem o restante.

Fonte: Autor (2024).

6.3.3 Relato do Terceiro Encontro - 08/07/2024: *Óptica Medieval, a Renascença e Kepler: A Óptica como uma Teoria da Luz*

Iniciamos a aula com a pergunta: “Vocês já ouviram falar de Alhazém ou Kepler? Conhecem suas contribuições para a ciência da óptica?” Nenhum dos três participantes conhecia Alhazém, embora soubessem quem era Kepler, mas não sabiam especificar suas contribuições para a óptica.

Começamos destacando as contribuições dos árabes, mostrando como eles absorveram, interpretaram e criticaram o conhecimento óptico grego. Em seguida, abordamos como a Europa redescobriu esse conhecimento grego e as novas teorias que surgiram a partir da união das teorias ópticas árabes e gregas, resultando em novas interpretações. Também discutimos o início dos estudos sobre a anatomia do olho, mencionando o conceito de multiplicação de espécies e seu significado. A intenção era, ao final, discutir epistemologicamente o obstáculo substancialista representado por esse conceito.

Prosseguimos com uma nova pergunta: “Ao desenhar ou pintar uma paisagem, como você decide o tamanho e as posições dos objetos mais distantes?” P3 e P2 mencionaram o ponto de fuga, aprendido no ensino médio, enquanto P1 desconhecia esse conceito de perspectiva. Isso evidenciou que P3 e P2 estavam familiarizados com a perspectiva linear, mas não com a perspectiva angular.

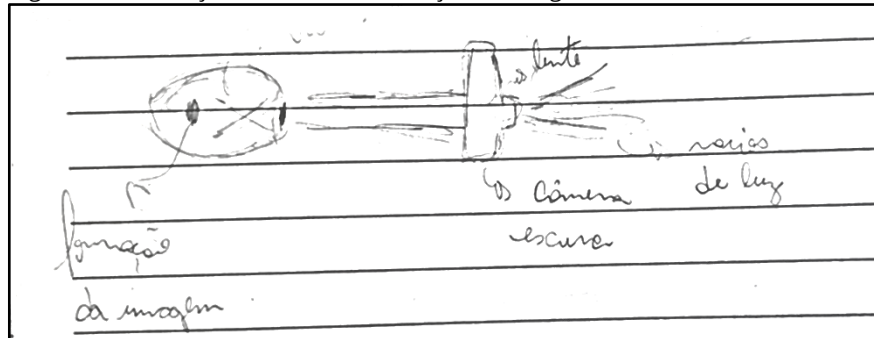
Apresentamos então os conceitos de perspectiva linear e angular, contextualizando as concepções de Kepler. Ele foi educado na escola da perspectiva linear e, com o advento desta sobre a angular, o oitavo teorema de Euclides¹⁴, que defendia a perspectiva angular, foi suprimido ou corrigido em novas publicações. Os participantes ficaram surpresos ao perceber que o olho humano trabalha com a perspectiva angular e que, em certas situações, linhas percebidas como curvas podem ser retas. Ficaram ainda mais surpresos ao saber que o próprio Kepler teve de revisar suas concepções, especialmente ao interpretar caudas de cometas e trajetórias de meteoros como linhas retas percebidas como curvas, destacando a importância de conhecer ambas as perspectivas.

Para introduzir Kepler, perguntei: “Já tiveram a oportunidade de observar uma câmara escura ou ver como uma imagem é projetada em uma superfície dentro de uma sala escura?”

¹⁴ O oitavo teorema de Euclides sobre perspectiva angular pode ter sido suprimido ou revisado em novas publicações devido aos avanços na compreensão da óptica e da geometria ao longo dos séculos. Conceitos e pressupostos antigos foram refinados ou substituídos por teorias mais precisas, o que levou estudiosos a atualizar ou omitir certos teoremas para refletir o conhecimento científico atual, garantindo a relevância e a precisão do material educacional. Isso não diminui a importância histórica dos trabalhos de Euclides, mas busca assegurar que o conteúdo ensinado seja adequado ao contexto científico contemporâneo.

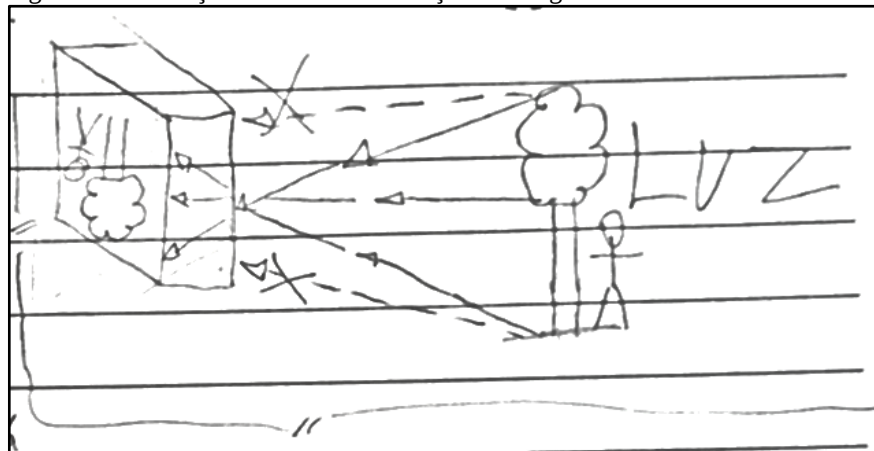
Como a imagem apareceu para vocês?” P3 e P2 já tinham experiência com uma câmara escura e lembraram que a imagem era invertida. P1 nunca havia tido contato com uma câmara escura, então trouxemos uma para que ele observasse a formação da imagem invertida. A produção de P2, que pode ser visualizada na Figura 12, contém a rara inclusão do olho como parte do sistema óptico. A produção de P3, na Figura 13, explicita a inversão da imagem.

Figura 12 - Produção de P2 sobre formação de imagens em câmaras escuras



Fonte: Autor (2024).

Figura 13 - Produção de P3 sobre formação de imagens em câmaras escuras



Fonte: Autor (2024).

Ao abordar Kepler, P1 lembrou que ele trabalhou com Tycho Brahe, mas foi uma lembrança isolada. Apresentamos então a preocupação de Kepler com a precisão das medidas astronômicas realizadas na câmara escura, em que as medidas forneciam tamanhos maiores dos objetos observados, como o diâmetro da Lua. Kepler comparou o olho humano a uma câmara escura com uma lente na abertura, concluindo que a imagem é projetada invertida na retina, consolidando a teoria da intromissão.

Introduzimos Felix Platter e seus estudos sobre a anatomia do olho, destacando sua convicção de que a luz era composta por espécies visuais. Em contraponto, Kepler usou os estudos de Platter para afirmar que o olho é um receptor, onde a retina é o receptor sensível e

o cristalino atua como uma lente óptica, abandonando a ideia de espécies visuais. Discutimos o desenvolvimento de Kepler sobre os conceitos de imagem real e virtual.

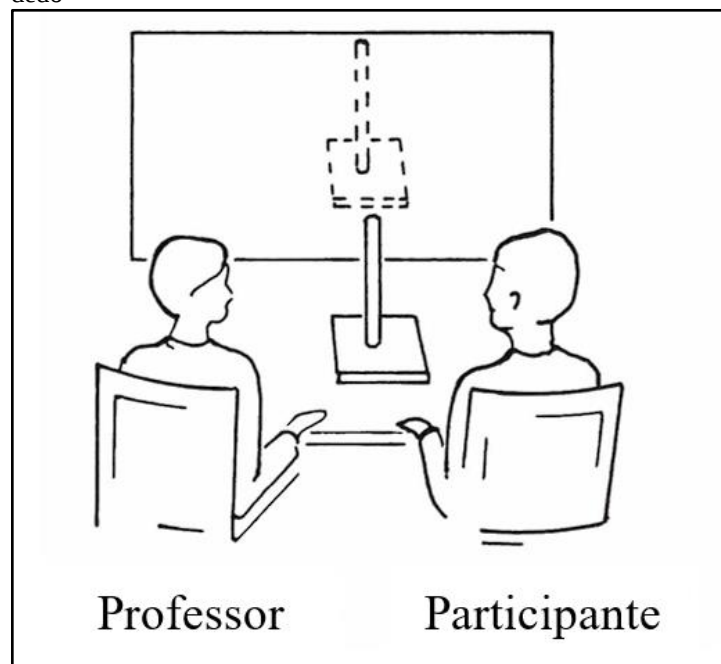
Na análise epistemológica, discutimos a superação do extromissionismo iniciada pelos árabes e consumada por Kepler, a superação do obstáculo substancialista na multiplicação de espécies e a superação da visão como tato, já que Kepler considerava a luz imaterial, sem massa e com velocidade infinita. Tratamos da inversão do cone visual proposta por Kepler, contrapondo-se ao cone de raios visuais de Euclides.

Encerramos com um relato de Kepler sobre uma demonstração óptica em Dresden, onde ele percebeu uma figura no ar, uma imagem aérea, e, maravilhado, prosseguiu tentando compreender o evento. Esse episódio ajudou Kepler a desenvolver os conceitos de imagem virtual e real.

Atividades Práticas: Formação de Imagens por Espelhos Planos e Lentes Convexas

Em uma atividade prática, um espelho plano foi colocado sobre uma mesa com um boneco à sua frente, conforme arranjo representado na Figura 14 e situação real mostrada na Figura 15. Cada participante, individualmente, foi chamado para discutir algumas questões relacionadas ao experimento.

Figura 14 - Primeira atividade com espelho plano. O pesquisador solicita ao participante que localize a posição da imagem com o dedo



Fonte: Adaptado de Goldberg (1986).

Figura 15 - Situação real da primeira atividade com espelho plano



Fonte: Autor (2024).

O participante sentado ao lado do pesquisador, frente ao espelho, foi solicitado a identificar com o dedo a localização da imagem. O primeiro a participar foi P2, que inicialmente afirmou que a imagem estava na superfície do espelho. Em seguida, P3 comentou que a imagem estaria próxima à superfície do espelho, resposta também dada por P1. No entanto, após a interação entre os três participantes em uma discussão conjunta, chegaram à conclusão de que a imagem estaria atrás do espelho, a Figura 16 evidencia este momento.

Figura 16 - Discussão conjunta sobre a localização da imagem formada por um espelho plano



Fonte: Autor (2024).

P3, contudo, manteve sua opinião de que há uma imagem atrás do espelho, mas também uma na superfície do espelho, referindo-se ao trajeto que o raio de luz faria até seu olho, passando pelo espelho. Ele distinguiu essas posições e defendeu essa opinião até o final.

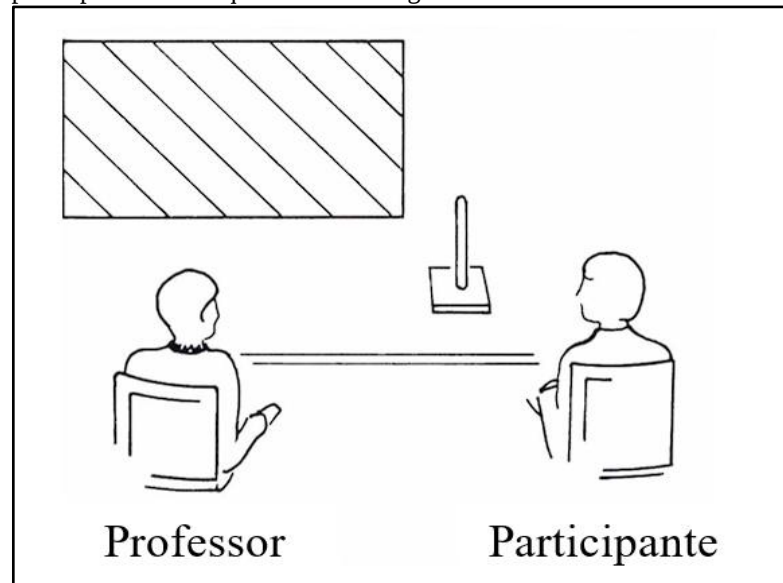
P1, que inicialmente acreditava que a imagem estava na superfície do espelho, concluiu, após conversas com os colegas, que a imagem estaria, de fato, atrás. P2, apesar de resistente, também aceitou que a imagem estaria atrás do espelho, permanecendo convicto de que a imagem estaria logo atrás do objeto.

Em seguida, questionou-se se, ao trocar de lugar com o pesquisador, a imagem permaneceria no mesmo lugar ou se deslocaria. P2 opinou que a imagem se deslocaria para a direita, P3 acreditava que ela se deslocaria para a esquerda, enquanto P1 afirmou que a imagem permaneceria no mesmo lugar. Após discussão, P3 manteve sua opinião de que a imagem se movia, assim como P2. P1, porém, acreditava que a imagem não se movia.

Percebeu-se que P3 não compreendeu o efeito de paralaxe, comparando a posição da imagem com o fundo da sala, móveis, bancos e mesas. Ele julgou que a imagem se movia. P1 concluiu que a imagem não se move, mas é possível ver partes da imagem em diferentes porções ao mudar de posição.

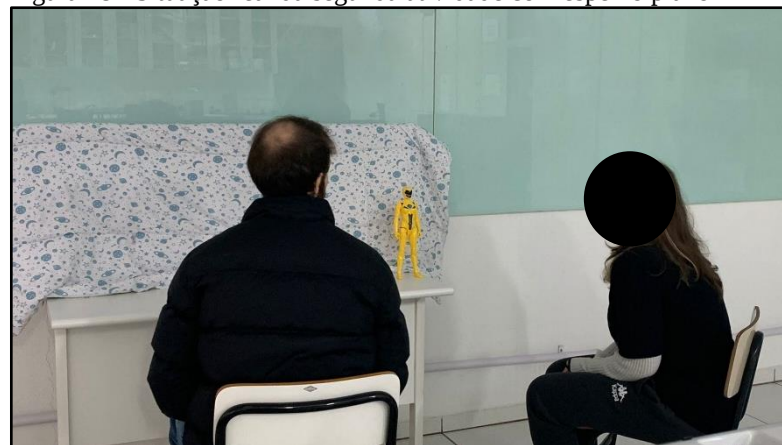
Propôs-se então uma situação em que o boneco e o participante estariam afastados do espelho, com o pesquisador à frente do espelho, conforme arranjo representado na Figura 17 e situação real mostrada na Figura 18. Perguntou-se se, ao descobrir o espelho, o participante veria a imagem. P2 afirmou que veria apenas parte do boneco, o que estava mais próximo do espelho. Ela se deslocou para o centro do espelho para ver mais do objeto. Quando perguntado se o pesquisador veria o objeto, P2 disse que não, mas surpreendeu-se ao vê-lo da perspectiva do pesquisador.

Figura 17 - Segunda atividade com espelho plano. O professor solicita ao participante avaliar quem veria a imagem



Fonte: Adaptado de Goldberg (1986).

Figura 18 - Situação real da segunda atividade com espelho plano



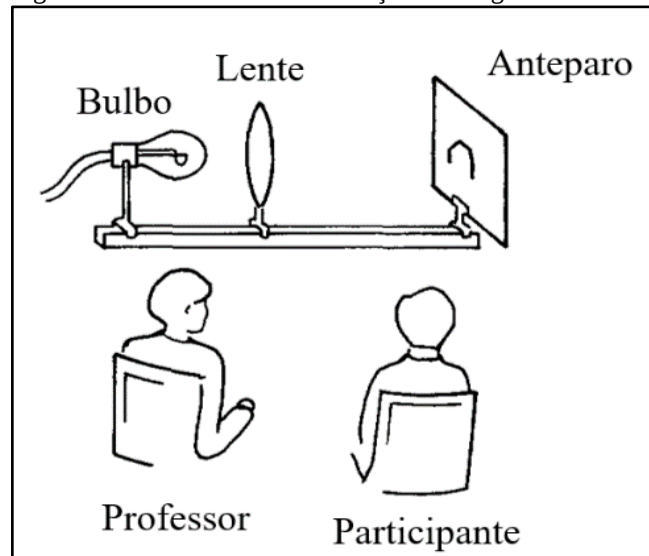
Fonte: Autor (2024).

P3, utilizando a lei da reflexão, concluiu corretamente que ele não veria o boneco, mas o pesquisador sim. P1 teve dificuldade, mas, por fim, concluiu corretamente.

Após, realizamos a atividade de formação de imagem em lentes convergentes, conforme arranjo representado na Figura 19 e situação real mostrada na Figura 20. Inicialmente, apresentei os detalhes da montagem experimental e a função de cada elemento. Neste momento, P3 perguntou como seria uma lente convergente, ao que lhe foi mostrado. Em seguida, perguntou-se o que aconteceria com a imagem formada no anteparo se este fosse removido. Comentaram que a imagem se tornaria borrada e continuaria seu trajeto no espaço, encontrando-se com o armário à frente. P3 trouxe o conceito de fótons, explicando que a

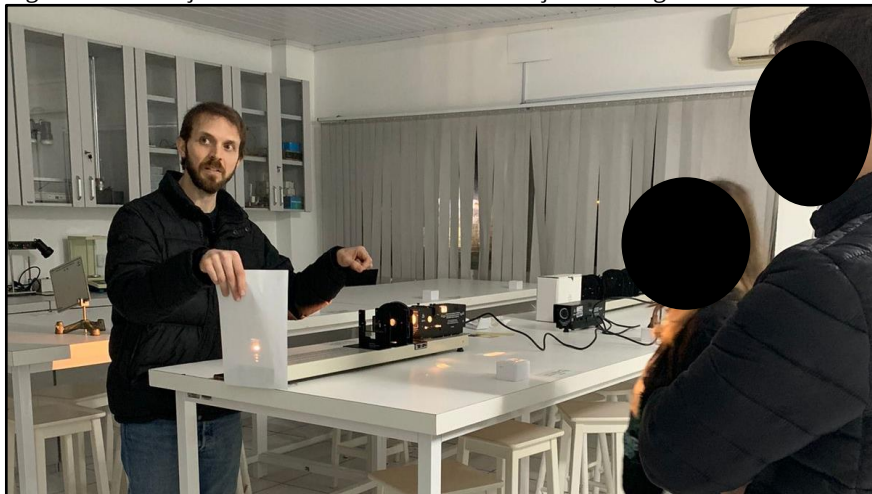
imagem ainda estaria ali, mas que esses fótons continuariam seu trajeto e a imagem ficaria borrada. Os outros concordaram.

Figura 19 - Atividade sobre formação de imagens



Fonte: Adaptado de Goldberg (1987).

Figura 20 - Situação real da atividade sobre formação de imagens



Fonte: Autor (2024).

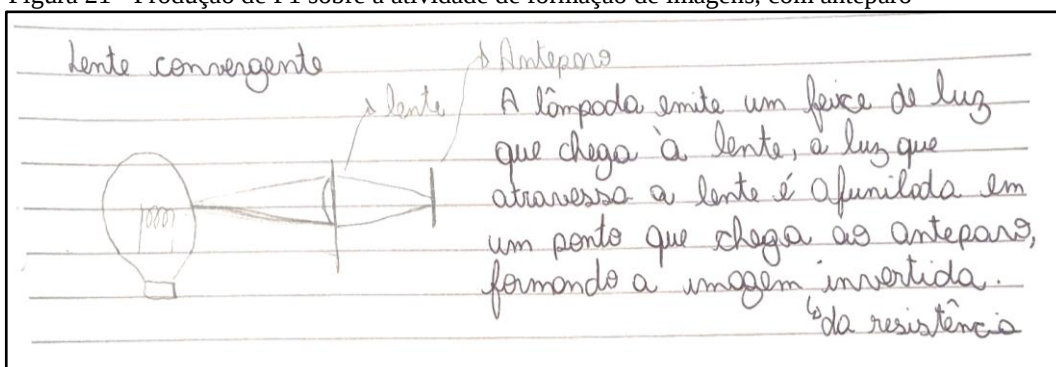
Quando questionados sobre cobrir metade da lente com um cartão opaco, P2 acreditou que metade da imagem ficaria apagada, sem saber qual metade. P3 e P1 concordaram que a imagem perderia parte do brilho.

Quando perguntados sobre mover a tela em direção à lente, acertadamente disseram que a imagem ficaria borrada. P2 ficou em dúvida sobre as possibilidades de aumento ou diminuição da imagem.

Perguntou-se o que aconteceria se observassem a imagem com os próprios olhos na posição em que a imagem estava projetada no anteparo, e todos concordaram que veriam a imagem. Ao observar, não viram nada e ficaram surpresos. Ao afastarem-se e observarem a uma distância maior, perceberam a imagem, pois não é necessário a presença de um anteparo para a formação da imagem real.

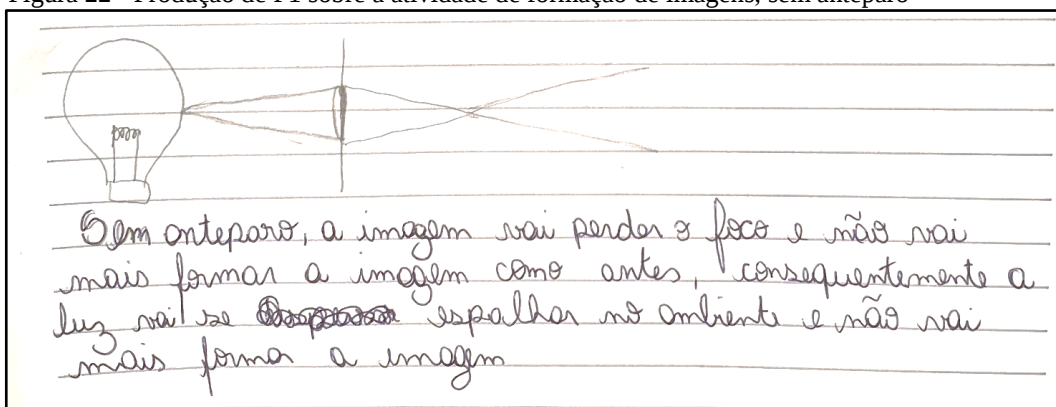
Questionados sobre a posição da imagem, identificaram-na próxima à lente ou na posição da fonte de luz onde o bulbo estava localizado. Foi requisitado que realizassem um diagrama esquemático sobre a posição da imagem e dos raios de luz no experimento. A resposta de P1 pode ser vista na Figura 21 e Figura 22 e representa a ideia inicial do grupo: “Sem anteparo, a imagem vai perder o foco e não vai mais formar a imagem como antes. Consequentemente, a luz vai se espalhar no ambiente e não vai mais formar a imagem.”

Figura 21 - Produção de P1 sobre a atividade de formação de imagens, com anteparo



Fonte: Autor (2024).

Figura 22 - Produção de P1 sobre a atividade de formação de imagens, sem anteparo



Fonte: Autor (2024).

Após discussão em grupo, auxiliados pelo pesquisador e interpretando os diagramas de P1, concluíram que a imagem real estava localizada na posição em que estivera o anteparo. Conclui-se que houve uma tendência em posicionar a imagem na lente ou na fonte de luz e

difficuldade em compreender que uma imagem real não necessita de anteparo para existir e que pode ainda servir de objeto (imagem aérea) para a lente do olho.

Para ilustrar a dinâmica da aula e a percepção dos participantes em relação aos tópicos abordados, o Quadro 8 representa os tópicos abordados nas perguntas feitas durante o encontro e um breve exemplo das respostas dos participantes.

Quadro 8 - Tópicos abordados nas perguntas feitas durante o terceiro encontro e exemplos das respostas dos participantes

Tópico	P3	P2	P1
Desenho de paisagem e ponto de fuga	Menciona o ponto de fuga e sua experiência com desenho técnico.	Teve aula de desenho técnico e contato com a técnica do ponto de fuga.	Não teve aula de desenho técnico.
Posição da imagem do boneco no espelho	Acredita que a imagem vai mudar de posição ao trocar de lugar com o pesquisador.	Pensa que a imagem mudaria para a direita ao trocar de lugar com o pesquisador.	Afirma que a imagem não muda de posição, mas verá outra face do boneco.
Visualização da imagem após cobrir o espelho	Afirma que não verá a imagem.	Acredita que verá uma parte do boneco, mas não tem certeza.	Afirma que não verá a imagem.
Formação de imagens em lente convergente – remoção do anteparo	Acredita que a imagem ficará maior e mais ao fundo.	---	Acredita que a imagem ficará borrada e com menor intensidade. Defende, inicialmente, a necessidade de o anteparo para a imagem existir.
Efeito de cobrir metade do feixe de luz	Acredita que a imagem permanecerá, mas com metade da intensidade.	Acha que cobrir metade do feixe apagaria parte da imagem, mas não sabe qual parte.	Concorda que a intensidade da imagem diminui.
Percepção da posição da imagem aérea	Considera que a imagem se forma na superfície da lâmpada.	Concorda que a imagem se forma atrás da lente.	Sugere que a imagem se forma atrás da lente.

Fonte: Autor (2024).

6.3.4 Relato do Quarto Encontro - 11/07/2024: O Predomínio do Mecanicismo - Óptica nos Séculos XVII e XVIII

O encontro iniciou com uma pergunta motivadora. Pedi para que comentassem sobre a seguinte afirmação: “A luz é um conjunto de partículas. Isso se conclui, pois ela sofre reflexão, refração, composição, divisão e movimento no tempo, mas especialmente por se propagar em linhas retas e ser parada por um obstáculo.” A partir daí, eu pretendia recuperar as concepções deles sobre a natureza da luz e comparar com concepções anteriores abordadas nos outros encontros.

Em seguida, revisamos a ideia de Kepler sobre a natureza da luz, especialmente com relação a ela ser uma emanção divina e imaterial. Prosseguimos com as teorias de Descartes

e Newton. A primeira, propunha a luz como pressão ou movimento de um fluido mecânico; e a segunda, como impacto de projéteis, influenciado pelo atomismo grego.

Antes de apresentar as teorias de Descartes sobre reflexão e refração, introduzi sua concepção de meio mecânico, ausente de vácuo e preenchido por três categorias de matéria: primária, secundária e terciária. Este é um dos fundamentos, conjuntamente com o seu conceito de *conatus*, da sua teoria da luz.

Ainda, fiz duas perguntas para os participantes, ambas com o objetivo de revelar a noção deles sobre a natureza da luz e sua interação com a matéria, além dos limites de reflexão, intensidade e outros fenômenos relacionados que pudessem lembrar, como reflexão interna total. Além de ser um preparativo e verificação de concepções espontâneas para introduzir o tema do próximo encontro: a interação da radiação com a matéria e a existência e comportamento dos fótons.

1. Como você avalia a capacidade de um espelho de refletir a luz que incide sobre ele? Quais fatores você considera que influenciam essa capacidade? Até que ponto acredita que um espelho pode efetivamente refletir a luz?

2. Na sua opinião, os fenômenos de refração e reflexão da luz são mutuamente exclusivos? Ou seja, a ocorrência de um exclui a possibilidade do outro? Ou você acredita que eles podem coexistir sob certas condições?

Prosseguimos com a explicação sobre Descartes, sua teoria da reflexão e da refração, suas analogias mecânicas, aproximações com algumas teorias gregas para a visão, a dedução da lei do seno da refração. Foi dada especial atenção às tentativas anteriores de obtenção desta lei, desde Ptolomeu, até o discutível plágio da mesma lei primeiramente proposta por Snell.

Em seguida, iniciamos a apresentação sobre Newton, partindo desde suas notas filosóficas, que era o seu caderno de anotações quando ingressou no Trinity College e iniciou seus estudos formais, inclusive sobre a natureza da luz. Procurei demonstrar como Newton cria na natureza corpuscular da luz desde esta época, permanecendo assim até o fim da vida, ao custo de inserir modificações *ad hoc* em suas teorias para a luz, ao mesmo tempo em que se recusava em aceitar a validade da teoria ondulatória proposta por Huygens.

Também abordei a motivação de Newton em trabalhar com prismas e lentes, pois necessitava-se, à época, de uma solução para a aberração cromática dos telescópios refratores. Sua solução, o telescópio refletor, rendeu-lhe o ingresso na Royal Society. Neste contexto, discuti a trajetória de Newton até propor o *experimentum crucis*, destacando seus questionamentos sobre o formato alongado do espectro solar e suas conclusões sobre a natureza da luz: cada cor tem um grau de refrangibilidade diferente; as cores são propriedades

inatas dos raios de luz, não criadas pelo prisma; a luz branca é uma mistura de raios de diferentes cores.

Na análise epistemológica de suas teorias abordei a separação das abordagens física e metafísica na óptica e a superação do conhecimento unitário por Newton, que buscava desenvolver teorias que pudessem ser falseadas. A metáfora da grande máquina ou mecanicista também foi abordada e mostramos como os próprios Descartes e Newton tornaram-se suas vítimas, ao usarem essa metáfora com maestria, mas confundindo interpretações com a realidade. Entretanto, apesar das limitações, o mecanicismo representou um rompimento significativo com o espírito científico anterior.

Por fim, revisitamos uma pergunta do segundo encontro, baseada na Figura 10, de uma maneira diferente: Como você acredita que seria a experiência de observar a luz em uma situação em que existisse apenas você, a luz e o vácuo? Você considera que a visibilidade da luz depende de fatores como o meio em que se propaga ou a interação com os olhos do observador e objetos materiais?

No Quadro 9, seguem as respostas de P1 no encontro 2 e no encontro atual, pode-se notar uma clara diferença entre elas.

Quadro 9 - Comparação entre as respostas de P1 fornecidas em diferentes encontros

Encontro 2	Encontro 4
Ambos os observadores irão enxergar a imagem, a lente fará com que os raios do objeto formem a imagem, mas a retina terá o mesmo papel.	Nenhum dos observadores vê o objeto. Se os raios de luz não chegam no olho do observador 1, ele não consegue ver o objeto, pois ele não vê a fonte de luz e nem uma reflexão dela. O observador 2 também não vê, por mais que a imagem exista, não tem nada para refletir ela, fazendo com que a luz não chegue nos olhos.

Fonte: Autor, 2024.

Para ilustrar a dinâmica da aula e a percepção dos participantes em relação aos tópicos abordados, o Quadro 10 representa os tópicos abordados nas perguntas feitas durante o encontro e um breve exemplo das respostas dos participantes.

Quadro 10 - Discussões sobre a natureza da luz e reflexão/refração, exemplos das respostas dos participantes durante o quarto encontro

Tópico	P3	P2	P1
Atividade “A luz é um conjunto de partículas”	“Dependendo do teste feito, a luz comporta-se de certas formas, às vezes como partícula e outras como onda. [...] A luz aparenta ser uma partícula.”	“Acredito que ela pode sim ser uma partícula, [...] ela também tem comportamento ondulatório, como apresenta a dualidade onda-partícula.”	“Não são suficientes, [...] além de onda, ao possuir a ‘habilidade’ de arrancar elétrons, como feito por Einstein, [...] precisa ser partícula.”
Reflexão da luz por um	“Acredito que o espelho	“O espelho reflete o feixe	“Acredito que um espelho

espelho	não emite perfeitamente a luz, sendo que uma pequena parte ele absorve. [...] espelho deveria ser 100% plano, sem nenhuma rugosidade.”	de luz totalmente, [...] a luz será dispersada [...] sem afetar a definição da imagem.”	polido reflita toda a luz que incide sobre ele, [...] espelho com um material de qualidade inferior, possa não refletir com toda a eficiência.”
Coexistência de reflexão e refração	“Acho que cada fóton de luz reage de uma forma, um irá refletir e outro irá sofrer a refração [...] mas cada fóton resultará em apenas uma das opções.”	“Acredito que se a luz se comporta como partícula e onda, os dois fenômenos podem coexistir; [...] uma parte do feixe de luz ser refletido e sofrer uma refração.”	“É possível que os dois fenômenos aconteçam, mas em momentos diferentes. [...] Isso pode acontecer com superfícies que não sejam totalmente reflexivas, como a água.”
Visibilidade da luz no vácuo, Figura 10	“A luz não precisa de um meio para se transmitir, [...] sem um anteparo, não será visto a imagem, nem o objeto, pois a luz não está indo em direção aos olhos.”	“O observador 1 ainda não vê o objeto, já o observador 2 não consegue ver a imagem do objeto, pois ela não tem um anteparo [...] imagem é dispersada no ambiente.”	“Nenhum dos observadores vê o objeto. Se os raios de luz não chegam no olho do observador 1, [...] O observador 2 também não vê, [...] não tem nada para refletir ela.”

Fonte: Autor (2024).

Relato da atividade de sombras coloridas

A atividade foi realizada no início do encontro desse dia. Consistiu em uma dinâmica para os participantes descobrirem as cores das lâmpadas utilizadas para gerar as sombras coloridas no anteparo, ver Figura 23. A fonte de luz consistia em uma lâmpada vermelha, uma azul e uma verde, as quais os participantes não tinham acesso visual, apenas ao seu efeito no anteparo, a formação de diversas cores.

As sombras foram inicialmente geradas por meio de um pincel, de maneira que três sombras de diferentes cores apareceram no anteparo. A partir daí, foi pedido a eles que determinassem o número de lâmpadas presentes na fonte de luz. Alguns disseram três, mas acharam muito fácil e procuraram por um outro número, como quatro, ou diferentes combinações de lâmpadas, como fitas de LED. Entretanto, eram apenas lâmpadas independentes e não fitas de LED ou algo do tipo.

Figura 23 - Momento de interação em grupo durante atividade de sombras coloridas



Fonte: Autor (2024).

Perguntei quais as cores das lâmpadas. Após definirem os nomes das cores no anteparo, como ciano, rosa e amarelo, eles começaram a conversar entre si para chegarem a alguma conclusão. Pediram que fosse possível utilizar lápis de cor para fazer as combinações de cores, e foi autorizado. As produções mostradas nas Figura 24 e Figura 25 são fruto das discussões em grupo dos participantes.

Figura 24 - Detalhe da produção dos participantes, supostas cores primárias dispostas em um círculo cromático



Fonte: Autor (2024).

Figura 25 - Experimentações com sobreposições de cores utilizando lápis de cor. A tampa do tubo de cola foi utilizada para simular o elemento causador de sombra



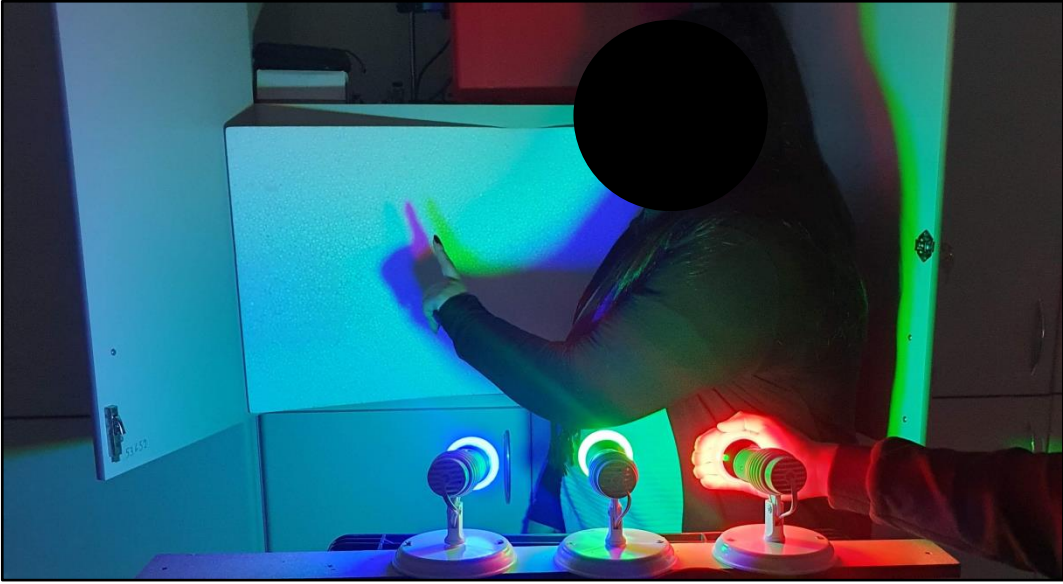
Fonte: Autor (2024).

Durante a dinâmica, os participantes mostraram dúvida sobre o número de lâmpadas, tendendo para a ideia de quatro lâmpadas em vez de três. Sobre a combinação das cores, o amarelo chamou bastante atenção deles, e defenderam desde o início que deveria haver uma lâmpada amarela. A existência dessa lâmpada amarela causou dificuldade para explicarem a cor verde, o que os levou a inserir uma quarta lâmpada no sistema. Várias cores foram sugeridas conforme o diagrama e os rascunhos que fizeram no momento.

Percebendo a dificuldade em unir o amarelo com as demais cores e o verde. Os participantes, influenciados pelo pesquisador, começaram a considerar as cores azul e vermelho. Entretanto, o amarelo e verde permaneceram um mistério. Seguindo a sugestão de P3, utilizamos um estojo escolar em vez do pincel para realizar as sombras, resultando na aparição de sombras pretas.

Notando a dificuldade em chegar a uma conclusão, intervi para direcioná-los a pensar sobre a propagação retilínea da luz, questionando por que uma sombra é gerada e qual é a composição de cada uma daquelas cores. Partindo do pressuposto de que eles já tinham como certo o número de três lâmpadas, e após algumas experimentações com as cores, evidenciando a cor verde, perceberam que o sistema era formado pelas cores verde no centro e vermelha e azul nas bordas, sem a necessidade de uma quarta cor. A Figura 26 mostra os participantes interagindo de forma lúdica, após concluída a atividade.

Figura 26 - Participantes em momento lúdico, após concluírem a atividade



Fonte: Autor (2024).

Um ponto interessante, posteriormente discutido no mesmo encontro, foi o quanto o conhecimento cotidiano (espontâneo) deles sobre a composição de cores, especialmente em relação ao amarelo, atrasou e atrapalhou a chegada a uma conclusão baseada no princípio da propagação retilínea da luz e na combinação das cores. Eles concluíram que, apenas com o conhecimento de propagação retilínea da luz e de que diferentes cores formariam uma terceira, poderiam ter chegado mais rapidamente à resposta correta.

Esse é um exemplo de como conhecimentos cotidianos podem, em vez de nos ajudar, nos impedir de perceber os princípios reais de um fenômeno, como a propagação retilínea e a combinação de cores adequada. Neste caso, ao considerarem a cor amarela como primária, condição válida para pigmentos, deixaram de avaliar que, em combinações de luzes coloridas, o verde ocupa o lugar do amarelo como cor primária. O Quadro 11 exemplifica a dinâmica deste fenômeno durante a aplicação da atividade.

Quadro 11 - Efeitos dos conhecimentos espontâneos na compreensão da atividade prática sobre sombras coloridas

Tópico	P3	P2	P1
Confusão ao tentar aplicar o modelo RGB, misturando conceitos de síntese aditiva e subtrativa de cores	“O branco é a junção de tudo aí.” “Eu acho que ele [amarelo] não se forma.”	“O amarelo é uma cor primária? Ah, é. É, sim.” “O ciano, ele seria uma junção do amarelo e do azul, né?”	“O azul e o verde vai formar o ciano. Não, mas o amarelo se forma...” “Se a gente tiver o verde, a gente forma o azul e o amarelo.”
Como a cor amarela contribuiu para a confusão	“É que daí é capaz de ser enganado pela cor da sombra. [...] pensando [que a cor da lâmpada] que é a cor da sombra “	“Aí quando o cara colocou o negócio lá e veio um amarelo, eu fiquei... Ué, não era pra ser verde? Aí eu buguei.”	“Eu acho que seria talvez mais difícil da gente pensar, [...] a gente ficou muito preso no amarelo.”

Fonte: Autor (2024).

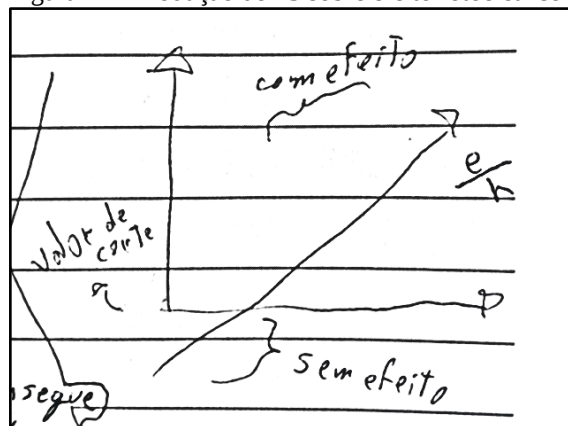
6.3.5 Relato do Quinto Encontro - 15/07/2024: Onda, Partícula, Onda-Partícula - O Início da Era Quântica

No quinto encontro, iniciamos com a pergunta provocadora: “Você já ouviu falar que a luz pode se comportar tanto como uma onda quanto como uma partícula? O que isso significa para você?” Essa pergunta estimulou os participantes a refletirem sobre a dualidade da luz e a compartilharem suas percepções iniciais.

Prosseguimos com o encontro, abordando os desafios da teoria corpuscular de Newton em explicar os fenômenos de dupla refração e a formação de cores em placas finas e difração; e o sucesso da teoria ondulatória de Huygens em explicar estes mesmos fenômenos, o que propiciou o seu ressurgimento.

Continuamos tratando da unificação da óptica e do eletromagnetismo, questionando-os com outra pergunta: “Você acha que a luz precisa de um meio para se propagar como o som precisa do ar?” Todos os participantes concordaram que a luz não precisa de um meio para se propagar, utilizando o exemplo de que ela viaja pelo vácuo como evidência. A discussão continuou com a introdução do modelo mecânico de unificação de Maxwell e a teoria de Maxwell, abrindo espaço para as primeiras discussões quânticas. Perguntei se já haviam ouvido falar sobre o efeito fotoelétrico e o que pensavam que era. Pedi que escrevessem suas respostas, e P1 mencionou que já havia ouvido falar sobre o efeito fotoelétrico em um vídeo no YouTube do Pedro Loos, que explicava os sensores das portas dos elevadores. P3 procurou evidenciar o papel da frequência de corte: “O efeito fotoelétrico é, salvo engano, quando uma certa frequência da luz consegue emitir elétrons de um metal”. O diagrama que acompanhou a sua explicação é mostrado na Figura 27.

Figura 27 - Produção de P3 sobre efeito fotoelétrico



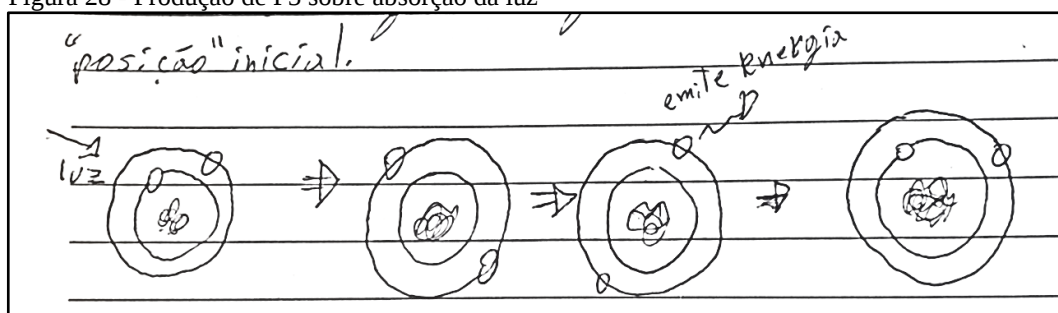
Fonte: Autor (2024).

Com o objetivo de descrever o estado da arte da ciência que precedeu a hipótese do quantum de luz proposta por Einstein, abordamos a descoberta do efeito fotoelétrico e importantes explorações realizadas por Wilhelm Hallwachs, J. J. Thomson, Philip Lenard, Albert Einstein e posteriormente por Robert Millikan. Abordamos a radiação de corpo negro e a solução de Planck, bem como as propostas estatísticas de Einstein e de Broglie, finalizando com a mecânica ondulatória de Schrödinger.

Iniciamos então uma análise epistemológica, discutindo: a intuição de Einstein e o conhecimento aproximado, em que ele via a descrição quântica como abstrata, não uma propriedade fundamental; o rompimento com o cartesianismo, e todos os outros sistemas anteriores, que buscavam uma realidade substancial, imutável e irreduzível, representada pelo átomo; a relação entre o olho e a luz no contexto da fenomenotécnica de Bachelard.

Antes de introduzir o texto selecionado para a aula, fizemos uma última pergunta: “O que significa para você o termo absorção, quando falamos de fótons e materiais?” Os participantes escreveram suas respostas, refletindo sobre a interação entre a luz e a matéria. Todos demonstraram compreensão de que a luz pode ser absorvida pelos materiais. Surgiram também concepções de que absorção está relacionada com a mudança de orbital dos elétrons ao receberem energia dos fótons, como pode ser verificado na resposta de P3: “Entendo o termo absorção quando um elétron recebe a energia da luz, mudando seu orbital até ele mesmo emitir essa energia de alguma forma e voltar à sua “posição” inicial”. O diagrama que acompanhou esta explicação pode ser visto na Figura 28.

Figura 28 - Produção de P3 sobre absorção da luz



Fonte: Autor (2024).

Em seguida, distribuímos o texto “Montando em um Fóton”, no qual o autor discute a interação de três fótons – Dr. Gamma (raio X), Prof. Beta (luz visível) e Dean Alpha (ondas de rádio) – com três materiais: metal (folha de cobre), cerâmica (placa de vidro) e polímero (folha de polietileno). Os principais fenômenos abordados foram a absorção, a difração e o efeito Compton.

Para ilustrar a dinâmica do encontro e a percepção dos participantes em relação aos tópicos abordados, o Quadro 12 representa os tópicos abordados nas perguntas feitas durante o encontro e um breve exemplo das respostas dos participantes.

Quadro 12 - Tópicos abordados durante o quinto encontro e exemplos das respostas dos participantes

Tópico	Respostas dos Participantes
Efeito Fotoelétrico	P3: “O efeito fotoelétrico é, salvo engano, quando uma certa frequência da luz consegue emitir elétrons de um metal.” - Compreensão básica do efeito fotoelétrico, relacionando-o com a emissão de elétrons devido à luz de uma certa frequência. P2: “O efeito fotoelétrico é basicamente a ação de uma luz agindo sobre o metal, os fótons de luz são refletidos pelo metal. Esse fenômeno só pode ser explicado com a teoria corpuscular da luz.” - Concepção incorreta, confundindo reflexão com o efeito fotoelétrico, mas reconhecendo a importância da teoria corpuscular da luz. P1: “Antes da [de cursar a graduação em] física, no elevador. Como o elevador funcionava. É, da porta. Que a porta, se tem alguma coisa barrando, ela não vai fechar. Não tem alguma coisa a ver com o efeito fotoelétrico? O sensor lá, não?” - Conexão correta entre o efeito fotoelétrico e sensores de elevador. “Os fótons da luz UV atingem uma placa de metal, eles transferem sua energia para os elétrons, que recebem a energia e são arrancados da placa, pois a energia de ligação é rompida.” - Compreensão correta do efeito fotoelétrico, descrevendo a transferência de energia dos fótons para os elétrons.
Comportamento Dual da Luz e do Elétron	P3: “Eu entendo que a luz é apenas uma ‘coisa’, mas que ainda não foi dado um ponto final sobre o que ela é. Ela pode se comportar de 2 maneiras, ou como onda, ou como partícula, mas não as duas ao mesmo tempo, variando conforme o experimento.” - Concepção de que a luz não pode manifestar as duas naturezas simultaneamente. P2: “Eu imaginava, porque quando teve a junção das duas coisas [refere-se à unificação do eletromagnetismo], né, eu já imaginei que seria mais ou menos o mesmo comportamento.” - Entendimento de que luz e elétron poderiam compartilhar comportamento dual. “Acredito que essa dualidade depende de como a observamos, em qual experimento.” - Concepção de dualidade como dependente da observação. P1: “Significa que, dependendo do experimento, a luz vai se comportar de determinada maneira.” - Entendimento da dualidade com base em experimentos específicos.
Redução da Velocidade da Luz em Meio Material	P3: “Ele entra assim e faz tum-tum-tum-tum.” - Concepção simplista de colisões de partículas retardando a luz. P2: “Tipo ela entrando na água e perdendo a aceleração dela.” - Ideia de que a luz perde velocidade como uma partícula entrando em um meio mais denso. P1: “O meio mais denso vai fazer com que a luz se propague mais devagar.” - Compreensão de que a densidade do meio influencia a velocidade da luz.
Reflexão da Luz no Espelho	P3: “Mas talvez... Não sei se 100%. Porque para fazer o espelho tem que ter um material atrás. Um vidro, eu acho.” - Ideia de que o espelho reflete a maior parte da luz, mas pode absorver uma parte. P1: “[O fóton chega no material...] E imediatamente já é ejetado.” - Concepção de absorção e reemissão de fótons pelo material.
Absorção de Fótons pelo Material	P3: “Entendo o termo absorção quando um elétron recebe a energia da luz, mudando seu orbital até ele mesmo emitir essa energia de alguma forma e voltar à sua ‘posição’ inicial.” - Concepção de absorção como um processo de transição eletrônica. P2: “Passar por um objeto e se manter lá, como a luz em superfícies pretas.” - Compreensão intuitiva da absorção como um processo em que a luz é retida. P1: “Quando o fóton atinge uma superfície, ele é capaz de excitar os átomos daquele material, pois os elétrons absorvem a energia do fóton.” - Conhecimento de que a absorção está relacionada à excitação de elétrons.

Fonte: Autor (2024).

6.3.6 Relato do Sexto Encontro - 18/07/2024: Entrevistas Semiestruturadas

No sexto encontro, foi realizado o encerramento do curso, com a condução das entrevistas semiestruturadas individuais com os participantes. Esse formato de entrevista permitiu revisar tópicos abordados ao longo do curso, possibilitando uma compreensão mais profunda do “mundo do participante”, como descrito por Yin (2016). Nesse contexto, foi possível observar que P1 refletia cuidadosamente sobre as perguntas, chegando, inclusive, a mudar de opinião ao final de seu raciocínio, o que evidenciava o trânsito de seu pensamento entre diferentes escolas filosóficas. P2, por sua vez, adotou um tom mais descontraído, trazendo exemplos práticos de sua vivência, como um experimento sobre a influência de diferentes cores de iluminação no crescimento de plantas, realizado em outra disciplina do curso de licenciatura. Com P3, a dinâmica foi mais técnica e direta, o que permitiu ao entrevistador explorar de maneira mais profunda sua compreensão de determinados conceitos científicos.

Os principais tópicos discutidos durante as entrevistas, bem como exemplos de respostas dos participantes, estão apresentados no Quadro 13. Ao final das entrevistas, foi perguntado aos participantes quais foram os momentos mais marcantes do curso e os motivos. Suas respostas podem ser encontradas no Quadro 14.

Quadro 13 - Principais tópicos abordados durante as entrevistas e exemplos de respostas dos participantes

Tópico	P1	P2	P3
Diferença entre luz solar e artificial	“A luz solar, por exemplo, [...] aquece por causa das... parte do infravermelho [...] Nas luzes de uma fonte elétrica, por exemplo, a gente não sente isso.”	“A primeira coisa é a cor [...] as LEDs que a gente vê hoje em dia são mais esbranquiçadas [...] A luz do sol não é necessariamente branca [...] Também as LEDs não esquentam.”	“A luz em si seria igual. A única diferença é que [...] no sol tem outros raios também que podem afetar [...] a luz seria igual, talvez o comprimento de onda ali fosse um pouco diferente.”
Alcance da luz (dia/noite)	“De noite [...] vai parecer que ela é... sei lá, mais intensa [...] na verdade é só porque não tem outras fontes poluindo o lugar.”	“Não acho que as duas alcançam a mesma distância. A diferença é que é mais difícil da gente ver durante o dia.”	“[...]se eu imitasse a luz do sol, jogando a mesma quantidade de luz em tudo, sendo dia ou noite, eu veria da mesma forma.”
Sombra	“Quanto mais próximo ao meu anteparo, ele vai ser mais definido o contorno. Quanto mais longe [...] mais borrado.”	“Acho que depende da distância que a gente está do lugar onde está tendo a sombra. Se estamos muito perto, a sombra vai ser mais [...] definida.”	“A sombra seria onde está recebendo uma unidade a menos de luz.”
Velocidade da luz	“Para a gente calcular a distância de planetas, outras estrelas [...]. [...] a gente consegue utilizar isso com a velocidade da luz.”	“Acho que [...] ela é bem rápida [...]se eu tentar ligar para uma pessoa no Japão, [...] o celular dela vai tocar quase instantaneamente, acredito.”	“Pra ter noção também, talvez, de distância [...]. [...] se você receber ela de volta em tanto tempo... [...] você vai saber que está a uma distância certa ou aproximada.”

Interação da luz com superfícies (força)	“Sim [...] do efeito compton que [...] os fótons da luz vão atingir os átomos [...] Mas como é um tamanho muito pequeno [...] não vai chegar a causar algum impacto grande.”	“Se fosse empurrar, ela esquentaria o suficiente para algo se mover [...] Não parece uma força física forte o suficiente.”	“Se fosse ali da dualidade [...] da partícula [...] ela conseguisse causar alguma força [...] mas eu não sei.”
---	--	--	--

Fonte: Autor (2024).

Quadro 14 - Novidades marcantes do curso na perspectiva de cada participante

Tópico	P1	P2	P3
Sombras coloridas	“Gostei bastante do experimento que a gente fez com as sombras coloridas.”	“Aquele das três luzes, nossa! Eu já tinha visto, só que não com as sombras.”	“O principal foi aquela luz amarela [...] tinha três fontes de luz [...] dar o branco mais o amarelo [...] achei bastante interessante.”
Velocidade da luz em materiais	“[...] na última aula [...]. Quando tu fez aquela pergunta sobre por que que a luz, ela tem diferentes velocidades em determinadas distâncias (dentro do material e fora dele).”	-	-
Formação de imagens com lentes	-	“Sobre aquela parte de tampar metade da lente [...]. Eu achava que ia aparecer meia imagem, com certeza. [...] Foi um negócio que fiquei pensando muito tempo depois ainda.”	-

Fonte: Autor, 2024.

7 A EVOLUÇÃO HISTÓRICA, EPISTEMOLÓGICA E ONTOLÓGICA DA ÓPTICA

Neste capítulo, são apresentados a primeira parte dos resultados e discussões da pesquisa, organizados em duas seções principais. A primeira seção aborda a evolução histórica e epistemológica da Óptica, conforme os fundamentos propostos por Bachelard. Esta análise é resultado direto do estudo histórico e epistemológico realizado no Produto Educacional.

A segunda seção, também derivada do Produto Educacional, apresenta a evolução histórica do perfil conceitual da Óptica, conforme a proposta de Mortimer. Essa abordagem destaca as transformações ontológicas relacionadas aos temas explorados no campo da Óptica.

7.1 A evolução histórica e epistemológica da Óptica, conforme proposto por Bachelard¹⁵

Bachelard (1978) defende que o progresso do conhecimento científico ocorre no sentido de um racionalismo crescente, passando por estágios intermediários bem estabelecidos. Além disso, os conceitos de uma determinada área do conhecimento científico podem ser categorizados dentro desses estágios de desenvolvimento. Esses estágios de evolução do conhecimento são denominados escolas filosóficas. Para abarcar a evolução do conceito de luz ao longo da história da Óptica, adotamos as seguintes escolas: realismo ingênuo, empirismo claro e positivista, racionalismo clássico, racionalismo completo e racionalismo discursivo.

A primeira escola, denominada realismo ingênuo, expressa a definição mais simples e grosseira do conceito, não há provas subsidiando as conclusões. Ela é inata, não é necessário que seja ensinada. Neste sentido, o realismo ingênuo também pode ser relacionado com as concepções advindas da experiência primeira, aceitas sem questionamento. Relaciona-se com o surgimento espontâneo do conceito de fogo visual na sociedade grega, influenciando suas teorias da visão. Essa teoria propunha que o olho emitia um raio de luz que inspecionava o objeto a ser visualizado, estabelecendo um papel secundário para a luz no processo da visão. Rejeitando a ação à distância, essa abordagem sugeria a necessidade de algum tipo de contato entre o olho do observador e o objeto. A popularidade dessa crença era tão ampla que aparece em poesias e peças de teatro, mesmo antes do surgimento da filosofia. Alcmeão de Crotona

¹⁵ Uma análise epistemológica mais profunda e abrangente sobre os conceitos abordados nesta seção pode ser encontrada no Produto Educacional fruto desta tese (ver capítulo 6).

afirmava que a existência do fogo ocular era comprovada pelo fato de que um golpe no olho provoca sensações visuais, como faíscas. A comparação do fogo visual com chamas ou com o fogo proveniente do sol também era comum.

Na segunda escola, o empirismo claro e positivista, existe a observação dos fenômenos com o objetivo de descrevê-los diretamente, sem avançar para especulações teóricas profundas. Essa abordagem valoriza a acumulação de descrições empíricas e a variação no número de observações para garantir a objetividade dos dados. É marcada pelas ideias dos atomistas e dos estoicos¹⁶. Nelas, ocorre uma evolução do conceito de fogo visual, seja por sua negação ou por sua sofisticação. A negação veio do atomismo, cuja teoria da visão baseia-se na ideia de que o objeto emite uma fina camada de átomos (um simulacro) que precisa entrar em contato com o olho para que a visão ocorra. Já os estoicos propuseram que o pneuma óptico, um meio senciente, se estenderia do centro de consciência do cérebro até o olho e, na presença de iluminação externa, até o objeto observado, conectando o olho ao objeto. Sob essa perspectiva, o astrônomo grego Hiparco descreveu o olho como uma “mão visual” (Squire, 2016, p. 17).

A terceira escola, denominada racionalismo clássico, caracteriza-se pela superação das escolas anteriores. Essa superação ocorreu com a primeira racionalização do processo da visão, realizada por Euclides, que aplicou a geometria euclidiana à óptica, resultando na geometrização do raio visual. Ptolomeu aprimorou os estudos de Euclides por meio de diversos recursos experimentais, aprofundando-se na investigação de fenômenos como refração e reflexão. No entanto, é importante destacar que os estudos sobre a natureza da luz e das cores não avançaram nesta fase.

Na quarta escola, o racionalismo completo, as noções elementares da escola anterior são multiplicadas através do desenvolvimento de técnicas matemáticas e a normalização da prática experimental, que passam a fundamentar as discussões sobre as teorias da luz. O extromissionismo é superado por Kepler. A metafísica deixa de ser aceita como pressuposto fundamental nas discussões científicas, a partir da abordagem cartesiana e consolidando-se

¹⁶ Pode-se considerar que as teorias dos atomistas e dos estoicos se aproximam dessa escola, especialmente no que diz respeito à tentativa de basear a visão em fenômenos observáveis, como a emanção material dos átomos ou a ação do pneuma óptico. Apesar de ambas as teorias terem uma lógica interna que objetivava explicar os fenômenos observados, as explicações ainda dependiam de uma observação empírica superficial e de ajustes ad hoc na medida em que novos fenômenos contraditórios surgiam. Portanto, a escolha por manter as teorias estoicas e atomistas dentro da escola filosófica do empirismo claro e positivista se justifica, pois persistia a superficialidade na compreensão dos fenômenos ópticos e a busca por diversos fenômenos para apoiar diferentes aspectos dessas teorias. Contudo, pode-se questionar essa categorização, pois os elementos especulativos presentes nas duas teorias sugerem uma tentativa de racionalização que transcende a simples descrição dos fenômenos observados.

com Newton, através de sua autodenominada filosofia experimental. Questões sobre a natureza da luz tornam-se mais relevantes, como a discussão sobre se ela é onda ou partícula.

A quinta escola, denominada racionalismo discursivo, é produto da racionalização teórico-instrumental em avançada maturidade, implica um rompimento com o pensamento expresso pelo cartesianismo e todos os outros sistemas anteriores, cujas metafísicas buscavam uma realidade substancial, imutável e irreduzível. Contém o conceito de luz como é compreendido atualmente: a luz como objeto quântico. Contudo, isso não significa que seja um conceito definitivo; ainda existem questões conceituais não resolvidas e que podem, conforme defende Bachelard (1978), inaugurar novas escolas filosóficas para acolher o novo conhecimento.

A seguir, no Quadro 15, apresentamos uma proposta de perfil epistemológico para o conceito de luz.

Quadro 15 - Proposta de perfil epistemológico para o conceito de luz

Escola filosófica	Descrição	Período aproximado¹⁷
Realismo ingênuo	Conceito de fogo visual na sua gênese, em que parece surgir de forma espontânea na sociedade grega.	Aparição na <i>Ilíada</i> , de Homero, escrita no século VIII a.C. Contudo, é provável que esta noção já existia antes.
Empirismo claro e positivista	A evolução do conceito de fogo visual, o surgimento das teorias do meio inerte e do meio “senciente”.	O século V a.C. marca o surgimento das teorias dos Atomistas. A influência do Estoicismo se deu até 200 d.C.
Racionalismo clássico	A geometrização do raio visual por Euclides e Ptolomeu, como o primeiro experimentador, são a primeira racionalização do processo da visão. Contudo, não se dedicaram em explicar a natureza da luz ou origem das cores.	III a.C. com Euclides e II d.C. com Ptolomeu.
Racionalismo completo	Luz como onda e luz como partícula. Inclui os desenvolvimentos provenientes do mecanicismo e das teorias ondulatórias, corroborados pelos avanços nos métodos matemáticos.	Kepler, século XVI, marca o início deste período. Huygens, século XVII e Newton, século XVIII são os exemplos máximos desta escola.
Racionalismo discursivo	Luz como objeto quântico.	Einstein, em 1905, com a hipótese do quantum de luz, até a atualidade.

Fonte: Autor, 2024.

¹⁷ As datas e os períodos são aproximados, não existe a intenção de demarcar rigidamente todas as transições entre as escolas filosóficas. Entendemos que diferentes perspectivas podem selecionar outras datas e eventos de ruptura.

7.2 A evolução histórica do perfil conceitual da Óptica, conforme proposto por Mortimer

Mortimer (2000) propõe que os conceitos científicos podem ser categorizados de acordo com o que ele denominou “perfil conceitual”. O aspecto que estrutura o perfil conceitual é de natureza ontológica, ou seja, relacionado à essência ou à natureza do conceito.

Historicamente, o conceito de luz passou por mudanças profundas, inclusive em sua camada ontológica. No Quadro 16, apresentamos uma proposta de perfil conceitual para o conceito de luz. A análise desse perfil destaca como a evolução do conceito reflete as transformações na compreensão científica ao longo da história. Inicialmente, a luz foi concebida em relação ao olho humano, com teorias baseadas no “fogo visual” e na interação direta entre o olho e o objeto. Essas teorias, com o tempo, foram substituídas por interpretações mais elaboradas, como a ideia de um meio inerte ou ativo influenciando a luz.

Com o avanço da ciência, a luz passou a ser entendida de forma independente do olho humano, com o auxílio de modelos matemáticos e experimentais. Esse progresso culminou na formulação de teorias que descrevem a luz como onda, partícula e, por fim, como objeto quântico, refletindo uma evolução significativa no entendimento de sua natureza ontológica.

A análise do perfil conceitual da luz é particularmente relevante para o ensino de óptica, pois permite que estudantes e educadores compreendam as múltiplas interpretações e os diferentes níveis de significado que os conceitos científicos podem assumir. Reconhecer essa evolução possibilita uma abordagem mais rica e contextualizada no ensino de Física, conectando os diferentes estágios do desenvolvimento científico aos seus contextos históricos e culturais.

Quadro 16 - Proposta de perfil conceitual para o conceito de luz

Aspecto ontológico	Categorias
Luz como parte de uma teoria da visão. A definição da sua natureza está atrelada ao olho.	i. Luz como fogo visual que parte do olho em direção ao objeto. Ou como combinação do fogo visual ocular com a luz diurna.
	ii. Luz é resultado da mediação de um meio inerte que transfere as qualidades do objeto ao olho. Negação do fogo visual.
	iii. Luz é resultado de um meio “senciente” que estende a percepção do olho até os objetos.
Luz como ente independente do olho. A sua definição é apresentada em linguagem matemática e seus limites de validade são verificados experimentalmente.	i. Luz como onda
	ii. Luz como partícula
	iii. Luz como objeto quântico

Fonte: Autor (2024).

8 A EVOLUÇÃO DO PERFIL EPISTEMOLÓGICO DOS PROFESSORES EM FORMAÇÃO INICIAL EM FÍSICA

Neste capítulo, são apresentados a segunda parte dos resultados e discussões da pesquisa, analisando-se os dados obtidos durante a aplicação da Proposta Didática (ver capítulo 6). A análise combina interpretação descritiva com explicações quando pertinente, focando em cada um dos encontros que abordaram a história da óptica.

Para elaboração desta seção, foram utilizadas três fontes principais: transcrições dos encontros, materiais escritos produzidos pelos participantes e o diário do pesquisador, este último permitindo o registro da convivência durante o trabalho de campo. Cada encontro é concluído com uma análise global.

Cabe ressaltar que os dados relativos ao primeiro encontro, que tratou do referencial epistemológico, corroboraram os aspectos discutidos no capítulo 9.

Conforme proposto por Yin (2016), os estudos de caso devem ser fundamentados em uma orientação teórica sólida, que sirva como guia para a análise dos resultados. Nesse sentido, foram pré-estabelecidas categorias de análise com base nos referenciais epistemológico e teórico descritos nos capítulos 2 REFERENCIAL EPISTEMOLÓGICO: A EPISTEMOLOGIA DE GASTON BACHELARD) e 3 REFERENCIAL TEÓRICO: A TEORIA DE DESENVOLVIMENTO COGNITIVO DE LEV S. VIGOTSKI). Essas categorias são identificadas ao longo das análises realizadas.

No campo epistemológico, foram utilizados os obstáculos epistemológicos propostos por Bachelard, que incluem: experiência primeira, conhecimento geral ou realista, obstáculo verbal, conhecimento unitário e pragmático, obstáculo substancialista e obstáculo animista. Além disso, foi empregado o conceito de perfil epistemológico.

No campo teórico, foram adotados conceitos como interação social, intervenção, mediação, signos, ferramentas, ascensão do abstrato ao concreto, conhecimento espontâneo e conhecimento científico, todos essenciais para interpretar as relações entre os sujeitos e o conhecimento na perspectiva da teoria histórico-cultural.

8.1 Análise sobre os dados do segundo encontro

8.1.1 As concepções sobre a natureza da luz

“O que vocês entendem por luz?” foi a primeira questão levantada pelo pesquisador aos participantes¹⁸. O Participante 3 (P3) respondeu: “É difícil descrever o que a luz é sem mencionar o que acontece com ela.” Na resposta escrita, o mesmo participante afirmou que a luz é uma forma de energia que se comporta ora como onda, como no experimento da dupla fenda, ora como partícula, como no efeito fotoelétrico. Além disso, destacou que “ela pode ser emitida com a mudança de orbitais de um elétron, [...] sofrer difração, fluorescência e outros fenômenos”.

O Participante 1 (P1) compartilhou a noção de que a luz é “uma forma de energia que se propaga por meio de ondas eletromagnéticas”, destacando que apenas alguns “comprimentos de onda são perceptíveis à visão humana”. A concepção da dualidade onda-partícula também foi mencionada, já que “a luz, apesar de ser uma onda, também apresenta ‘pacotes de energia’ que são partículas”.

P1 e P3 apresentaram conceitos alinhados ao racionalismo discursivo (**RD**), ao enfatizarem propriedades quânticas da luz, e também ao racionalismo completo (**RCo**), por reconhecerem o comportamento dual da luz, tanto como onda quanto como partícula.

O Participante 2 (P2) não respondeu diretamente sobre a natureza da luz, mas optou por defini-la com base em seus efeitos: “Luz é aquilo que nos faz enxergar cor, que é capaz de medir distâncias [...]”; além disso, “a luz do Sol faz as plantas crescerem e alimentar pessoas”. P2 também comentou sobre a relação entre diferentes cores de roupas e as temperaturas que elas atingem sob a luz do Sol, mencionando “[...] como escolher qual cor de roupa usar em um dia quente”.

Adicionalmente, destacou que a luz pode ser percebida como “algo divino, uma salvação, uma bênção”. A associação da luz a fenômenos perceptíveis no cotidiano, evidenciando uma concepção apegada ao concreto e às impressões imediatas, aproxima-se do realismo ingênuo (**RI**).

¹⁸ [RT] Resgate de conhecimentos espontâneos.

8.1.2 Diferenças e semelhanças entre luz natural e luz artificial

As similaridades e diferenças apontadas entre a luz natural (originária do Sol) e a luz artificial (proveniente de chamas ou fontes elétricas) podem indicar concepções sobre a natureza da luz e sua relação com o ambiente.

Quando questionado especificamente sobre a relação entre fogo e luz, P2 comentou que a principal similaridade seria a função de iluminar: “A luz do Sol ilumina. A luz da Lua ilumina. E o fogo ilumina.” Ele também mencionou o uso como fonte de calor: “Talvez o calor também, porque o Sol é quente. O fogo é quente.”

Ao ser perguntado se a luz é quente, o participante não soube responder. Nesse momento, P1 interveio, afirmando: “Não! A luz não.” Em seguida, P3 refletiu: “Pode gerar calor, talvez... ou não?”; ao que P1 respondeu: “Sim.” P3 concluiu: “A luz não é, mas pode gerar calor.”

P2 compreendeu o Sol e o fogo como fontes de luz e calor, mas não soube explicar como ocorre o processo de geração de energia na forma de calor. Além disso, espontaneamente inseriu a “luz da Lua” na mesma categoria das demais, o que pode indicar uma confusão entre fontes primárias e secundárias de luz. Esse raciocínio, baseado na experiência imediata, alinha-se ao realismo ingênuo (**RI**).

P1 prosseguiu aprofundando-se na origem da luz em cada tipo de fonte: “A luz do Sol. Ela... É uma fonte de luz primária. Então, ela vai emitir luz própria, assim como o fogo ou uma lâmpada. As reações que acontecem no Sol liberam energia, e a energia, ela é luminosa, mas também libera calor. [...] A luz do Sol que é quente?!” Percebe-se a dificuldade em concluir se é apropriado falar em temperatura para a luz.

P1 continuou: “Por exemplo, a luz solar emite realmente energia luminosa e energia térmica, só que isso não é necessariamente uma característica da luz.” Neste ponto, P3 interferiu: “[...] o fogo é uma reação química em cadeia no Sol, que produz luz e calor. Então ali a luz seria uma reação que aconteceria junto com o calor emitido pelo fogo.”

Em vez de compreender a luz e o calor como manifestações de energia transmitida por ondas eletromagnéticas de diferentes frequências, o raciocínio de P1 e P3 tendeu a estabelecer dois entes que compõem a radiação solar: um ente “luminoso” e outro “térmico”, evidenciando o **obstáculo substancialista**. A superficialidade com que os conceitos de calor, energia luminosa e térmica, além da reação química (ou nuclear), são apresentados, bem como a ausência de referências a aspectos eletromagnéticos ou quânticos da luz, inserem essa concepção no Empirismo Claro e Positivista (**ECP**).

8.1.3 O papel do olho no processo da visão

“Por que não somos capazes de discernir detalhes de objetos distantes?” Responder a essa questão implica considerar tanto aspectos fisiológicos do olho quanto fatores ambientais, como umidade ou poluição no ar. Ambos podem ser analisados à luz da óptica geométrica, além de estar relacionados à limitação dos nossos olhos em distinguir dois pontos próximos, uma capacidade denominada resolução angular.

Para objetos distantes, os detalhes finos podem estar separados por ângulos menores do que a resolução angular dos nossos olhos é capaz de perceber, fazendo com que apareçam indistintos.

P1 e P3 sugeriram que a perda de detalhes ocorre entre o objeto e o olho do observador, com P1 comentando que a luz “se dispersa”. P3 questionou: “A luz se perde no caminho, vai para outros lugares?”, e P1 acrescentou: “Talvez por causa da umidade do ar, ou algo assim?”. Foi então sugerido que desconsiderassem interferências do meio.

Nesse contexto, P1 propôs o conceito de intensidade: “A intensidade diminui também. [...] Quanto mais distante, menor a intensidade da luz, porque ela se espalha no meio.” Em seguida, sugeriu-se que a fonte fosse suficientemente intensa para ser visível. P1 mencionou então que tem miopia. Quando questionado sobre como essa condição afetava sua capacidade de discernir detalhes de objetos distantes, ele não soube responder.

Até aquele momento, as respostas apresentaram conceitos como dispersão, intensidade e miopia de maneira superficial, numa tentativa de introduzir novos conceitos que respondessem às provocações. A abordagem de P1 e P3 alinhou-se ao Empirismo Claro e Positivista (**ECP**).

P1, ao afirmar, com base em sua **impressão inicial (RI)**, que a miopia prejudica sua visão à distância, trouxe a discussão do *meio de propagação* da luz para a *fisiologia do olho*. Nesse contexto, P3 questionou: “A angulação? A luz, quando vai para os olhos, deveria ir em uma certa direção... Vai errado, né.” Após um breve esclarecimento do pesquisador sobre a fisiologia do olho míope e sua capacidade de convergir os raios de luz, P3 sugeriu: “Por causa do foco, então? Por ser muito pequeno, não conseguiria ampliar o suficiente.”

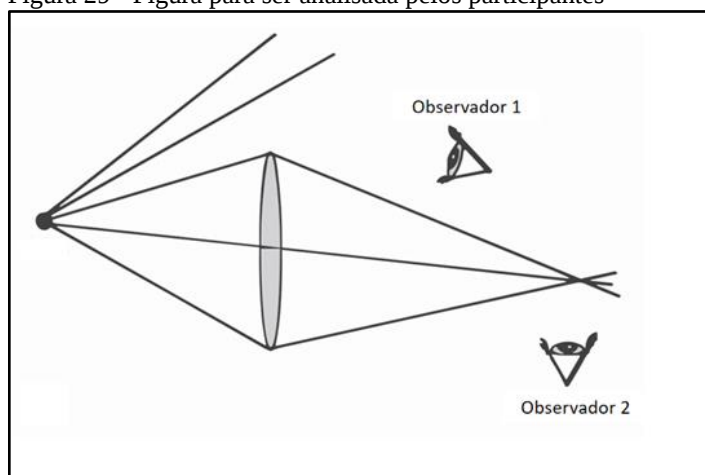
Essa concepção inicial e abstrata, baseada na óptica geométrica e alinhada ao racionalismo clássico (**RCI**), foi logo superada pela visão mais **concreta** e **animista** que P3 apresentou sobre o funcionamento dos telescópios: “Eu ia dizer que os telescópios, um telescópio grande, ele consegue ver [noção animista], mas ele absorve mais luz. Então, teoricamente, se você está recebendo o suficiente de luz, você enxergaria.” Prevaleceu, assim,

a ideia de que “o maior vê melhor”, fundamentada na noção de que um telescópio maior absorve mais luz, o que reflete uma perspectiva realista ingênua (**RI**)¹⁹.

Ao final da discussão, P1 e P3 concluíram que, se o objeto distante emitisse a mesma intensidade luminosa de quando está próximo, ele seria igualmente visível, incluindo seus detalhes: “Se a quantidade de luz que chega aos nossos olhos é a mesma [próximo e à distância], eu acho que veria os detalhes, sim” (P3). “Eu também acho que sim” (P1).

Ainda no contexto das condições para a visão e formação de imagens, os participantes foram expostos à situação esquematizada na Figura 29²⁰. A pergunta que acompanhou o esquema foi: “Durante o ensino de óptica geométrica, é comum o professor afirmar que existem muitos outros raios, mas que eles não serão desenhados. Decidir quais raios poderiam, de fato, ser incluídos pode ser um desafio para o estudante. Com base na análise da figura a seguir, como você avalia a seguinte afirmação: o Observador 1 verá o objeto e o Observador 2 verá a imagem, pois ambos podem visualizar os raios provenientes do objeto e da imagem, respectivamente?”

Figura 29 - Figura para ser analisada pelos participantes



Fonte: Adaptado de Ronen (1993).

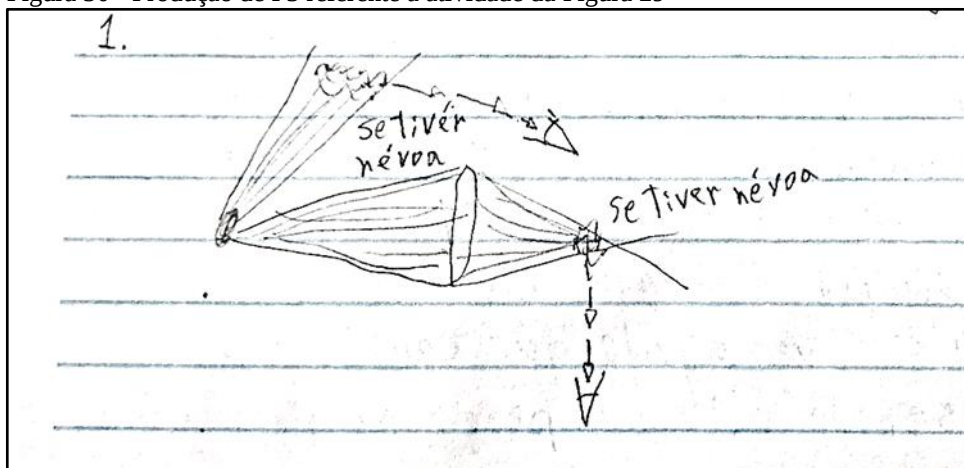
P2 respondeu: “O Observador 1 verá a luz emitida pelo objeto, já o Observador 2 verá a imagem do objeto.” P1, por sua vez, argumentou: “Ambos os observadores irão enxergar a imagem. A lente fará com que os raios do objeto formem a imagem, mas a retina terá o mesmo papel.”

¹⁹ Embora tenhamos consciência de que um telescópio com maior abertura pode fornecer maior resolução, a discussão aqui apresentada permanece no nível do realismo ingênuo. Essa interpretação é corroborada pelo parágrafo seguinte, no qual, em uma situação hipotética envolvendo intensidade luminosa, P1 e P3 desconsideraram outros aspectos necessários para a formação da imagem.

²⁰ Com o objetivo de tornar a leitura mais fluida, algumas figuras podem se repetir ao longo do texto.

Por outro lado, P3 apresentou uma interpretação diferente, acompanhada da Figura 30, afirmando: “Nenhum dos dois observadores teria visto nem o objeto nem a imagem, pois, para conseguir ver a imagem, teria que haver uma névoa ou algo que fizesse a luz refletir até o observador. O mesmo vale para a luz refletida do objeto chegar até o Observador 1.”

Figura 30 - Produção de P3 referente à atividade da Figura 29



Fonte: Autor (2024).

A resposta de P2 indicou a necessidade da lente para formar uma imagem visível, alinhando-se ao racionalismo clássico (**RCI**), mas excluiu o papel do olho ao afirmar que o Observador 1 veria apenas “luz”, ou seja, uma região iluminada de forma difusa, refletindo uma perspectiva de realismo ingênuo (**RI**).

Tanto P2 quanto P1 compartilharam a concepção de que os raios de luz seriam visíveis mesmo sem atingirem diretamente os olhos (**RI**), evidenciando uma dificuldade em compreender o papel dos raios de luz nos diagramas de óptica geométrica. Essa dificuldade está de acordo com as observações de Galili (2000), que aponta que o simbolismo gráfico utilizado no estudo da óptica geométrica é frequentemente interpretado de maneira subjetiva pelos estudantes, já que muitos elementos, como os raios de luz, são presumidos de forma tácita.

Além disso, P1 destacou que as imagens seriam visualizadas porque seriam formadas pela lente ou pela retina, alinhando-se ao racionalismo clássico (**RCI**). Essa afirmação exemplifica o obstáculo do **conhecimento geral**, pois decorre de uma generalização do papel da lente na formação de imagens, estendendo essa função também à retina.

Entretanto, no contexto da pergunta, essas concepções deveriam ser dissociadas, já que era necessário considerar a diferença entre “ver” diretamente um objeto e “ver” uma imagem óptica formada por um sistema de lentes.

P3, por sua vez, destacou corretamente a necessidade de os raios luminosos atingirem os olhos para que fossem percebidos (**RCI**), mas não esclareceu como se dariam os processos de formação de imagem.

8.1.4 Síntese reflexiva do segundo encontro

De acordo com Vigotski, a aprendizagem é mediada por ferramentas e signos, sendo a linguagem uma das principais formas de mediação. No contexto do encontro, a discussão sobre a natureza da luz e a formação de imagens envolveu conceitos científicos complexos, como a dualidade onda-partícula, os raios de luz e a óptica geométrica. Esses conceitos foram abordados de forma dialógica, partindo dos conhecimentos já dominados pelos participantes. No entanto, muitos ainda apresentaram dificuldades para internalizá-los corretamente, o que destaca a importância de uma mediação adequada para superar esses obstáculos.

Nos diálogos entre os participantes, é possível identificar diferentes níveis de compreensão sobre a natureza da luz e os fenômenos ópticos. Enquanto P1 e P3 conseguem articular noções mais avançadas, como a relação entre luz e calor, P2 ainda apresenta concepções alinhadas ao realismo ingênuo, indicando que se encontra em uma fase de aprendizagem distinta dos demais. Essa situação levou o pesquisador a retomar as explicações, respeitando a zona de desenvolvimento iminente (ZDI) de P2. A lacuna entre os níveis de entendimento foi preenchida pela atuação do pesquisador como parceiro mais capaz e pela interação entre os colegas, promovendo uma aprendizagem mais aprofundada, evidenciando a importância do princípio da ascensão do abstrato para o concreto proposto por Vigotski.

Por fim, destacamos a importância da interação social: ao discutir conceitos como a dispersão da luz e a relação entre luz e calor, os participantes colaboraram entre si, corrigindo e complementando suas ideias. Essa troca não apenas facilita a compreensão de cada participante, mas também promove a construção coletiva do conhecimento científico. A colaboração entre P1 e P3, que gradualmente refinam suas respostas sobre a intensidade da luz e a percepção de objetos distantes, ilustra como o desenvolvimento cognitivo é favorecido pela interação social.

8.2 Análise sobre os dados do terceiro encontro

Neste encontro, abordaram-se os seguintes tópicos: uma introdução sobre Alhazém e Kepler, as contribuições dos árabes e gregos para a óptica²¹, o estudo da anatomia do olho e o conceito de multiplicação de espécies. Em seguida, discutiram-se as perspectivas linear e angular, contextualizando as concepções de Kepler²². Também foi apresentado o conceito de câmara escura e a formação de imagem invertida, seguido pela discussão sobre imagens reais e virtuais.

8.2.1 Formação de imagens em câmaras escuras

A câmara escura foi um instrumento óptico utilizado em medições astronômicas, que despertou grande interesse em Kepler. Posteriormente, ele reconheceu que o olho humano poderia estar sujeito a efeitos similares aos observados nesse instrumento.

Neste contexto, perguntei: “Já tiveram a oportunidade de observar uma câmara escura ou ver como uma imagem é projetada em uma superfície dentro de uma sala escura? Como a imagem apareceu para vocês?”²³

A produção de P2, ilustrada na Figura 31, incluiu o olho como parte do sistema óptico. No entanto, o uso equivocado dos raios de luz parece tê-lo levado a uma confusão, fazendo-o atribuir ao olho a inversão da imagem formada na câmara escura: “A imagem formada nessa câmara fica ao contrário, pois os raios de luz são invertidos em nossos olhos, então a imagem é formada de cabeça para baixo.” Essa interpretação sugere um conhecimento superficial de óptica geométrica, algo também observado em atividades seguintes, relacionadas à formação

²¹ [RT] Com o intuito de resgatar os conhecimentos espontâneos a partir de situações vivenciadas pelos participantes, iniciamos a aula com a pergunta: “Vocês já ouviram falar de Alhazém ou Kepler? Conhecem suas contribuições para a ciência da óptica?” Nenhum dos três participantes conhecia Alhazém, embora soubessem quem era Kepler, mas não sabiam especificar suas contribuições para a óptica.

²² [RT] Resgate de conhecimentos espontâneos a partir de situações vivenciadas pelos participantes: “Ao desenhar ou pintar uma paisagem, como você decide o tamanho e as posições dos objetos mais distantes?” P2 e P3 mencionaram o ponto de fuga, aprendido no ensino médio, enquanto P1 desconhecia esse conceito de perspectiva. Isso evidenciou que P1 e P2 estavam familiarizados com a perspectiva linear, mas não com a perspectiva angular.

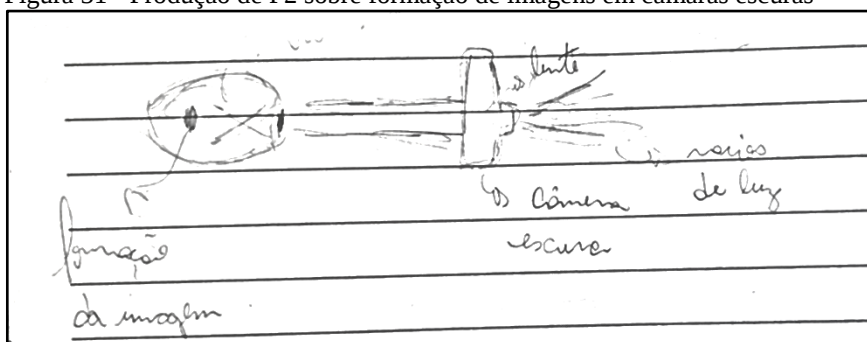
²³ [RT] P2 e P3 tinham experiência com uma câmara escura e lembraram que a imagem era invertida. P1 nunca havia tido contato com uma câmara escura, então trouxemos uma para que observasse a formação da imagem invertida. Esta atividade evidenciou o resgate dos conhecimentos espontâneos sobre formação de imagens em câmaras escuras. Além disso, devido a cooperação de P3, que sugeriu apresentar a câmara escura que sabia existir no laboratório ao lado, fomentou-se uma atividade de compartilhamento e socialização contextualizada no contexto histórico e cultural global.

de imagens em espelhos planos e lentes convergentes, nas quais algumas respostas de P2 se aproximaram da abordagem da escola de realismo ingênuo (**RI**).

Considerando todos esses aspectos, podemos classificar essa resposta de P2 como Empirismo Claro e Positivista (**ECP**), devido às tentativas superficiais e quase intuitivas de aplicar os conceitos de óptica geométrica.

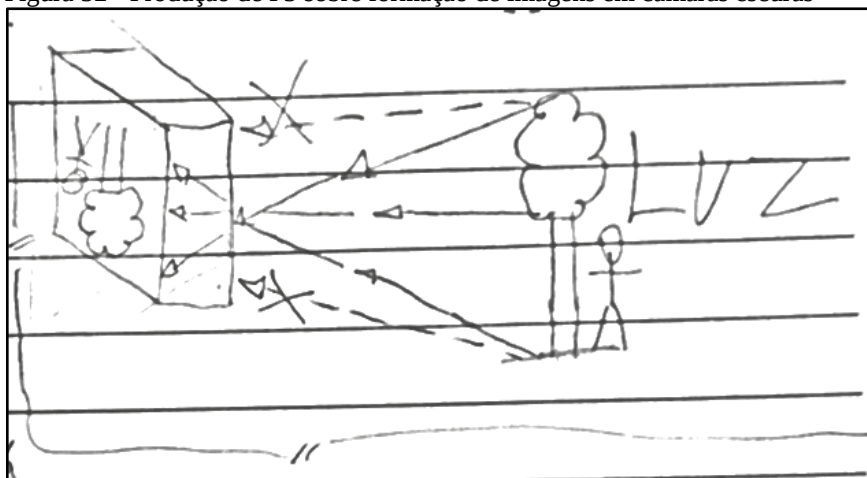
P3, por sua vez, utilizou os raios notáveis para explicar como ocorre a inversão da imagem, conforme ilustrado na Figura 32, alinhando-se ao racionalismo clássico (**RCI**). P1 apresentou um raciocínio similar ao de P3, e seu diagrama pode ser visualizado na Figura 33. Vale destacar que, embora P1 não tenha inserido o objeto em seu diagrama nem explicitado a formação da imagem invertida, isso foi explicado no comentário que acompanhou a figura: “Em câmaras escuras, os raios de cima são projetados na parede na parte de baixo, assim como os de baixo são projetados em cima”.

Figura 31 - Produção de P2 sobre formação de imagens em câmaras escuras



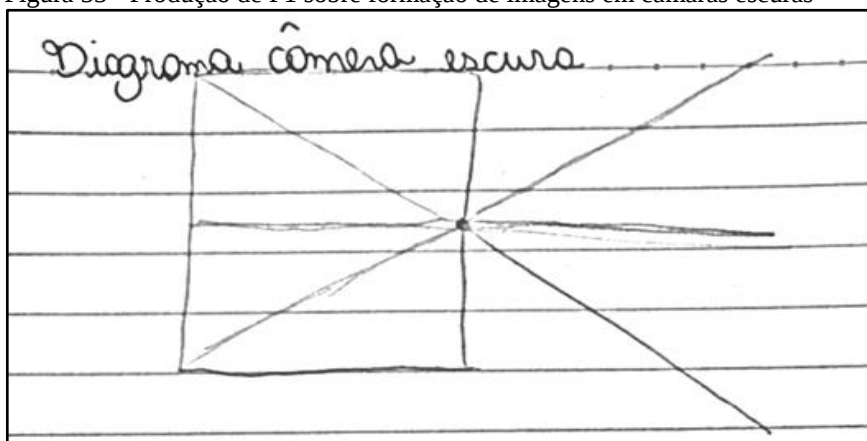
Fonte: Autor (2024).

Figura 32 - Produção de P3 sobre formação de imagens em câmaras escuras



Fonte: Autor (2024).

Figura 33 - Produção de P1 sobre formação de imagens em câmaras escuras



Fonte: Autor (2024).

8.2.2 Formação de imagens em espelhos planos

A análise desta seção baseia-se na prática descrita na Seção 6.3.3 Relato do Terceiro Encontro - 08/07/2024: Óptica Medieval, a Renascença e Kepler: A Óptica como uma Teoria da Luz, na qual os participantes foram questionados sobre a localização da imagem formada por um espelho plano.

O objetivo da atividade foi investigar as concepções dos participantes sobre as propriedades da imagem virtual gerada pelo espelho. Para isso, foram propostas duas situações: na primeira, o objeto e o participante estavam à frente do espelho; e, na segunda, ambos foram deslocados para fora da frente do espelho. Em ambas as situações, o pesquisador permaneceu à frente do espelho, como ilustrado nas Figuras Figura 14 e Figura 17.

Na primeira situação, referente à Figura 14, com o boneco na frente do espelho e questionado sobre a localização da imagem, P2 afirmou prontamente que a imagem estaria na superfície do espelho, uma noção **RI**, pois ignorou os processos de formação de imagens baseados na óptica geométrica: “No caso, ele [a imagem do boneco] estaria mais ou menos aqui assim. No [na superfície do] espelho, aqui.” A segunda situação questionou se uma troca de lugares entre pesquisador e participante alteraria a posição inicial da imagem. P2 afirmou que: “Eu acho que se ela for mudar de posição, ela vai aparentar estar mais para cá. Mais para a direita.”

Em momentos anteriores, P2 havia questionado o pesquisador sobre a posição exata em que deveria se sentar para então localizar a imagem: “É para olhar de frente assim?” ou “É que daí muda, né [a localização da imagem]?” Ao trocar de lugar e percebendo que a imagem permaneceu na mesma posição, afirmou: “Ai, meu deus. Não estava!”²⁴ P2 abordou as

²⁴ [RT] Exemplo de ação estruturante do professor.

questões a partir de suas intuições primeiras, não expressou verbalmente uma tentativa de racionalizar sobre a formação e localização da imagem, permanecendo no **RI**.

Na mesma situação, P3 também localizou a imagem na superfície do espelho, uma noção **RI**, e, quando questionado se a imagem mudaria de posição ao trocar de lugar com o pesquisador, afirmou: “Acho que vai um pouco mais pra cá.” Ao realizar a troca, P3 teve dificuldade em localizar a posição da imagem. Com o auxílio do pesquisador para identificar exatamente onde acreditava estar a imagem e alternando entre as duas posições de observação, P3 afirmou: “Parece que mudou [a posição da imagem]. [...] Parece que vem por aqui agora.”

P3 pareceu associar a posição da imagem com o ponto onde os raios de luz provenientes da imagem (atrás do espelho) cruzariam a superfície do espelho em sua direção. Talvez, por isso, relatou que a posição da imagem mudava à medida que ele se deslocava em frente ao espelho. Essa falta de clareza no raciocínio permanece no **RI**.

P1, por sua vez, respondeu prontamente, assim como P2 e P3, que a imagem estaria na superfície do espelho, uma noção **RI**. Quando questionado sobre a posição da imagem ao trocar de lugar com o pesquisador, começa a racionalizar conforme a lei da reflexão, apresentando um raciocínio **RCI**: “Se eu trocar de lugar contigo, a imagem vai estar no mesmo lugar? Não, porque eu estou vendo... Ah, eu não sei, deixa eu ver. Não vai ser no mesmo lugar. Se a gente trocar de lugar, não vou ver onde a gente está vendo agora. A imagem não está sendo formada atrás do boneco, ela está vindo para cá e refletindo para cá [considera lei da reflexão], onde eu a vejo. Não sei... Quando a gente trocar de lugar, não vou ver a imagem no mesmo lugar, porque a gente está em lados diferentes. Vou ver ela refletida do outro lado do boneco. Por exemplo, agora eu vejo o boneco aqui, e a imagem parece refletida deste lado. Se eu estivesse no teu lugar, eu ainda veria o boneco aqui, mas a imagem estaria refletida do outro lado.”

Os participantes foram então convidados a compartilhar suas respostas e justificativas em grupo. A discussão dialógica iniciou-se abordando a questão da mudança de posição da imagem após a mudança de posição do observador. P1 defendeu que a imagem não mudava de lugar, enquanto P3 e P2 argumentaram que a imagem mudava de posição. P3 afirmou: “Eu imagino que a luz iria bater e se refletir em várias direções. Dependendo de onde estamos, a luz bateria e viria para cá.” P1 respondeu: “Sim, mas isso acontece porque nós mudamos de lugar, não a imagem.” P2 complementou: “Por exemplo, você está vendo isso refletido para cá, e se uma pessoa estiver sentada aqui, ela vai ver isso refletido para lá.”

Após a interação em grupo, mediada pelo pesquisador, P2 e P3 indicaram mudanças em suas concepções²⁵: P3 comentou: “Só que agora, indo para o extremo aqui no canto, parece que talvez a imagem não se desloque.” P2 adicionou: “Eu também achava que ia mudar, mas o que você falou [para P3] faz muito sentido.” Por fim, P1 concluiu: “Exatamente. Depende de como essa imagem está chegando até mim e de como estou interpretando. Por exemplo, se eu for para lá, vou ver uma coisa, e se eu vier para cá, vou ver outra. Só que a imagem está se formando do mesmo jeito nos dois lugares. Ou melhor, não exatamente do mesmo jeito, mas a partir de diferentes perspectivas em cada lugar.”

Na segunda situação, em que o participante e o objeto foram deslocados para fora da frente do espelho, conforme a configuração apresentada na Figura 17, o espelho foi inicialmente coberto, e o participante foi questionado se conseguiria ver o objeto. P2 afirmou: “Eu acho que vou ver o boneco. Pelo menos uma parte dele [...] provavelmente no canto [mais próximo do espelho].”

Em seguida, o participante foi questionado se seria possível ver o objeto a partir da posição do pesquisador. Ele respondeu que não. Após realizar a troca e observar o objeto, P2 exclamou: “Ai, você consegue ver! Eu falei que você não ia conseguir ver, né?!”²⁶

A forma como P2 expressou ambas as respostas, reflete as concepções associadas à escola de realismo ingênuo (**RI**).

P3 baseou sua resposta na lei da reflexão, alinhando-se ao racionalismo clássico (**RCI**), e concluiu que não veria a imagem enquanto estivesse deslocado para fora da frente do espelho: “Porque a luz que vai bater nele vai refletir aqui, e eu acho que não vai vir na minha direção. Não vai ter mais espelho nesta parte para refletir a luz e fazê-la vir para cá. É isso que eu imagino.”

Em seguida, o participante foi questionado se seria possível ver o objeto a partir da posição do pesquisador, ao que ele respondeu afirmativamente, uma conclusão correta decorrente de sua análise com base na reflexão dos raios de luz.

Ao expor P1 à mesma situação anterior, ele afirmou que não veria a imagem do objeto: “Porque a luz iria refletir para cá, e eu conseguiria ver. Mas, como não tem mais o espelho diretamente atrás dele, eu não vejo mais.”

Em seguida, ao avaliar se o pesquisador veria a imagem, P1 afirmou que não. O pesquisador, então, solicitou que ele explicasse seu raciocínio: “Por que você não vê? Porque

²⁵ [RT] Exemplo de evolução conceitual após discussão dialógica em grupo e intervenção do professor.

²⁶ [RT] Exemplo de questionamento em uma perspectiva dialógica.

o que o espelho vai refletir para você são, por exemplo, as imagens do mesmo ângulo de onde você está sentado, só que do lado de cá. E como eu não vejo esse lado de cá, você também não vê. Mas eu consigo ver você...”

A última frase indica que P1 começou a reconsiderar sua resposta inicial, demonstrando um avanço em sua análise a partir da perspectiva da óptica geométrica.

O pesquisador incentivou P1 a continuar fazendo questionamentos pontuais, até que ele afirmou: “Calma, não... você vê o boneco!” E prosseguiu: “Você vê a imagem do boneco porque ela está refletindo deste lado. Por exemplo, a luz está chegando de vários lados, reflete e chega até você. Então, você consegue ver o boneco, mas eu não. A luz, por exemplo, vem de lá ou da frente, bate no espelho e reflete para você. O boneco não está na frente do espelho para que eu consiga vê-lo, mas você consegue. [...] O ângulo que você enxerga, a parte da sala que você vê, é diferente da minha, por causa do lugar em que você está.”

P1 ainda explicou por que, com base na lei da reflexão, enxergamos partes diferentes da imagem conforme nos deslocamos pela frente do espelho.

Na interação em grupo a seguir, as discussões continuaram a partir do questionamento de P1 sobre por que não conseguia ver a imagem do objeto: “Mas por que eu não vejo ele realmente refletido?” Isso indicava que, apesar de ter seguido um raciocínio com base na lei da reflexão e concluído corretamente o motivo de não ver a imagem, P1 ainda tinha dúvidas²⁷.

P2 e P3 tentaram responder a essa pergunta com argumentos implicitamente baseados na lei da refração, uma noção alinhada ao racionalismo clássico (**RCI**), justificando que o espelho precisaria estar posicionado atrás do objeto para que sua imagem fosse vista. P2 explicou: “A luz está refletindo nele e em você, mas ela não passa pelo espelho, porque o espelho não está atrás dele. Então, você está aqui. Só que não tem uma parte do espelho que reflita ele, o espelho só está para cá, não para lá.” P3 complementou: “O espelho teria que vir até aqui.”

P1, por sua vez, acrescentou o conceito de luz como onda, uma noção **RCo**: “Por exemplo, a luz é uma onda tridimensional, então ela está vindo para cá. Vamos supor que a luz veio e bateu aqui. Nesse ponto, você está conseguindo ver.”

²⁷ [RT] A persistência das concepções espontâneas, não científicas, é evidente neste caso. De acordo com a teoria histórico-cultural, as concepções espontâneas não são completamente abandonadas; busca-se, ao contrário, uma evolução gradual dessas concepções em direção ao conceito científico. Esse processo, no entanto, não ocorre de forma imediata e varia conforme o indivíduo. Apesar de anteriormente ter explicado, com base na lei da refração, o motivo correto para não se ver o objeto, P1 ainda retorna à sua concepção inicial de dúvida sobre o tema.

Observa-se que, durante a discussão em grupo, P2 alterou sua argumentação — anteriormente alinhada ao realismo ingênuo (**RI**) — para uma noção de RCl. P1, que já argumentava com base na **RCl**, avançou em sua argumentação ao incluir elementos da escola **RCo**²⁸.

8.2.3 Formação de imagens por lente convergente

A atividade de formação de imagens por lente convergente ocorreu conforme descrito na Seção 6.3.3 Relato do Terceiro Encontro - 08/07/2024: Óptica Medieval, a Renascença e Kepler: A Óptica como uma Teoria da Luz, cuja montagem experimental está ilustrada nas Figura 19 e Figura 20.

Inicialmente, com a imagem formada no anteparo, questionou-se os participantes sobre o que aconteceria com a imagem se o anteparo fosse removido. P3 afirmou: “Creio que ela aumente de tamanho e seja vista mais ao fundo.” Essa ideia está relacionada com um simulacro deslocando-se no espaço, uma noção pré-científica associada ao Realismo Ingênuo (**RI**).

P1 complementou, destacando a necessidade do anteparo para a formação da imagem: “Só que ela também vai perder o foco. À medida que aumentar, a intensidade vai diminuir, e a gente não vai mais conseguir ver a imagem como vemos aqui. Ela precisa do anteparo para... para existir.” Vincular a presença do anteparo à existência da imagem é recorrer ao concreto, pois não considera uma explicação fundamentada na abstração e na linguagem matemática, conforme proposto pela óptica geométrica, sendo uma noção **RI**.

Após ser questionado pelo pesquisador sobre a relação entre a redução de intensidade e a definição da imagem, P1 respondeu: “Ela vai... perder... primeiro o brilho. Não exatamente perder o brilho, mas deixar de estar concentrada, como está agora. Não sei se essa é a palavra certa. E, como consequência, vamos perder a definição dela.” O pesquisador então sugeriu que a perda de brilho poderia ser compensada com o aumento da intensidade luminosa da fonte. Nesse momento, P1 mencionou a disciplina de Física V, em que foi discutido o conceito de foco: “Por exemplo, se eu ajustar o foco daqui para frente, não vou conseguir ver a imagem tão nítida quanto estou vendo agora. O mesmo acontece se eu levar o foco para trás.

²⁸ [RT] Este parágrafo ilustra o êxito de uma atividade voltada ao compartilhamento e à socialização. Percebe-se que a lei da reflexão fundamentou, ainda que de forma implícita, a discussão em grupo, algo que não ocorreu de maneira espontânea durante a realização individual da atividade. A mudança de concepção de P2 pode ter sido influenciada pela dinâmica proposta, na qual o primeiro participante permaneceu na sala e pôde observar os demais enquanto realizavam a atividade.

Então, não é necessariamente uma questão de brilho ou intensidade, mas de ponto de foco por causa da lente convergente. [...] É porque perdemos o ponto de foco dela.”

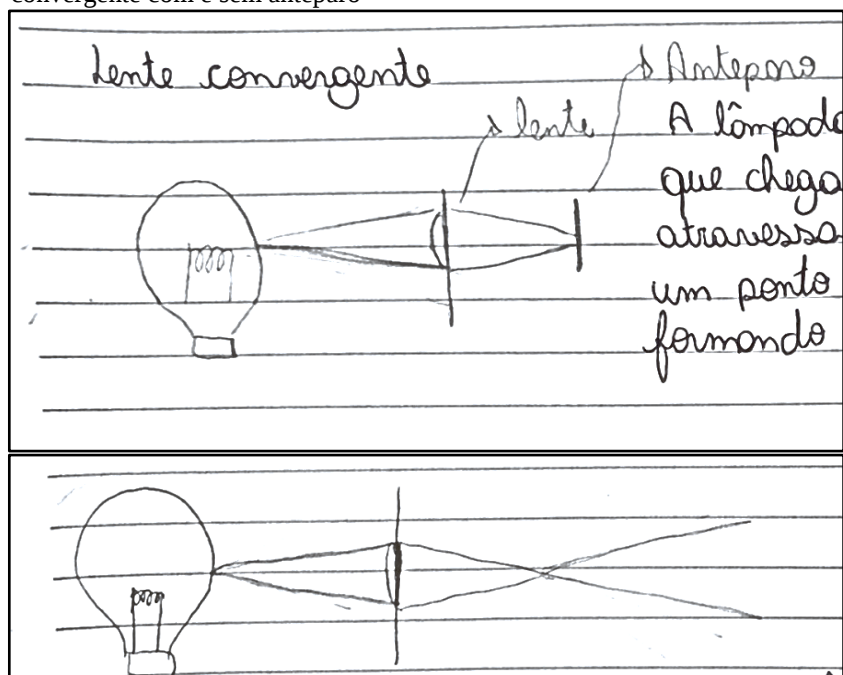
Neste ponto, P1 identificou claramente como o conceito de foco está dissociado da intensidade luminosa em relação à posição da imagem, alinhando-se à noção de Racionalismo Clássico (**RCI**).²⁹

A seguir, o pesquisador solicitou que os participantes fizessem um diagrama mostrando o que acontece com a imagem ou os raios de luz após a retirada do anteparo, pois ainda persistia a ideia no grupo de que a imagem dependia do anteparo para existir, enquanto ao mesmo tempo acreditavam que a imagem viajaria pelo espaço indefinidamente se o anteparo fosse removido.

A produção de P1, que pode ser vista na Figura 34, destaca que a imagem é formada em um ponto específico do espaço devido à propriedade focal da lente convergente e que o anteparo é necessário para a formação da imagem. Com o anteparo, “a lâmpada emite um feixe de luz que chega até a lente. A luz que atravessa a lente é focalizada em um ponto no anteparo, onde se forma uma imagem invertida da resistência.” Sem o anteparo, “a imagem perderá o foco e não se formará como antes. Consequentemente, a luz se espalhará no ambiente, impedindo a formação da imagem.”

²⁹ [RT] Este é um exemplo de intervenção do professor em uma discussão dialógica. A concepção espontânea de P1 relacionava a perda de intensidade e brilho à perda de foco da imagem. Após questionamentos pontuais do pesquisador, P1 passou a recorrer ao conhecimento científico adquirido em suas aulas de Física V, demonstrando um movimento de articulação entre suas ideias iniciais e os conceitos formais.

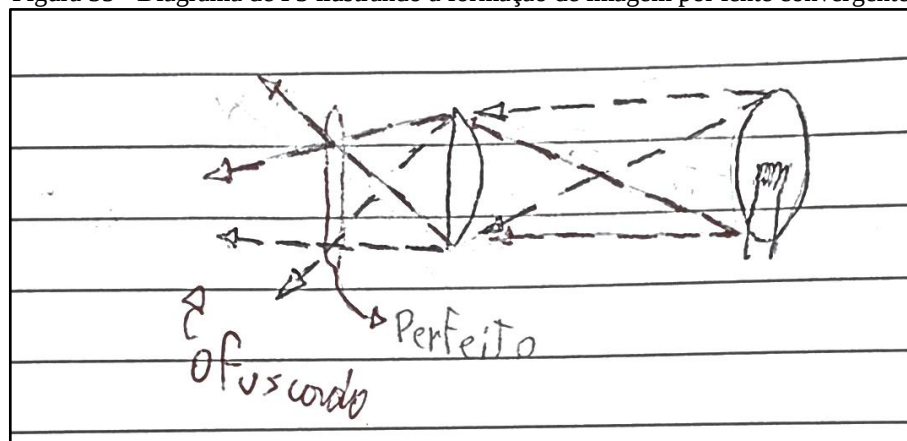
Figura 34 - Diagrama de P1 ilustrando a formação de imagem por lente convergente com e sem anteparo



Fonte: Autor (2024).

O diagrama de P3 (veja Figura 35) evidenciou a formação da imagem em um ponto específico do espaço, onde o anteparo deve estar localizado.

Figura 35 - Diagrama de P3 ilustrando a formação de imagem por lente convergente



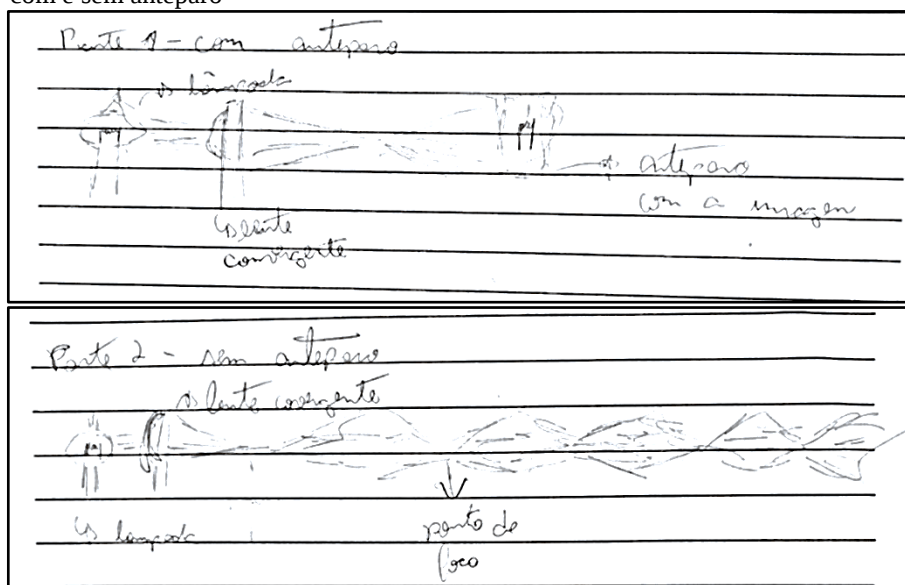
Fonte: Autor (2024).

O participante P2 destacou a convergência dos raios de luz pela lente e a formação da imagem no anteparo, conforme ilustrado na Figura 36. Na situação sem o anteparo, P2 escreveu: “A imagem da resistência do bulbo ainda existiria e continuaria a se formar, mas perderia o foco devido ao meio de propagação. Veríamos apenas uma luz em forma circular

que, dependendo do ângulo de observação, pareceria menos intensa à distância e mais intensa de perto.”

O diagrama de P2 também sugere que haveria múltiplos pontos de foco após os raios de luz passarem pela lente, o que indica uma percepção de que a formação da imagem não estaria vinculada à posição exata do ponto focal. Isso é corroborado por afirmações feitas anteriormente por P2, segundo as quais a imagem após o anteparo seria maior e mais ofuscada.

Figura 36 - Diagrama de P2 ilustrando a formação de imagem por lente convergente com e sem anteparo



Fonte: Autor (2024).

A partir dos diagramas dos participantes, o pesquisador direcionou a discussão dialógica³⁰ para questionar o que aconteceria com a imagem quando o anteparo fosse removido: “E a imagem desapareceu? Deixou de existir no universo?” P1 respondeu: “Não, ela ainda... Se colocar um anteparo, ela ainda vai estar aqui.” Pesquisador: “Ela ainda está aqui? Ou só existe quando tem o anteparo?” P1: “Ela só está ali quando tem o anteparo. Não! Ela está ali [sempre].” P2 acrescentou: “É que ela não deixa de existir.” P1 reforçou: “Ela está ali, só que não tem onde ser projetada.” P3 complementou: “Se fosse possível ver a luz, veríamos onde cada raio está. O que estivesse mais ofuscado iria ficando mais nítido em certo ponto, e mais ofuscado para outros lados.”³¹

³⁰ [RT] O pesquisador parte da zona de desenvolvimento iminente (ZDI), que corresponde a uma espécie de desnível cognitivo do aprendiz dentro do qual a instrução é mais viável e produtiva.

³¹ [RT] Este é um exemplo de evolução conceitual promovida por uma atividade de cooperação e compartilhamento. P1, junto com os demais participantes, concluiu que a imagem existe em uma posição específica, independentemente do uso de um anteparo.

O pesquisador, então, utilizou um anteparo translúcido (uma folha de papel), deslocando-o em torno da posição de formação da imagem para confirmar as afirmações dos participantes, que estavam alinhadas ao Racionalismo Clássico (**RCI**).

Na próxima etapa da atividade com lente convergente, o pesquisador questionou os participantes sobre o que aconteceria com a imagem se a metade superior da lente fosse coberta.

O participante P2, alinhando-se à escola **RI**, argumentou: “Eu acho que vai cobrir aqui [metade inferior da imagem]. Não sei. Acho que seria essa parte, porque, tecnicamente, a luz fica ao contrário.” Em seguida, demonstrou incerteza: “Só que eu não sei se cobriria a parte da resistência [metade superior da imagem] ou esta parte aqui [metade inferior da imagem]. [...] É, não sei se seria a parte de cima ou a parte de baixo, porque está ao contrário.”

Os participantes P1 e P3, por sua vez, concordaram que a imagem completa permanecerá visível, mas com diminuição no brilho, uma noção próxima à escola **RCI**: “Vai ficar com metade da luminosidade. [...] Vai se manter [idêntica], mas mais fraca” (P3); “Eu também acho isso” (P1).

Visualizar uma imagem real sem o auxílio de um anteparo é possível. No caso deste arranjo experimental, é necessário olhar na direção do eixo óptico, em sentido à fonte de luz. Para iniciar essa discussão com o grupo, eles foram questionados se veriam a imagem do objeto ao posicionarem seus olhos no lugar do anteparo. Todos concordaram prontamente que a veriam, uma noção de Realismo Ingênuo (**RI**), o que excluiu o olho como parte ativa no processo de formação de imagem. Após uma tentativa frustrada de visualização e questionados pelo pesquisador, os participantes tentaram explicar.³² P3 argumentou: “É que o nosso olho também seria, talvez...” e P1 complementou: “O cristalino do olho.” O pesquisador esclareceu: “O olho também processa a imagem?” O grupo então respondeu “sim”. P1 completou: “Estávamos vendo a imagem formada em um papel. Agora, a imagem vai se formar novamente no nosso olho. [...] É necessário se distanciar.” Ao finalmente visualizarem a imagem, os participantes reagiram surpresos: “Que legal!” (P2), “Está lá, né?!” (P1), “Legal!” (P3). Ao considerarem o olho como parte ativa na formação da imagem e reconhecerem a necessidade de uma distância mínima para visualizá-la, o grupo demonstrou uma aproximação ao Racionalismo Clássico (**RCI**).

³² A dinâmica dialógica incentivou os participantes a questionarem suas noções espontâneas, especialmente após a constatação de sua falibilidade durante o processo.

8.2.4 Síntese reflexiva do terceiro encontro

Durante a análise, percebe-se a evolução conceitual dos participantes ao transitarem entre as noções de Realismo Ingênuo (RI) e Racionalismo Clássico (RCl), o que representa um avanço significativo na compreensão dos conceitos. Essa transição é fundamental no processo de aprendizagem proposto por Vigotski, que argumenta que o desenvolvimento conceitual ocorre a partir dos conhecimentos espontâneos, em que noções pré-científicas ou intuitivas (como o RI inicial dos participantes) servem como ponto de partida para conceitos científicos mais sofisticados (como o RCl).

Essa mudança torna-se evidente quando os participantes iniciam com ideias intuitivas ou ingênuas sobre a formação da imagem, como a concepção de que a imagem depende exclusivamente do anteparo para existir. Nesse contexto, o papel do pesquisador, atuando como parceiro mais experiente, é essencial ao provocar questionamentos e guiar os participantes em direção a um entendimento mais elaborado. A interação social e o uso de ferramentas simbólicas, como perguntas estratégicas e o anteparo como instrumento de experimentação, são fundamentais nesse processo. Por exemplo, ao introduzir o anteparo translúcido e deslocá-lo, o pesquisador oferece aos participantes um recurso que facilita a transição para uma compreensão mais avançada do conceito.

Vigotski sugere que o desenvolvimento conceitual ocorre por meio da reorganização das ideias em um processo dialógico, no qual a interação social desempenha papel central. Observa-se, nesse contexto, a progressão das Funções Psicológicas Superiores (FPS), que se desenvolvem à medida que os participantes avançam de uma compreensão concreta para uma mais abstrata. No caso das atividades práticas envolvendo a câmara escura, espelhos planos e lentes convergentes, esses instrumentos atuam como mediadores da aprendizagem, transformando a compreensão dos participantes sobre a formação de imagens.

Contudo, o processo de internalização dos conceitos pode ser incompleto sem uma mediação adequada. Isso foi observado em P2, que apresentou dificuldade em compreender a inversão da imagem. A explicação fornecida por P3, utilizando corretamente os raios notáveis, exemplifica como a mediação entre pares pode ajudar na superação de erros conceituais e no avanço na compreensão. O raciocínio de P3 demonstra um processo de internalização bem-sucedido, no qual conceitos inicialmente externos (introduzidos pelo pesquisador ou pelos materiais) são transformados em parte da estrutura cognitiva do participante.

Por fim, a interação entre P2, P3 e o pesquisador evidencia a importância do diálogo colaborativo na construção do conhecimento científico. A correção de erros e o

esclarecimento de noções equivocadas ocorrem de forma conjunta, promovendo a evolução epistemológica dos participantes.

8.3 Análise sobre os dados do quarto encontro

8.3.1 As concepções sobre composição de cores

A atividade prática sobre a formação de sombras coloridas está descrita na Seção 6.3.4 Relato do Quarto Encontro - 11/07/2024: O Predomínio do Mecanicismo - Óptica nos Séculos XVII e XVIII. Após observarem o padrão de sombras coloridas gerado por um cabo de pincel, os participantes foram questionados sobre a quantidade de fontes de luz necessárias para gerar aquela composição.

A primeira resposta, dada pelo Participante 3, foi “três”. P1 assumiu uma postura cautelosa: “É que o três é muito óbvio,” o que pode indicar uma tentativa de conter o impulso inicial de uma resposta de Realismo Ingênuo (**RI**). P2 também demonstrou incerteza, respondendo com um “pois é...” Em seguida, P3 sugeriu que o pincel, inicialmente na posição vertical, fosse colocado na horizontal e reafirmou: “É. Então acho que é três.” P1 permaneceu em dúvida, mas aceitou o número: “três?” P2 foi mais assertivo: “É, vamos de três.”

Em seguida, foram questionados sobre as cores das lâmpadas. P3 comentou: “Por isso que eu falei antes sobre a mistura de cor, de o quê dá o quê.” O pesquisador então perguntou: “Você acha que isso aqui é uma combinação de cores? Foi por isso que você questionou?”

P3 respondeu: “Acho que sim, porque uma das cores será coberta e as outras duas vão se misturar.” P2 concordou: “Faz sentido.” Logo, propuseram algumas cores candidatas: P1 sugeriu “Verde”, P3 acrescentou “Talvez um vermelho? [...] Se considerarmos o RGB... mas não sei,” e P2 finalizou: “É... A gente está... Ah, não sei se isso faz sentido.” Em seguida, o grupo iniciou uma discussão sobre as composições de cores necessárias para colorir as sombras visualizadas.

A indecisão sobre a quantidade de lâmpadas e suas respectivas cores aumentou à medida que o grupo discutia as cores primárias.

P1 inicialmente afirmou que a composição seguiria o padrão RGB: “Eu acho que estamos considerando o RGB ali.” Em seguida, demonstrou certa imprecisão ao considerar o azul uma cor secundária: “O verde precisa estar presente para formar o azul e o amarelo, eu acho.” P3 então questionou: “O amarelo é uma cor primária?” P1 respondeu “não”, mas P2 discordou: “O amarelo é uma cor primária? Ah, é. Sim, é”. Em continuidade, P1 apresentou

uma afirmação conflitante com suas colocações anteriores: “Primária, sim. Mas lá no RGB. Se tivermos o verde, conseguimos formar o azul e o amarelo. [...] [O amarelo] se forma junto com o azul, só que precisa ter uma lâmpada azul também. Aí forma aquele ciano. Com o vermelho e... o verde? Não, vermelho e verde não formam. O azul e o verde formam o ciano. Mas o amarelo se forma...”

Esta atividade evidenciou que os participantes não diferenciaram entre a formação de cores por luz, que segue o padrão RGB, e por pigmento, que segue o padrão CMYK. No primeiro caso, as cores primárias são vermelho, verde e azul, enquanto no segundo caso são ciano, magenta e amarelo.

A falta desse conhecimento gerou confusão sobre o amarelo ser uma luz primária, impedindo que os participantes concluíssem corretamente as cores das fontes luminosas. Inclusive, os participantes sugeriram o uso de lápis de cor para auxiliá-los, o que, naturalmente, não foi útil. Após a intervenção do pesquisador, com sombras específicas e questionamentos direcionados, o grupo chegou à resposta correta.³³ A maneira pela qual o grupo procurou responder às perguntas propostas aproximou-se da escola **ECP**.

8.3.2 *As concepções sobre a natureza da luz e sua interação com a matéria*

Neste encontro, as concepções sobre a natureza da luz foram abordadas por meio de questionamentos escritos. A primeira pergunta formulada foi a seguinte: “A luz é um conjunto de partículas. Isso se conclui, pois ela sofre reflexão, refração, composição, divisão e movimento no tempo, mas especialmente por se propagar em linhas retas e ser parada por um obstáculo.”

As respostas dos três participantes alinharam-se à escola **RD**, pois expressaram a natureza dual da luz: “Esses fatores não são suficientes; vários desses exemplos estão presentes também em ondas mecânicas, como o som. A luz se caracteriza como partícula, além de onda, por possuir a ‘habilidade’ de arrancar elétrons, como Einstein demonstrou.” (P1), “Acredito que a luz pode sim ser uma partícula, considerando esses fatores, mas, com estudos mais avançados sobre ela, entendemos que, assim como apresenta comportamento corpuscular, ela também exibe comportamento ondulatório, demonstrando a dualidade onda-partícula.” (P2), “Dependendo do teste realizado, a luz se comporta de formas diferentes, às

³³ [RT] Exemplo da ação estruturante do professor.

vezes como partícula e outras vezes como onda. No experimento da dupla fenda, por exemplo, ela se comporta como onda, mas nos exemplos que você citou é vista como partícula” (P3).

A segunda pergunta foi a seguinte: “Como você avalia a capacidade de um espelho de refletir a luz que incide sobre ele? Quais fatores você considera que influenciam essa capacidade e até que ponto acredita que um espelho pode efetivamente refletir a luz?”

A noção apresentada por P1 permaneceu no nível do **RI**, pois manteve a discussão no nível das qualidades visíveis de possíveis defeitos do espelho. P1 afirmou: “Acredito que um espelho polido reflete toda a luz que incide sobre ele, mas um espelho feito de material de qualidade inferior pode não refletir com a mesma eficiência”.

P3 trouxe uma noção similar a P1, ao relacionar a absorção parcial de fótons à qualidade de fabricação do espelho: “Acredito que o espelho não reflete perfeitamente a luz, pois uma pequena parte é absorvida. O material aplicado no vidro para formar o espelho influencia a quantidade e a nitidez da luz refletida. Para refletir a imagem exatamente, o espelho deveria ser 100% plano, sem nenhuma rugosidade e livre de poeira. Creio que o espelho perca alguns fótons de luz, mas isso não afeta a observação a olho nu, se o espelho for relativamente plano e limpo”.

P2 abordou a questão a partir do caminho dos raios de luz refletidos, uma noção **RCI**: “O espelho reflete o feixe de luz totalmente. Imaginamos que a luz seria claramente dispersa pela área do espelho, então, se ligamos uma lâmpada para iluminá-lo, essa luz se espalhará sobre sua superfície. Caso algum objeto ou pessoa esteja refletido no espelho, ele será iluminado pela luz, mas a definição da imagem não será afetada. A imagem da luz seria composta por feixes, refletidos mais concentradamente na frente da lâmpada e menos nas extremidades do espelho. Se algum objeto estiver atrás da fonte de luz, ele não será refletido pelo espelho”.

A terceira pergunta, que buscou investigar concepções sobre a natureza da luz, foi: “Na sua opinião, os fenômenos de refração e reflexão da luz são mutuamente exclusivos, ou seja, a ocorrência de um exclui a possibilidade do outro, ou você acredita que eles podem coexistir sob certas condições?”

Essa questão pode ser respondida por diferentes abordagens: a abordagem eletromagnética, considerando os coeficientes de Fresnel, ou a abordagem quântica, considerando a função de probabilidade da interação entre o fóton e o campo eletromagnético da superfície do material. Ambas as abordagens são avançadas e geralmente não são

discutidas em nível de graduação ³⁴. Talvez por isso, as respostas dos participantes evidenciaram ainda mais suas concepções espontâneas sobre a natureza da luz e sua interação com a matéria.

P1, aparentemente assumindo a natureza de onda ou partícula da luz, uma noção de Racionalismo Completo (**RCo**), afirmou: “É possível que os dois fenômenos aconteçam, mas em momentos diferentes. Quando a luz atinge uma lente, por exemplo, uma parte é refletida de imediato, enquanto a outra passa pela lente e pode ser refratada. Isso pode ocorrer em superfícies que não são totalmente reflexivas, como a água”.

P3 respondeu a partir da natureza particular da luz, mas sem abordar aspectos probabilísticos, permanecendo também no **RCo**: “Acho que cada fóton de luz reage de uma forma diferente: um fóton pode refletir enquanto outro sofre refração, dependendo de como interage com a superfície. Visivelmente, parece que os dois fenômenos ocorrem ao mesmo tempo, mas cada fóton resultará em apenas uma dessas opções”.

P2 manteve a noção **RCo** dos demais participantes: “Acredito que, se a luz se comporta tanto como partícula quanto como onda, os dois fenômenos podem coexistir. Em ambas as situações, é possível que uma parte do feixe de luz seja refletida e outra sofra refração, talvez uma em quantidade maior e outra menor.” A coexistência mencionada por P2 refere-se a partes diferentes do feixe de luz, portanto, em um sentido diferente do abordado na pergunta.

8.3.3 O papel do olho no processo da visão

A seguinte questão foi revisitada de maneira ligeiramente diferente daquela aplicada no segundo encontro, descrita na Seção 7.3.1.3, O papel do olho no processo da visão, e acompanhada pela Figura 29: “Como você acredita que seria a experiência de observar a luz em uma situação em que existissem apenas você, a luz e o vácuo? Você considera que a visibilidade da luz depende de fatores como o meio em que se propaga ou a interação com os olhos do observador ou objetos materiais? Considere a situação do diagrama e a seguinte afirmação: O Observador 1 verá o objeto e o Observador 2 verá a imagem, pois eles podem ver os raios do objeto e da imagem, respectivamente”.

³⁴ Este é um exemplo de que os participantes estão raciocinando com base em escolas de pensamento mais afastadas do Realismo Ingênuo, em comparação ao início do curso.

O Participante 2 manteve o teor de sua resposta: “Sem um anteparo, a imagem e o objeto não serão vistos, pois a luz não está se dirigindo aos olhos,” reconhecendo que o raio de luz é visível apenas quando atinge os olhos.

P3, por sua vez, mudou sua percepção³⁵. No segundo encontro, ele havia afirmado que “ambos os observadores enxergarão a imagem, pois a lente fará com que os raios do objeto formem a imagem, e a retina desempenhará o mesmo papel.” Na nova resposta, afirmou: “Nenhum dos observadores vê o objeto. Se os raios de luz não chegam aos olhos do Observador 1, ele não consegue ver o objeto, pois não enxerga a fonte de luz nem sua reflexão. O Observador 2 também não vê, pois, embora a imagem exista, não há nada para refletir a luz até seus olhos.”

O Participante 2 apresentou uma evolução similar à de P1. Inicialmente, afirmara que “o Observador 1 verá a luz emitida pelo objeto, enquanto o Observador 2 verá a imagem do objeto.” No quarto encontro, ele passou a afirmar: “O Observador 1 não vê o objeto. Já o Observador 2 não consegue ver a imagem do objeto, pois, sem um anteparo, a imagem é dispersa no ambiente e não pode ser vista, embora ainda exista.”

Todos os participantes apresentaram suas argumentações alinhadas à escola de Racionalismo Clássico (RCI).

8.3.4 Síntese reflexiva do quarto encontro

Na análise dos dados desta seção, evidencia-se um avanço significativo na evolução conceitual dos participantes, reforçando a relevância da interação social para a internalização dos conceitos. Assim como na seção anterior, a atividade revelou um movimento dinâmico dos participantes entre noções intuitivas e um entendimento mais elaborado.

Inicialmente, os participantes apresentaram ideias típicas do Realismo Ingênuo (RI), como incertezas em relação à quantidade de fontes de luz necessárias para gerar sombras coloridas e à composição das cores, refletindo uma compreensão mais intuitiva. Nesse contexto, a atuação do pesquisador como parceiro mais experiente foi fundamental. Ele estimulou os participantes a questionarem suas respostas iniciais e explorarem conceitos como a composição das cores primárias da luz (RGB) e dos pigmentos (CMYK).

A interação social entre os participantes e o pesquisador criou um ambiente de aprendizagem dialógico e colaborativo, no qual os participantes enfrentaram e superaram suas

³⁵ [RT] Este é um exemplo de evolução conceitual: os participantes reconheceram que, embora a imagem exista no espaço, é necessário que os raios de luz incidam sobre os olhos para que ela seja vista.

incertezas por meio de discussões e intervenções direcionadas. Esse processo culminou na internalização de conceitos mais precisos, evidenciada pela reorganização das concepções dos participantes sobre cores e sombras. Embora, inicialmente, tivessem dificuldades em diferenciar os modelos de cores RGB e CMYK, a orientação recebida conduziu-os a uma compreensão mais clara, permitindo uma visão mais sistematizada dos conceitos abordados.

Com base em Vigotski, o desenvolvimento conceitual ocorre em etapas, nas quais noções iniciais e pré-científicas, como as do Realismo Ingênuo, servem de base para a compreensão de conceitos científicos mais estruturados, como os Racionalismo Clássico (RCl), observados ao final do encontro. Esse processo progressivo é essencial para que os participantes avancem em níveis de compreensão, sustentados pelas discussões e conhecimentos adquiridos.

O relato revela que os participantes, partindo de concepções espontâneas sobre luz, discutiram ideias como a dualidade onda-partícula e as propriedades de reflexão e refração. O desenvolvimento de noções mais sofisticadas mostrou-se gradual, à medida que os participantes interagiram com conceitos científicos, reinterpretando e reformulando seus conhecimentos. Nessa interação, os argumentos apresentados variaram conforme as vivências individuais e os diálogos estabelecidos com os conceitos científicos.

Esse movimento entre o concreto e o abstrato é característico do desenvolvimento na Zona de Desenvolvimento Iminente (ZDI), onde os participantes, inicialmente baseados em concepções espontâneas, passam a compreender conceitos mais abstratos, como o comportamento ondulatório e corpuscular da luz. Esses conceitos tornam-se parte do repertório cognitivo à medida que são apresentados em contextos que promovem reflexão e análise crítica. Vigotski denomina esse processo de ascensão do abstrato ao concreto, destacando a importância de compreender os conceitos científicos como meio para atribuir novos sentidos às concepções espontâneas. Um exemplo marcante desse progresso conceitual ocorreu quando os participantes reconheceram que, embora a imagem exista no espaço, é indispensável que os raios de luz incidam sobre os olhos para que ela seja percebida.

8.4 Análise sobre os dados do quinto encontro

8.4.1 As concepções sobre a natureza da luz

O primeiro questionamento sobre óptica feito aos participantes ocorreu no segundo encontro, com a pergunta: “O que vocês entendem por luz?”. Naquele momento, P1 e P3

forneceram respostas alinhadas tanto às escolas de Racionalismo Completo (**RCo**) quanto ao Racionalismo Discursivo (**RD**), enquanto P2 apresentou uma resposta mais próxima do Realismo Ingênuo (**RI**)³⁶.

No quinto encontro, os participantes foram novamente expostos a uma questão similar: “Você já ouviu falar que a luz pode se comportar tanto como uma onda quanto como uma partícula? O que isso significa para você?”

As respostas de P1 e P3 passaram a se alinhar mais claramente à escola **RD**³⁷. P1 escreveu: “Significa que, dependendo do experimento, a luz se comporta de determinada maneira. No experimento da fenda dupla, por exemplo, ela se comporta como onda, enquanto no experimento do efeito fotoelétrico, observamos um comportamento de partícula”.

P3 respondeu: “Sim, já ouvi falar sobre a dualidade da luz. Entendo que a luz é uma ‘coisa’ que ainda não foi completamente definida. Ela pode se comportar de duas maneiras: ou como onda ou como partícula, mas não as duas ao mesmo tempo, variando conforme o experimento”.

O Participante 2, por sua vez, migrou de uma resposta alinhada ao Realismo Ingênuo (**RI**) para o Racionalismo Discursivo (**RD**)³⁸. No segundo encontro, sua resposta refletiu uma visão RI, ausente de noções de onda, partícula ou aspectos quânticos: “A luz do sol, por exemplo, faz as plantas crescerem e alimentarem as pessoas. O estudo das cores pode ajudar em situações do dia a dia, como escolher a cor da roupa em um dia quente. Conseguir se olhar no espelho ou tirar uma foto para recordação são coisas que só fazemos graças à luz. Além disso, há crenças que associam a luz a algo divino, uma salvação ou bênção”.

Já no quinto encontro, sua resposta demonstrou uma compreensão mais sofisticada: “A luz tem comportamento dual, como onda e como partícula. Consigo imaginar que, em alguns momentos, a luz se comporta como uma onda e, quando a observamos, ela começa a se comportar como partícula, e também o contrário. Acredito que essa dualidade depende de como a observamos e de qual experimento estamos realizando”.

³⁶ A descrição detalhada das respostas está na Seção 7.3.1.1, *As Concepções sobre a Natureza da Luz*.

³⁷ Nesta situação, entendemos que a pergunta pode ter levado à ausência de comentários alinhados à escola RCo.

³⁸ [RT] Exemplo de evolução conceitual. As respostas iniciais de P2 demonstraram uma ligação direta entre suas experiências vivenciais e as concepções apresentadas. Por outro lado, as respostas de P1 e P3 podem ser consideradas de caráter científico. O pesquisador partiu dessas concepções, utilizando exemplos conectados ao cotidiano, para atuar na ZDI de P2 e promover avanços. A transição do abstrato para o concreto torna-se evidente quando P2 passa a relacionar os conceitos de RD à natureza da luz, ao mesmo tempo em que aprimora sua noção baseada no senso comum.

8.4.2 Noções sobre o efeito fotoelétrico

O efeito fotoelétrico foi descoberto ao irradiar corpos metálicos com luz ultravioleta, fazendo com que adquirissem carga positiva. Posteriormente, verificou-se que isso ocorria devido à emissão de elétrons do metal. Em seguida, descobriu-se que a energia dos elétrons emitidos dependia da frequência da luz incidente, e não de sua intensidade. Por fim, Einstein propôs um modelo teórico do efeito fotoelétrico em que um quantum de luz transfere toda a sua energia para um único elétron.

Considerando o exposto, as respostas mais prováveis à pergunta “Você já ouviu falar sobre o efeito fotoelétrico? O que você acha que é?” seriam aquelas pertencentes às escolas **RCo** e **RD**.

A resposta de P1 alinhou-se totalmente à escola **RD**: “Os fótons da luz UV atingem uma placa de metal, transferindo sua energia para os elétrons, que, ao receberem essa energia, são arrancados da placa, pois a energia de ligação é rompida.” Essa resposta considerou a existência de fótons e, implicitamente, a transferência quantizada de energia, incluindo a noção de ligações eletrônicas³⁹.

A resposta de P3 foi similar à de P1: “Fiz uma pesquisa para apresentar sobre a constante de Planck, mencionando que ela também foi usada nesse contexto. O efeito fotoelétrico é, salvo engano, quando uma certa frequência de luz consegue emitir elétrons de um metal.” A quantização de energia também estava implicitamente presente na constante de Planck, e a relação entre frequência da luz e emissão de elétrons é uma prerrogativa da teoria quântica⁴⁰.

O Participante 2 não deixou claro se a “partícula” citada em sua resposta referia-se ao fóton ou à luz como partícula em sua perspectiva clássica **RCo**: “O efeito fotoelétrico é basicamente a ação de uma luz sobre um metal. Os fótons de luz são refletidos pelo metal. Esse fenômeno só pode ser explicado pela teoria corpuscular da luz”.

A maneira de esclarecer essa dúvida seria verificar o tipo de interação entre essa partícula e o metal, mas P2 cometeu uma imprecisão, pois o efeito não envolve reflexão, e sim a absorção de fótons pela superfície do metal, seguida da emissão de elétrons. Devido a essas características, categorizamos a resposta na escola **RCo**⁴¹.

³⁹ [RT] Essa integração de conceitos abstratos em uma explicação concreta reflete a ascensão do abstrato ao concreto.

⁴⁰ [RT] Isso indica um progresso significativo no desenvolvimento conceitual.

⁴¹ [RT] Essa confusão sugere que P2 encontra-se em um estágio anterior de desenvolvimento conceitual, no qual os conceitos abstratos ainda não foram plenamente incorporados em uma compreensão concreta do fenômeno.

As respostas de P1 e P3 exemplificam a ascensão do abstrato ao concreto, ao demonstrarem a capacidade de aplicar conceitos abstratos complexos em explicações concretas e precisas. A resposta de P2 indica a necessidade de um maior apoio educacional para promover essa evolução conceitual, ressaltando a importância das interações sociais e instrução adequada no desenvolvimento do entendimento científico.

8.4.3 As concepções sobre a interação da luz com a matéria

No nível de graduação, a interação entre radiação e matéria é geralmente abordada por meio do efeito fotoelétrico e do efeito Compton. O conceito mais abrangente de absorção da luz, consequência dessa interação, envolve um estudo mais avançado, pois considera diversos efeitos resultantes da interação de fótons de diferentes energias com variados materiais, o que dá origem a diversas técnicas espectroscópicas de análise de materiais.

Inicialmente, os participantes foram solicitados a responder à seguinte pergunta: “O que significa para você o termo ‘absorção’ quando falamos de fótons e materiais?” Após lerem o texto intitulado “Montando em um fóton”⁴², no qual o autor explora a interação de três tipos de fótons – Dr. Gamma (raios X), Prof. Beta (luz visível) e Dean Alpha (ondas de rádio) – com três materiais distintos: metal (folha de cobre), cerâmica (placa de vidro) e polímero (folha de polietileno), discutiram sobre a redução da velocidade da luz em um meio material.

Ao responderem à primeira pergunta, antes de lerem o texto, o Participante 1 utilizou uma argumentação alinhada à escola **RD**: “Quando o fóton atinge uma superfície, ele pode excitar os átomos daquele material, já que os elétrons absorvem a energia do fóton.” Embora essa noção esteja correta, faltaram detalhes sobre como ocorre a excitação dos elétrons do material e quais seriam os destinos dos fótons e elétrons envolvidos.

O Participante 3, por sua vez, citou um exemplo de interação entre fóton e elétron denominado fluorescência, também alinhado à escola **RD**: “Entendo o termo absorção como o momento em que um elétron recebe a energia da luz, mudando de orbital, até que ele emita essa energia de alguma forma e volte à sua ‘posição’ inicial”.

Assim como a resposta de P1, a de P3 poderia ser mais detalhada, abordando, por exemplo, como diferentes energias de fótons podem gerar diferentes espectros de fluorescência. Em ambos os casos, fica evidente que os participantes possuem um

⁴² [RT] Determinados trechos do texto aplicam o princípio da ascensão do abstrato ao concreto.

conhecimento básico sobre a interação entre fótons e materiais – ou seja, que o fóton pode ser absorvido e reemitido –, mas ainda carecem de um entendimento mais aprofundado sobre as diversas possibilidades de interação entre elétrons e fótons.

O Participante 2 relacionou a absorção da luz com fenômenos cotidianos perceptíveis, focando em aspectos concretos e impressões imediatas, refletindo uma concepção alinhada ao Realismo Ingênuo (**RI**): “Para mim, absorver algo é quando a luz passa por um objeto e permanece nele, como a luz em superfícies pretas. Um exemplo é a escolha de roupa em um dia ensolarado e quente: se você escolhe uma roupa preta, ela vai absorver toda a luz que chega até você. Muitas pessoas não compram carros pretos por esse motivo, porque, se ficarem no sol, esquentam mais”.

Após a leitura do texto, os participantes foram questionados sobre a causa da redução da velocidade da luz ao passar do vácuo para um meio material. A resposta para essa pergunta envolve o conceito de velocidade de fase, ainda não abordado no curso de graduação dos participantes. O Participante 1 sugeriu que essa redução ocorre devido à maior densidade do meio, que oferece mais resistência à passagem da luz: “Porque, quando a luz atinge o material, ela sofre mais refração, e isso é perceptível. Por exemplo, você nota a diferença na água e no ar. No ar, a velocidade da luz é próxima à do vácuo. Então, existe uma diferença entre o ar e outros materiais. Um meio mais denso faz com que a luz se propague mais devagar. [...] como ela encontra mais... não sei se a palavra certa é resistência. Ela perde um pouco da sua velocidade”.

Com dúvidas sobre o caráter ondulatório ou corpuscular da luz, P1 acrescentou: “Eu só queria dizer que precisa ser alguma partícula. Por exemplo, o som se propaga mais rápido em meios sólidos do que em outros, certo? Então também deve ser um comportamento de partícula, eu acho. [...] Analisar como sendo uma partícula, para descrever seu comportamento em meios sólidos...” Essa resposta contém elementos da escola **RCl**, ao destacar a maior refração em meios mais densos, e da escola **RCo**, ao considerar a luz como partícula. Além disso, a imprecisão do conceito de ‘resistência’ e a frágil analogia entre o comportamento do som e da luz indicam um alinhamento à escola **ECP**.

O Participante 3 defendeu a ideia da luz como partícula, alinhando-se à escola **RCo**: “A luz entra e faz um movimento de tum-tum-tum-tum. [...] Meu tum-tum-tum representa uma partícula.” Quando questionado sobre o que aconteceria com a velocidade da luz ao sair do material e retornar ao meio anterior, respondeu: “A única coisa que a luz fez foi se chocar de forma elástica. A velocidade é constante...”

O Participante 2 concordou e complementou com uma noção de Realismo Ingênuo (RI): “Faz muito sentido essa ideia de que, se fosse uma partícula, ela entraria na água e perderia sua aceleração”.⁴³

8.4.4 Síntese reflexiva do quinto encontro

As discussões deste encontro, especialmente sobre a interação da radiação com a matéria, abordaram temas avançados que os participantes não haviam explorado durante a graduação. Pode-se considerar, portanto, que suas respostas são exemplos genuínos de como aplicariam diferentes abordagens teóricas para resolver problemas inéditos. Vigotski utilizava abordagens similares para investigar a gênese de determinada função psicológica, ao propor problemas que não eram comuns ao voluntário, de tal forma que soluções rápidas e fáceis não estavam presentes.

Em situações envolvendo problemas inéditos, verificou-se que o uso de escolas filosóficas mais sofisticadas era adotado apenas após questionamentos realizados pelo pesquisador. Quanto mais avançada era a abordagem teórica escolhida, menor o nível de detalhamento nos exemplos e explicações adicionais, o que pode indicar uma limitação no domínio dos signos relevantes ao tema. Esses signos, por sua vez, precisam ser adquiridos por meio de estudo formal. Nesse contexto, constatou-se que a intervenção pontual realizada durante o encontro foi suficiente para introduzir a existência de determinados signos. Contudo, o tempo necessário para que as intervenções do pesquisador, bem como as mediações por instrumentos e signos, promovam a independência de pensamento científico entre os participantes, parece ser maior do que a duração do curso.

Por outro lado, abordagens mais próximas do Realismo Ingênuo mostraram-se a primeira opção para a resolução de problemas inéditos. O arcabouço de signos do senso comum é, como esperado, mais amplo que o de origem científica. Em alguns casos, signos de maior complexidade foram utilizados de maneira imprecisa e desordenada, o que se evidenciou por meio de exemplos oriundos da experiência cotidiana. Um exemplo disso foi o

⁴³ [RT] Os diferentes níveis de compreensão apresentados pelos participantes refletem os estágios de evolução conceitual. P3 demonstra uma integração mais eficaz entre conceitos abstratos e aplicações concretas, indicando um desenvolvimento conceitual mais avançado. P1 está em transição, buscando relacionar conceitos abstratos a situações concretas, mas ainda apresenta inconsistências que requerem acompanhamento para serem resolvidas. P2 permanece no nível das observações concretas, com pouca integração de conceitos abstratos, mostrando a necessidade de intervenção educativa para promover a ascensão conceitual.

uso do conceito de ‘aceleração’ por P2, ao referir-se à velocidade, e do conceito de ‘resistência’, empregado por P1.

8.5 Análise sobre os dados das entrevistas

8.5.1 Concepções sobre luz natural e luz artificial

“Como você descreveria as características da luz solar comparadas às da luz artificial? Você percebe diferenças significativas entre elas em termos de natureza e efeito?”

O Participante 1 abordou inicialmente a questão a partir de uma perspectiva **RI**, citando o calor sentido devido a incidência da luz. Em seguida, procurou explicar a razão disso alinhando-se à escola alinhando-se à escola **RCo**, citando os comprimentos de onda da luz: “A luz solar, por exemplo — não sei quanto à luz elétrica — mas a luz solar aquece por causa da radiação infravermelha, certo? E sentimos esse calor. Já nas luzes de uma fonte elétrica, como lâmpadas, não sentimos o mesmo efeito. Não sei se isso se deve à intensidade ou a alguma outra razão, talvez porque elas não emitam todos esses comprimentos de onda”.

O Participante 2 iniciou a abordagem da questão a partir da mesma escola que P1, citando as diferenças entre as cores, o calor produzido e seu efeito sobre as plantas: “A primeira coisa é a cor, né? Normalmente, as lâmpadas LED que vemos hoje em dia são mais esbranquiçadas, enquanto a luz do sol não é necessariamente branca. Em alguns contextos, ela é mais puxada para o amarelo. Além disso, LEDs não esquentam como o sol. [...] Outra coisa é o efeito nas plantas; acho que sob luz artificial elas não crescem como na luz do sol.”. Além disso, revelou espontaneamente a percepção de que o processo de geração de cada tipo de luz pode ser importante, indicando consciência de que apenas a percepção **RI** é limitada para abordar o assunto⁴⁴: “Não sei exatamente como a luz das lâmpadas é produzida...”

O Participante 3 alinhou-se à escola **RCo**, destacando que a diferença estaria na faixa espectral emitida por cada fonte luminosa: “A luz, em si, seria a mesma. A única diferença é que a luz do sol contém outros tipos de radiação que também podem afetar, certo? Mas a luz em si seria igual; talvez o comprimento de onda fosse um pouco diferente. Nas lâmpadas, por exemplo, vemos luz com uma tonalidade específica, como 6 mil ou 5 mil, algo em torno disso.

⁴⁴ [RT] O participante demonstrou consciência da existência de explicações mais sofisticadas para o tema, mesmo não possuindo esse conhecimento no momento. Essa percepção pode ter sido favorecida pela abordagem epistemológica adotada no curso. Além disso, trata-se de um exemplo em que o aprendiz revela sua Zona de Desenvolvimento Iminente (ZDI) ao professor, uma vez que cada processo de produção da luz, seja artificial ou natural, exige conhecimentos e signos que estão além de seu domínio atual.

Acho que essa medida é em Kelvin (K). Talvez a luz do sol seja um pouco diferente nesse aspecto, mas, essencialmente, a luz é a mesma”⁴⁵.

8.5.2 *Concepções sobre distância e percepção da luz*

“Como você explicaria a diferença na percepção da distância que a luz alcança entre o dia e a noite, considerando um exemplo em que uma vela é posicionada a uma certa distância?”

Os Participantes 1 e 2 adotaram respostas similares. P1 afirmou: “Tem aquela questão de a pupila estar mais dilatada ou não, dependendo de quanta luz estamos recebendo. [...] Quando estamos em um lugar muito claro, por exemplo, nossa pupila se contrai, ficando menor para proteger nossos olhos. Isso talvez faça com que entre menos luz.” P2 argumentou: “Acho que a luz alcança a mesma distância nas duas situações. A diferença é que é mais difícil enxergar durante o dia. [...] Acho que isso talvez tenha a ver com o nosso olho. A luz emitida pela lanterna ou pela vela estará no mesmo ambiente, tanto de dia quanto de noite.” A explicação que se fundamenta na diferença na percepção da luz durante o dia e a noite, baseada na fisiologia do olho humano, especialmente na dilatação da pupila, está parcialmente relacionada ao obstáculo epistemológico do animismo. Nesse caso, atribuem-se características humanas – como a adaptação ocular – como explicação principal para fenômenos físicos, desconsiderando os princípios ópticos envolvidos.

O Participante 3 começou afirmando que a distância alcançada pela luminosidade da vela é a mesma durante o dia e a noite: “Seria a mesma distância. Exatamente a mesma distância.” Em seguida, defendeu que veria a vela da mesma forma durante o dia: “Eu não sei se o olho seria tão fraco a ponto de, durante o dia, não conseguir enxergar uma luz, por estar recebendo outra luz [solar] e não captar aquela [da vela].” Ele complementa que, durante a noite, veria a vela mais facilmente por ela ser o único ponto de luz: “Porque seria a única fonte de luz. Não haveria a luz do sol incidindo e refletindo em todas as direções. Então, provavelmente só haveria a vela e o que está ao redor dela, os locais próximos que estão refletindo essa luz. Assim, eu veria tudo com mais facilidade.” Aparentemente, essa última afirmação está relacionada à dificuldade de enxergar em ambientes muito iluminados, o que exige o uso de óculos solares⁴⁶.

⁴⁵ [RT] Raciocinar sobre a faixa espectral e mencionar medidas em Kelvin é um exemplo da “ascensão do abstrato para o concreto”.

⁴⁶ [RT] O Participante 3 também aborda o funcionamento do olho, acrescentando considerações sobre a presença de outras fontes de luz e a reflexão da luz solar. Embora ainda não tenha superado completamente o obstáculo animista, apresenta um movimento em direção ao Racionalismo, ao tentar integrar aspectos físicos ao

A maneira como o olho humano atua no processo de visão e influencia a imagem percebida começou a ganhar importância com os estudos de Kepler e os trabalhos sobre fisiologia ocular de Platter. Entendemos que essa concepção esteve presente nas respostas dos três participantes alinhando-se à escola **RCo**.

8.5.3 Concepções sobre a velocidade da luz

“A luz possui uma velocidade. Você a considera alta ou baixa?”

Na história da óptica, a luz, por vezes, foi considerada de propagação instantânea. A concepção de velocidade finita se estabeleceu durante o período do Racionalismo Completo (**RCo**). Nela, podemos incluir a luz como parte do espectro eletromagnético e discutir o uso de determinadas frequências nas telecomunicações. Tudo isso abre possibilidades para diversas aplicações e os participantes mostraram-se conscientes da velocidade da luz compartilhada na faixa eletromagnética, além de outros possíveis usos para a luz. Indicando a naturalidade da noção **RCo** entre os participantes.

O Participante 1 iniciou afirmando que a velocidade da luz é alta e complementou que “podemos usar a velocidade da luz para calcular a distância de planetas, estrelas e até de outras galáxias. Isso é muito importante na astronomia”. Quando questionado sobre o efeito sobre as telecomunicações, ponderou a situação: “Ela percorre uma distância realmente muito grande em segundos, então não percebemos uma diferença, claro, para distâncias terrestres. Mas, por exemplo, em uma missão espacial, talvez demorasse um pouco mais, mas não sei se isso chegaria a ser um problema⁴⁷.”

O Participante 2 apresentou uma contextualização histórica e destacou que a luz pode variar em diferentes meios: “Eu tenho a noção de que a luz é extremamente rápida. Assim como Galileu dizia, a luz tem uma velocidade muito alta. Tanto que, antigamente, as pessoas acreditavam que ela fosse instantânea. Mas também tenho a noção de que, em diferentes meios, a luz possui diferentes velocidades.” Sobre as aplicações em telecomunicações,

fenômeno observado. Com uma intervenção adequada dentro de sua Zona de Desenvolvimento Iminente (ZDI), seria possível promover a internalização de conceitos mais complexos sobre a propagação da luz e a percepção visual.

⁴⁷ [RT] O Participante 1 reconhece a velocidade extremamente alta da luz, um conceito essencial para a astronomia moderna. Ao mencionar seu uso no cálculo de distâncias até planetas, estrelas e galáxias, demonstra uma compreensão prática desse conceito, exemplificando o princípio da ascensão do abstrato ao concreto, conforme destacado na teoria de Vigotski. Ao expressar dúvidas sobre o impacto desse atraso em missões espaciais, revela uma compreensão geral da questão, embora ainda não domine plenamente as especificidades. Essa lacuna de conhecimento é compreensível, já que o entendimento das implicações exatas da velocidade da luz em contextos tão especializados não é comum.

afirmou que não apresenta efeitos relevantes de atraso: “Acredito que a luz seja extremamente rápida. Por exemplo, se eu tentar ligar para uma pessoa no Japão agora, pagarei um valor alto pela ligação, mas o celular dela vai tocar quase instantaneamente. O mesmo vale para a internet⁴⁸.”

O Participante 3 abordou aspectos técnicos em como explorar tempo de deslocamento da luz em detectores: “Por exemplo, sensores... Se a luz fosse mais lenta, eu não teria uma resposta quase imediata. Existem sensores em que, no exato momento em que você passa a mão, ele apita ou emite algum sinal. Esse tipo de tecnologia realmente demonstra uma utilidade que é praticamente instantânea.” Sobre as telecomunicações, apresentou um exemplo de atraso perceptível: “Na própria TV, percebemos um certo *lag* quando uma pessoa está em outra região do país, acredito que existam milissegundos de diferença que influenciam na velocidade⁴⁹.”

8.5.4 Concepções sobre formação de sombras

“Como você definiria uma sombra? O que é uma sombra?”

A formação de sombras pode ser explicada por meio da propagação retilínea da luz (**RCI**) e os efeitos de borda pelo fenômeno da difração (**RCo**).

Todos os participantes definiram a região de sombra como aquela que recebe menos luz do que o seu entorno devido à ação de um obstáculo, alinhando-se à escola RCI. P1: “Quando temos uma fonte luminosa irradiando em todas as direções e colocamos um objeto no caminho dessa luz, parte da área atrás do objeto não recebe a luz. Isso acontece porque a luz é bloqueada pelo objeto, deixando essa área escura, formando a sombra.” P2: “A luz incide tanto sobre nós quanto sobre o ambiente atrás de nós. Por exemplo, se a luz está atingindo uma parede atrás de mim, a luz que bate na minha mão não consegue atravessá-la para chegar até a parede.” P3: “Em um local iluminado por dois pontos de luz ou por um

⁴⁸ [RT] A resposta do Participante 2 demonstra um entendimento que abrange desde o desenvolvimento histórico do conceito até suas implicações concretas nas tecnologias atuais, especialmente nas telecomunicações. Isso exemplifica o princípio da “ascensão do abstrato ao concreto” de Vigotski, ao conectar o conceito abstrato de velocidade da luz a situações práticas, como ligações telefônicas e o uso da internet. Além disso, a referência histórica e a compreensão das variações da velocidade da luz refletem a mediação cultural no desenvolvimento cognitivo, mostrando que o participante está consolidando conceitos científicos através da interação com o conhecimento historicamente acumulado.

⁴⁹ [RT] O Participante 3 demonstra uma compreensão prática e técnica da velocidade da luz, ilustrada por exemplos específicos de tecnologias que dependem da resposta rápida da luz, como sensores, e por sua percepção da latência nas telecomunicações. Sua análise abrange desde o impacto direto da velocidade da luz em dispositivos cotidianos até a influência de pequenas latências nas comunicações de longa distância, evidenciando um raciocínio pragmático e aplicado. Essa abordagem, que relaciona o conceito científico à funcionalidade concreta, exemplifica o princípio de Vigotski da “ascensão do abstrato ao concreto”.

ponto de luz, a sombra seria a área que está recebendo uma unidade a menos de luz. Com duas fontes de luz, um objeto terá duas sombras, enquanto com uma fonte terá uma única sombra que não está recebendo luz diretamente”.

Em seguida, os participantes foram questionados sobre os efeitos de borda do obstáculo. P1 e P2 destacaram que o a borda da sombra se torna mais borrada, quanto mais longe o obstáculo estiver do anteparo. Ambos se abstiveram da noção ondulatória ao não considerar o efeito de difração. Além disso, as respostas a seguir, de P1 e P2, demonstram tentativas superficiais de explicação do fenômeno, as quais classificamos como empiristas (ECP): “Quanto mais próximo o objeto está do anteparo, mais definido é o contorno da sombra. Quanto mais distante, o contorno fica mais borrado” (P1). P1 atribuiu este efeito à própria luz que incide no obstáculo e que voltaria a preencher o espaço atrás dele: “Porque o feixe de luz que passa ao lado do objeto talvez ‘invada’ um pouco a sombra nas bordas, deixando o contorno menos definido. Mas, se o objeto estiver bem próximo do anteparo, conseguimos ver um contorno bem mais nítido.” Este efeito como descrito por P1 é muito próximo das descrições dos primeiros experimentos de Grimaldi, que descobriu o então novo efeito óptico denominado por ele de difração (*diffractio*) (Darrigol, 2012).

O Participante 2, por vez, atribuiu a região de penumbra à iluminação difusa do ambiente: “Acho que é porque a luz está meio que distribuída pelo ambiente. E como estamos perto da parede, menos luz do resto do ambiente chega até essa parede. Mais luz atinge a mim e menos luz chega à parede. E, quando você está mais distante da sombra, há mais espaço para a luz chegar até lá. Por isso, a sombra fica menos definida.”

O Participante 3 fez uma relação correta entre a discussão de um experimento realizada em uma disciplina de graduação com a situação proposta pelo pesquisador, atribuindo corretamente o fenômeno da difração, alinhando-se à escola **RCo**: “O professor [...] explicou sobre um experimento em que a luz passa por uma fenda e se espalha como uma onda, e depois passa por outra fenda, onde também se espalha, certo? Então, talvez esse seja o motivo”⁵⁰.

⁵⁰ A partir do relato dos participantes, percebe-se que, embora as explicações iniciais estejam corretas dentro do modelo de propagação retilínea da luz, elas não alcançam uma abordagem mais abrangente que envolva a física ondulatória. Esse conhecimento é essencial para compreender fenômenos como a transição gradual entre sombra e luz (penumbra) ou o borrão nas bordas causado pela difração. Esse aspecto evidencia uma lacuna recorrente no ensino de óptica, onde o modelo retilíneo é frequentemente ensinado de forma isolada, sem conexão com o modelo ondulatório, limitando uma compreensão mais profunda dos fenômenos ópticos. Inicialmente, os participantes apresentaram explicações baseadas no conhecimento espontâneo. Por exemplo, P1 e P2 atribuíram o borrão a fenômenos de luz difusa ou à “invasão” pelas bordas. Apenas P3 avançou para uma explicação científica, incorporando o conceito de difração. Esse processo ressalta a importância de

8.5.5 Concepções sobre pressão de radiação

“Nas histórias de ficção científica que mencionam ‘caravelas solares’, essas naves utilizam velas para aproveitar a luz de uma estrela, como o Sol, que, por sua vez, atua como um ‘vento’ para impulsioná-las no espaço. Considerando essa ideia, é possível que a luz, ao incidir sobre uma superfície, exerça uma força capaz de movimentá-la, mesmo que essa força seja extremamente pequena?”

As respostas a esta pergunta podem evidenciar a forma com a qual os participantes percebem a interação da luz com a matéria, incluindo a percepção da noção de força e inércia em um ambiente sem atrito. Uma resposta que aceite a existência da força de radiação, mas negue o efeito de aceleração, pode estar comprometida com uma visão aristotélica da mecânica, a qual influencia a maneira de pensar sobre o problema de óptica apresentado.

O Participante 1 acredita na transferência de momento do fóton ao citar o efeito Compton e complementou que em certas condições poder-se-ia verificar a aceleração gerada pela radiação. Esta noção está alinhada à escola **RD**. “Sim, como no caso do efeito Compton, em que os fótons da luz interagem com os átomos de um material, atingindo os elétrons. Essa interação causa um impacto, mas, devido à escala extremamente pequena, não chega a provocar um movimento significativo ou um impacto de grande magnitude. No entanto, dependendo das condições, como a quantidade de luz, pode haver um efeito perceptível.”

O Participante 2 procurou referências em aspectos concretos, como no conceito de calor para justificar a existência de força, uma noção **RI**. A noção de que a força não é ‘forte’ o suficiente para gerar aceleração é **RI** e implicitamente confunde os conceitos de inércia e atrito, de maneira similar ao que faz o conceito aristotélico de mecânica: “É meio estranho pensar que a luz empurraria, sabe? Não parece uma força física forte o suficiente para conseguir... Não sei. Talvez com o calor... Acho que, se fosse empurrar, ela esquentaria o suficiente para algo se mover. [...] Como se fosse um vento, por exemplo, acho que não”.

O Participante 3 iniciou sua resposta com a mesma noção **RI** de P2: “A luz pode, por exemplo, aumentar a temperatura. Talvez, se pegarmos um balão de ar preto e outro branco, o balão preto se moveria mais rápido porque esquento o ar ao seu redor, né? Esquentando tudo.” Em seguida, foi questionado: “Mas você não acredita que a luz gera força diretamente?” e respondeu a partir da escola **RCo**: “Se fosse para escolher um lado, eu diria que sim. Se pensarmos na luz como partícula, dentro da dualidade onda-partícula, talvez ela pudesse

intervenções pedagógicas que auxiliem os estudantes na transformação de seus conhecimentos espontâneos, conectando-os aos conceitos científicos pertinentes.

causar alguma força. Mas não sei, né? Não coloco a minha mão no fogo por nada disso.” Esta mudança de escola motivada pelo pesquisador revelou que o primeiro impulso é abordar problemas novos por uma escola mais próxima da RI e que a insegurança sobre o conhecimento de escolas mais racionais pode ser um motivo para isso⁵¹.

8.5.6 *Síntese reflexiva das entrevistas*

As respostas deste encontro evidenciaram como os participantes lidam com problemas complexos. Observou-se que a “tentação do concreto” é persistente, com os conceitos espontâneos, oriundos das experiências cotidianas, guiando a maioria das explicações. Exemplos disso incluem a inclusão da geração de calor como condição intermediária entre luz e força no fenômeno de pressão de radiação, ou a ideia de invasão da luz pelas bordas para explicar o efeito de penumbra.

Movimentos em direção ao racionalismo também foram observados, especialmente após a intervenção do pesquisador. Isso indica que, com a atuação consciente de um parceiro mais experiente (o professor) em um ambiente de interação social dialógica, é possível promover a transição dos conhecimentos espontâneos para os científicos. O Participante 3, por exemplo, demonstrou uma Zona de Desenvolvimento Iminente mais avançada em diversas situações, como ao discutir as diferenças entre luz natural e artificial.

Percebeu-se também que os participantes adquiriram maior consciência sobre as limitações impostas pelo conhecimento espontâneo. A insegurança gerada pela falta de um conhecimento mais avançado parece ter influenciado a abordagem de novos problemas, orientando-os para escolas filosóficas mais próximas do realismo. Nesse contexto, Bachelard destaca que raciocinar com base em um racionalismo crescente é desafiador tanto para cientistas quanto para leigos, exigindo um processo contínuo de autoavaliação.

Por fim, quando incentivados a adotar escolas mais complexas, os participantes assim o fizeram, evidenciando um desenvolvimento na sua Zona de Desenvolvimento Iminente e nos signos relevantes ao tema. Essas informações são valiosas para o professor, pois permitem reconhecer os conceitos espontâneos dos estudantes e planejar atividades que considerem suas Zonas de Desenvolvimento Iminente.

⁵¹ [RT] O participante apresenta potencial para internalizar conceitos científicos mais complexos com a mediação adequada, respeitando a sua Zona de Desenvolvimento Iminente.

9 RESPOSTAS ÀS QUESTÕES NORTEADORAS DE PESQUISA

Este capítulo de conclusão busca responder às questões norteadoras da pesquisa, analisando os resultados obtidos e extraindo deles um significado mais amplo. O objetivo é explicitar os aprendizados alcançados ao longo do estudo e suas principais inferências.

A primeira seção aborda a evolução conceitual dos conhecimentos sobre Óptica demonstrada por um trio de professores de Física em formação inicial. Este aspecto reflete as mudanças conceituais e epistemológicas ocorridas ao longo da aplicação da sequência didática proposta, evidenciando o impacto do material educacional e das intervenções pedagógicas realizadas. Nela, procuramos responder às duas questões de pesquisa:

- (i) De que forma uma sequência didática fundamentada na teoria Histórico-Cultural de Vigotski pode contribuir para a evolução do perfil epistemológico, conforme proposto por Bachelard, em relação aos conceitos de óptica entre professores em formação inicial em Física?
- (ii) É possível estabelecer um perfil epistemológico, conforme proposto por Bachelard, a partir de concepções espontâneas sobre conceitos de óptica? Caso afirmativo, como esse perfil evolui após a aplicação de uma sequência didática?

Além disso, incluem-se na resposta os seguintes objetivos específicos:

- (i) Avaliar a evolução do perfil epistemológico dos professores em formação inicial em Física;
- (ii) Analisar a evolução conceitual dos professores em formação inicial em Física na perspectiva histórico-Cultural;

A segunda seção aborda os resultados referentes à construção do Produto Educacional “Da Antiguidade ao Quantum: a História da Óptica sob a Perspectiva Epistemológica de Bachelard”, cujo principal resultado foi a análise epistemológica e ontológica da evolução da Óptica, desde suas origens até a contemporaneidade. Nela, abordam-se os seguintes objetivos específicos:

- (iii) Analisar a evolução histórica e epistemológica da Óptica, conforme proposto por Bachelard;
- (iv) Analisar a evolução histórica do perfil conceitual da Óptica, conforme proposto por Mortimer;
- (v) Elaborar um produto educacional que trate da evolução dos conceitos de Óptica e natureza da luz sob a perspectiva das escolas filosóficas e obstáculos

epistemológicos, conforme a doutrina contemporânea de Bachelard e cuja aplicação didática será fundamentada na teoria histórico-cultural de Vigotski.

9.1 Conclusões sobre a aplicação do Produto Educacional

A sequência didática foi estruturada com base no Produto Educacional, que seguiu uma abordagem orientada pela epistemologia histórica de Gaston Bachelard. Essa abordagem permitiu explorar a história da óptica e a evolução de seus conceitos como uma ciência em construção, marcada por desafios e descobertas, mas também repleta de beleza e fascínio, conforme defendido por Massoni (2010).

Além dessa perspectiva, procurou-se abordar a óptica de acordo com as propostas de Galili (2000), integrando discussões sobre a natureza da luz, o funcionamento do olho humano e as interpretações psicológicas relacionadas à percepção visual e às cores.

Ao longo da aplicação da sequência didática, o pesquisador constatou o engajamento ativo dos participantes nas atividades propostas, sejam elas escritas, práticas ou em forma de questionamentos orais. Esse envolvimento evidencia o êxito da sequência em estimular a participação e o interesse dos participantes.

O resgate dos conhecimentos espontâneos esteve presente desde o primeiro encontro, em que foi possível verificar que nenhum dos participantes possuía familiaridade prévia com Gaston Bachelard, conceitos de obstáculos epistemológicos ou perfis epistemológicos. Eles demonstraram dificuldade em conectar experiências pessoais ou acadêmicas com os conceitos propostos, evidenciando uma abordagem inicial pouco crítica e fragmentada das ideias científicas, com escassa reflexão epistemológica sobre os conceitos tratados.

Neste sentido, não identificaram com clareza exemplos próprios de crenças equivocadas sobre fenômenos naturais. Em relação ao uso de metáforas, essas foram empregadas sem uma reflexão crítica sobre como poderiam restringir ou ampliar a compreensão científica. Quanto ao perfil epistemológico e à evolução de conceitos, os participantes não tinham consciência da coexistência de diferentes escolas filosóficas no desenvolvimento de conceitos científicos. Suas concepções sobre a história da luz eram fragmentadas, limitando-se à dicotomia onda-partícula e revelando confusão em relação às contribuições gregas.

Por fim, a análise integrada dos dados, conduzida à luz da epistemologia de Bachelard e da teoria histórico-cultural, possibilitou responder à questão de como a sequência didática fundamentada na teoria histórico-cultural de Vigotski contribuiu para o desenvolvimento do

perfil epistemológico dos conceitos de óptica em professores de Física em formação inicial. A resposta é detalhada nos tópicos a seguir:

- i) **A predominância inicial do realismo ingênuo ou do empirismo claro e positivista em situações desafiadoras.** Essas tendências se manifestaram com maior frequência, especialmente no quinto encontro, embora não exclusivamente. Nessas ocasiões, as ideias mais intuitivas e espontâneas surgiram como respostas iniciais. Em geral, conceitos científicos mais elaborados, já presentes na mente dos participantes, só foram apresentados após a verificação da falibilidade dessas ideias intuitivas, seja por meio da interação com um experimento, seja em resposta a indagações do pesquisador.

Além disso, conceitos de maior complexidade foram mobilizados principalmente após questionamentos do pesquisador. Isso revelou que os participantes possuíam algum domínio dessas perspectivas mais abstratas, mas relutavam em utilizá-las devido à insegurança argumentativa.

- ii) **A tomada de consciência com relação às diferentes abordagens que podem ser aplicadas a um problema.** Ficou evidente que os participantes compreenderam que as diferentes escolas filosóficas de Bachelard não constituem etapas isoladas ou completamente superadas no pensamento individual. Pelo contrário, essas escolas podem coexistir e ser mobilizadas simultaneamente, dependendo do contexto, do nível de compreensão e das demandas cognitivas de cada situação. Esse entendimento reflete uma evolução em relação às concepções epistemológicas apresentadas no primeiro encontro.

Um exemplo dessa situação foi observado quando o participante P2, no quinto encontro, expressou suas concepções sobre luz natural e luz artificial. Apesar de não dominar plenamente explicações mais avançadas, P2 demonstrou consciência de sua existência, indicando um progresso em sua percepção epistemológica.

- iii) **A evolução de perfil epistemológico de determinados conceitos na mente do participante.** Ao longo da sequência didática, diversos temas foram abordados repetidamente, de forma explícita ou implícita, permitindo observar a evolução de conceitos específicos dentro das escolas filosóficas. Um exemplo esclarecedor refere-se à compreensão da natureza da luz. O participante P2 apresentou inicialmente, no segundo encontro, uma concepção alinhada ao realismo ingênuo e, no quinto encontro, avançou para uma perspectiva mais sofisticada, próxima ao realismo discursivo.

Outro exemplo dessa evolução pode ser analisado sob a perspectiva da noção de internalização, proposta por Vigotski. Inicialmente, muitos participantes demonstraram concepções equivocadas sobre temas como a relação entre luz e calor ou a formação de imagens ópticas. Contudo, à medida que foram expostos a novos conceitos e atividades práticas – como discussões sobre a câmara escura e a propagação dos raios de luz –, começaram a internalizar esses conhecimentos e a superar obstáculos cognitivos, como o obstáculo substancialista.

Essa evolução ficou evidente, por exemplo, na resposta do participante P3 (ver Figura 30), que corretamente sugeriu que os raios luminosos precisam atingir os olhos para serem percebidos, demonstrando um avanço significativo em seu entendimento conceitual.

Corroborando a análise fundamentada no perfil epistemológico e alinhada à teoria histórico-cultural, as concepções espontâneas não são completamente descartadas; ao contrário, busca-se promovê-las gradualmente, direcionando-as para a construção de conceitos científicos mais elaborados. Esse processo, contudo, não ocorre de maneira imediata e varia conforme as particularidades de cada indivíduo. Um exemplo dessa dinâmica foi observado no terceiro encontro, durante a atividade prática sobre a formação de imagens em espelhos planos. Nesse contexto, embora P1 tenha inicialmente apresentado uma explicação científica para o fenômeno, posteriormente demonstrou incertezas em relação à sua resposta, evidenciando a natureza gradual e não linear do desenvolvimento conceitual.

iv) **Situações de interação social com pessoas mais competentes (parceiro mais capaz).** O conhecimento científico é mediado por ferramentas e signos culturais, como a linguagem, que são internalizados por meio da interação social com um parceiro mais experiente, seja o pesquisador ou outro participante. Essas interações, recorrentes ao longo da sequência didática, forneceram diversos exemplos de êxito na transição de conhecimentos espontâneos para conceitos científicos mais elaborados.

Um exemplo significativo dessa dinâmica ocorreu no segundo encontro, durante a interação entre P1 e P3. Ao explorarem questões relacionadas à intensidade da luz e à percepção de objetos distantes, os participantes demonstraram como a interação social pode servir como elemento propulsor no refinamento conceitual, promovendo avanços significativos no desenvolvimento cognitivo.

- v) **A importância de atuar na Zona de Desenvolvimento Iminente (ZDI).** Um exemplo significativo desse processo ocorreu no terceiro encontro, durante a discussão sobre a formação de imagens aéreas por lentes convergentes. Diante das dificuldades dos participantes em determinar a existência da imagem e sua localização na ausência de um anteparo, o pesquisador buscou identificar a ZDI dos envolvidos, solicitando que elaborassem diagramas para representar o fenômeno analisado. Com base nos diagramas produzidos, o pesquisador atuou diretamente na ZDI dos participantes, conduzindo uma discussão dialógica que resultou em avanços significativos na compreensão conceitual.

Com base na análise apresentada, é possível concluir que a sequência didática fundamentada na teoria histórico-cultural de Vigotski, alinhada à epistemologia de Bachelard, proporcionou avanços significativos no desenvolvimento do perfil epistemológico dos conceitos de óptica em professores de Física em formação inicial. O processo de ascensão do abstrato para o concreto foi evidenciado em diversas etapas da sequência, especialmente na internalização de conceitos científicos mais elaborados a partir das concepções espontâneas iniciais.

A abordagem dialógica e a exploração da Zona de Desenvolvimento Iminente (ZDI) foram elementos importantes nesse percurso, permitindo que os participantes transitassem de um realismo ingênuo para uma compreensão mais sofisticada e reflexiva dos fenômenos ópticos. Esse movimento foi mediado por ferramentas culturais, como a linguagem e as interações sociais, destacando o papel do parceiro mais experiente na promoção de avanços conceituais.

Além disso, a integração da epistemologia histórica de Bachelard enriqueceu a abordagem ao permitir uma compreensão dinâmica e não linear da evolução dos conceitos científicos. A convivência e o diálogo entre diferentes escolas filosóficas ajudaram os participantes a superar obstáculos epistemológicos e a desenvolverem uma visão mais crítica e contextualizada da ciência.

Por fim, a sequência didática mostrou que o ensino de conceitos científicos não se limita à simples transmissão de informações, mas envolve a reformulação ativa e gradual do conhecimento. Essa transformação é guiada pelo engajamento dos participantes em atividades práticas, pela reflexão crítica e pelo diálogo, consolidando a importância de uma abordagem pedagógica que valorize a mediação cultural e a historicidade dos conceitos. Assim, a proposta evidencia o potencial formativo da teoria histórico-cultural para a formação inicial de professores, contribuindo para uma prática docente mais crítica, fundamentada e reflexiva.

9.2 Conclusões sobre a construção e análise do Produto Educacional

A abordagem da evolução da óptica desenvolvida no Produto foi orientada pela epistemologia histórica de Gaston Bachelard, transcendendo a mera organização baseada no avanço cronológico inevitável, ao qual todo conhecimento está sujeito, ainda que possa apresentar momentos de lentidão ou retrocesso. As escolhas dos eventos considerados relevantes, bem como o entrelaçamento de diversas fontes bibliográficas, foram norteadas pelos conceitos de obstáculos epistemológicos e rupturas epistemológicas. Assim, o texto final busca evidenciar as principais rupturas ocorridas ao longo da evolução da ciência óptica, permitindo ao leitor compreender, simultaneamente, a influência exercida pelo conhecimento já consolidado – seja ele de natureza científica ou metafísica – sobre o pensamento daqueles que procuraram, ou ainda procuram, superar o estado da arte.

Diversos livros e artigos listados entre as referências bibliográficas do Produto podem ser considerados históricos por seu impacto duradouro na ciência e na filosofia. Entre os livros, destacam-se obras fundamentais como *On the Soul*, *Parva Naturalia*, *On Breath* de Aristóteles, que embasaram os primórdios da ciência ocidental, *A Filosofia do Não* e *A Formação do Espírito Científico* de Gaston Bachelard, que redefiniram a epistemologia no século XX, e *Opticks* de Isaac Newton, marco no desenvolvimento da óptica moderna. Também são notáveis *Discurso sobre o Método*, *Óptica*, *Geometria e Meteorologia* de René Descartes, obra basilar da filosofia moderna, e a biografia *Kepler* de Max Caspar, que apresenta um panorama aprofundado das contribuições de Johannes Kepler à ciência. No âmbito dos artigos, destacam-se “*On a heuristic point of view concerning the production and transformation of light*”, de Albert Einstein, que introduziu a teoria quântica da luz, “*On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether*”, de Michelson e Morley, experimento crucial para o desenvolvimento da teoria da relatividade, e “*New Theory about Light and Colors*”, de Newton, que foi pioneiro no estudo das propriedades da luz.

Com base neste complexo trabalho de curadoria e análise epistemológica, demonstramos *como* a ciência óptica evoluiu das concepções realistas, atravessando todas as etapas intermediárias previstas por Bachelard (1978): realismo ingênuo, empirismo claro e positivista, racionalismo clássico, racionalismo completo, racionalismo discursivo. As rupturas epistemológicas, que marcaram a transição entre as diferentes escolas filosóficas, são: o surgimento do conceito de fogo visual no realismo ingênuo, como uma explicação espontânea na sociedade grega; a evolução para o empirismo claro e positivista, com o desenvolvimento das teorias do meio inerte e do meio “senciente”; a geometrização do raio

visual no racionalismo clássico, promovida por Euclides e Ptolomeu, que racionalizaram o processo da visão sem abordar profundamente a natureza da luz ou das cores; o avanço para o racionalismo completo, com as concepções de luz como onda e partícula, fundamentadas pelo mecanicismo e pelas teorias ondulatórias, apoiadas em métodos matemáticos mais rigorosos; e, finalmente, a transição para o racionalismo discursivo, que incorpora a luz como objeto quântico, representando o estado contemporâneo do conhecimento sobre a luz.

Assim, a análise da evolução da óptica sob a perspectiva da epistemologia bachelardiana permitiu evidenciar não apenas o progresso contínuo do conhecimento, mas principalmente as rupturas necessárias que possibilitaram novas formas de compreender a luz e seus fenômenos. Cada obstáculo epistemológico, desde o realismo ingênuo até o racionalismo discursivo, representou um desafio à forma de pensar estabelecida, resultando em uma reformulação profunda das bases teóricas da óptica.

A análise ontológica, por sua vez, revela outras facetas da evolução conceitual da óptica. Conforme o perfil conceitual proposto por Mortimer, a luz pode ser abordada sob diferentes aspectos ontológicos e categorias. No contexto da luz como parte de uma teoria da visão, sua definição está intrinsecamente ligada ao olho. Nesse aspecto, destacam-se três categorias: (i) a luz como fogo visual que parte do olho em direção ao objeto ou como uma combinação entre o fogo visual ocular e a luz diurna; (ii) a luz como resultado da mediação de um meio inerte que transfere as qualidades do objeto ao olho, negando a existência do fogo visual; e (iii) a luz como resultado de um meio “senciente” que estende a percepção do olho até os objetos.

Por outro lado, ao tratar a luz como um ente independente do olho, sua definição é apresentada em termos matemáticos, com seus limites de validade sendo testados experimentalmente. Nesse caso, as categorias incluem: (i) a luz como onda, (ii) a luz como partícula, e (iii) a luz como objeto quântico.

Conforme idealizado em sua gênese, o perfil conceitual configura-se como uma ferramenta pedagógica valiosa para orientar intervenções educativas. Com base nas concepções organizadas em categorias, o professor pode atuar de forma ativa, identificando essas concepções nos alunos e promovendo o avanço em direção ao desenvolvimento de conceitos científicos mais elaborados.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na introdução, destacamos a importância de planejar aulas de Física à luz de referenciais epistemológicos contemporâneos. Pesquisadores brasileiros da área de ensino, como Massoni, Bruckmann e Alves-Brito, têm enfatizado os benefícios dessa abordagem, que demanda reestruturações nos currículos dos cursos de Licenciatura em Física, exigindo a colaboração entre universidades, escolas e professores.

Além das reformas estruturais, o professor enfrenta o desafio de incorporar perspectivas filosóficas e epistemológicas em sua prática. Nesse cenário, a disponibilidade de materiais de apoio torna-se essencial. Refletir em sala de aula sobre a construção da ciência, a influência de crenças metafísicas e religiosas, e os motivos que levaram certas teorias a serem superadas ou defendidas pode exigir um tempo extraclasse que muitos docentes não dispõem.

No ensino de Óptica, nossas pesquisas revelaram a carência de materiais que orientem os professores a partir dessa perspectiva. Recursos educacionais que integrem a história e a epistemologia da Óptica de forma articulada são raros. Assim, um dos objetivos centrais desta tese foi desenvolver um material de apoio voltado a professores interessados em abordar a evolução dos conceitos de Óptica sob uma abordagem epistemológica contemporânea. Embora inicialmente destinado ao ensino superior, com a adequada intervenção do professor, o material é adaptável a outros níveis.

Reconhecemos a importância de materiais didáticos acompanhados de sugestões práticas de aplicação. Por isso, propusemos uma sequência didática fundamentada na teoria histórico-cultural, acreditando em seu potencial para promover a evolução conceitual dos estudantes em um ambiente dialógico, desafiador e acolhedor.

Os resultados da aplicação dessa sequência, juntamente com exemplos reais de sua implementação, estão detalhados ao longo da tese. Consideramos que o material produzido representa uma ferramenta valiosa para professores interessados em adotar uma abordagem histórico-epistemológica no ensino de Óptica. Essa sequência didática revelou-se eficaz para promover a evolução dos perfis epistemológicos dos estudantes, ampliando sua compreensão dos conceitos de Óptica e incentivando uma reflexão crítica sobre as práticas de ensino.

As análises indicam que essa abordagem, conforme proposto por Bachelard, contribui significativamente para o desenvolvimento dos futuros professores, auxiliando na superação de obstáculos epistemológicos.

A intervenção fundamentada na teoria histórico-cultural de Vigotski demonstrou eficácia ao promover uma reflexão crítica, permitindo que os futuros professores se

apropriassem dos conceitos de Óptica a partir de uma perspectiva dialética e histórica. Esse movimento dialético, mediado por instrumentos e signos, ampliou a compreensão dos conceitos científicos, oferecendo uma contribuição significativa para o ensino de Física.

Os resultados da pesquisa têm implicações importantes para a formação inicial de professores de Física. A inclusão de discussões epistemológicas e históricas no currículo de Licenciatura pode formar docentes mais reflexivos e aptos a lidar com as concepções espontâneas dos estudantes. Além disso, essa abordagem ajuda os futuros professores a reconhecer e superar seus próprios obstáculos epistemológicos, preparando-os para ensinar Física como uma ciência dinâmica e instigante.

Com base nas conclusões, sugerimos que futuras pesquisas ampliem essa abordagem para outros conceitos da Física, explorando como diferentes perfis epistemológicos podem ser trabalhados em variados contextos e disciplinas. Estudos comparativos entre instituições e com amostras mais amplas também seriam relevantes para verificar a generalização dos resultados.

Adicionalmente, o desenvolvimento de produtos educacionais baseados em outras áreas da Física e abordagens teóricas pode oferecer subsídios para a reformulação dos currículos de Licenciatura, fortalecendo a formação de professores críticos e preparados para os desafios do ensino.

Por fim, asseguramos que todos os cuidados metodológicos foram rigorosamente seguidos, conforme Yin (2016). Esperamos que o leitor, ao analisar as evidências apresentadas, chegue às mesmas conclusões defendidas nesta tese: *a aplicação de uma sequência didática fundamentada na teoria histórico-cultural de Vigotski e articulada aos perfis epistemológicos de Bachelard demonstrou ser eficaz para superar obstáculos epistemológicos e promover a evolução conceitual de professores em formação inicial no ensino de Óptica. Os resultados evidenciam que é possível transformar perfis epistemológicos a partir de concepções espontâneas, por meio de intervenções pedagógicas cuidadosamente planejadas.*

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Douglas Xavier de. **A inserção de tópicos de Física não-linear no Ensino Médio**: desafios e potencialidades. 2016. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física em Rede) - Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2016.
- ANDRADE, Joana de Jesus de; SMOLKA, Ana Luiza Bustamante. A construção do conhecimento em diferentes perspectivas: contribuições de um diálogo entre Bachelard e Vigotski. **Ciência & Educação**, v. 15, n. 2, p. 245-68, 2009.
- BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto Editora Ltda. 2005.
- BACHELARD, Gaston. **A Filosofia do não**. 2. Ed. São Paulo: Abril Cultural, 1978. (Coleção Os Pensadores).
- BRITO, Pedro Paulo de. **Uma abordagem experimental com materiais de baixo custo no ensino da óptica geométrica**. 2019. Produto Educacional (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2019.
- BUSS, Cristiano da Silva. O conceito de texto de apoio aos professores enquanto produto educacional dos mestrados profissionais. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, Passo Fundo, v. 5, n. 2, p. 999-1017, 2022.
- CARDOSO, Rogério dos Santos; BATISTA, Jerias Alves; SOUSA, Karla Cristina Silva. **Óptica geométrica e a visão do olho humano**. 2018. Produto Educacional (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. As Práticas experimentais no Ensino de Física. *In*: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa de; GIL-PÉREZ, Daniel. **Formação de professores de Ciências**: tendências e inovações. São Paulo: Cortez, 2011.
- CEDRAN, Jaime da Costa. **O conceito de estrutura dos compostos orgânicos**: uma análise à luz da epistemologia de Gaston Bachelard. 2015. 248 p. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência e a Matemática) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.
- CHAPUZ, Antonio; GIL-PÉREZ, Daniel; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de; PRAIA, João; VILCHES, Amparo. **A necessária renovação no Ensino de Ciências**. São Paulo: Cortez, 2011.
- CHIMISSO, Cristina. **Gaston Bachelard**: Critic of Science and the Imagination. USA: Routledge, 2001.
- CLAVERIE, Jerome; ABERGEL, C. Giant viruses: The difficult breaking of multiple epistemological barriers. **Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences**, v. 59, p. 89-99, 2016.

COLLIS, Kevin F.; JONES, Brian L.; SPROD, Tim.; WATSON, Jane M.; FRASER, S. P. Mapping development in students' understanding of vision using a cognitive structural model. **International Journal of Science Education**, v. 20, n. 1, p. 45-66, 1998.

COSTA, Celma Laurinda Freitas. **Ciência e educação em Bachelard**. 2015. 201 p. Tese (Doutorado em Educação) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2015.

CRÉPIN-OBERT, Patricia. L'analogie, obstacle épistémologique ou raison scientifique pour enseigner la parenté et la filiation entre êtres vivants. **Recherches en didactique des sciences et des Technologies**, v. 9, p. 19-50, 2014.

DARRIGOL, Olivier. **A History of Optics: From Greek Antiquity to the Nineteenth Century**. Oxford: Oxford University Press, 2012.

DEJAN, Petrovic. On the application of Gaston Bachelard's philosophy of science and epistemology to the problem of understanding in history of sociology. **Sociologija**, v. 59, n. 2, p. 156-172, 2017.

DUARTE, Newton. **Os conteúdos escolares e a ressurreição dos mortos**. 2. ed. Campinas: Autores Associados, 2021.

ESSER, Larissa; SCHNEIDER, Renata; PEREIRA, Kariston. Contribuições da epistemologia de Gaston Bachelard para o ensino de Física: uma revisão sistemática. **Revista de Ciências da Educação**, Americana, a. 23, n. 48, p. 1-18, 2021.

ESTEBAN, Maria Paz Sandin. **Pesquisa qualitativa em educação: fundamentos e tradições**. Porto Alegre: Artmed, 2010.

GALILI, Igal; HAZAN, Amnon. Learners' knowledge in optics: interpretation, structure and analysis. **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 1, p. 57-88, 2000.

GASPAR, Alberto. **Atividades experimentais no ensino de física: uma nova visão baseada na teoria de Vigotski**. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

GOLDBERG, Fred; McDENNOTT, Lillian C. Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror. **The Physics Teach**, v. 24, p. 472-80, 1986.

GOTTSMANN, Léa; DELIGNIÈRES, Didier. À propos des obstacles épistémologiques à l'émergence du concept de compétence. **Movement & Sport Sciences – Science & Motricité**, v. 94, n. 4, p. 71-81, 2016.

GUILLÉN DÍAZ, Carmen; SANZ TRIGUEROS, Francisco Javier. Un dispositivo para una relación pragmática de los docentes con los objetivos de programas bilingües, desde un estudio en documentos de planificación. **Publicaciones**, v. 49, n. 5, p. 113-130, 2019.

HILLESHEIM, Selma Felisbino; MORETTI, Mércles Thadeu. The Consolidation of Rules of Signs and Stages of the Scientific Spirit in Bachelard. **Acta Scientiae**, Canoas, v. 21, n. 5, p. 145-162, 2019.

HOSSON, Cécile de; KAMINSKI, Wanda. Historical Controversy as na Educational Tool: Evaluating elements of a teaching–learning sequence conducted with the text “Dialogue on the Ways that Vision Operates”. **International Journal of Science Education**, v. 29, n. 5, p. 617-642, 2007.

INSTITUTO FEDERAL CATARINENSE – Campus Concórdia. **Histórico**. Atualizado em: out. 2019. Disponível em: <https://concordia.ifc.edu.br/institucional/historico/>. Acesso em: 23 nov. 2024.

INSTITUTO FEDERAL CATARINENSE – Campus Concórdia. **Relatório anual de acompanhamento de egressos do IFC Campus Concórdia – 2023**. Concórdia: IFC, 2024. Disponível em: <https://egresso.ifc.edu.br/wp-content/uploads/sites/38/2024/09/Relatorio-Concordia.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2024.

KALTAKCI-GUREL, Derya; ERYILMAZ, Ali; MCDERMOTT, Lillian C. Identifying pre-service physics teachers’ misconceptions and conceptual difficulties about geometrical optics. **European Journal of Physics**, v. 37, p. 1-30, 2016.

KUMAR, Arvind. Pitfalls in elementary physics: Light. **Resonance**, v. 4, n. 2, p. 53-65, 1999.

MARQUES, Nelson Luiz Reyes. **Sequência didática na perspectiva Histórico-Cultural**. Material produzido para a disciplina de Teoria Histórico-cultural do Mestrado Profissional em Ciências e Tecnologias na Educação (PPGCITED – IFSul/CaVG) em 2022. Disponível em: <https://nelsonreyes.com.br/Sequ%C3%A2ncia%20did%C3%A1tica%20na%20perspectiva%20Hist%C3%B3rico-Cultural.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2024.

MARQUES, Nelson Luiz Reyes; CASTRO, Rafael Ferreira de. A Teoria Histórico-Cultural e a Escola de Vygotsky: algumas implicações pedagógicas. In: ROSA, Cleci Teresinha Werner da; DARROZ, Luiz Marcelo. **Cognição, linguagem e docência**: aportes teóricos. Cruz Alta: Editora Ilustração, 2022. p. 173-191.

MARTINS, André Ferrer Pinto. Algumas contribuições da epistemologia de Gaston Bachelard à pesquisa em ensino de ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6, 2007, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: USP, 2007. p. 1-12. Disponível em: <http://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/vienpec/CR2/p29.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2024.

MASSONI, Neusa Teresinha. **A epistemologia contemporânea e suas contribuições em diferentes níveis de ensino de Física**: a questão da mudança epistemológica. 2010. 412 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MASSONI, Neusa Teresinha; BRUCKMANN, Magale Elisa; ALVES-BRITO, Alan. A reestruturação curricular do curso de Licenciatura em Física da UFRGS: construção de novas identidades na formação docente inicial do século XXI. **Revista Educar Mais**, v. 4, n. 3, p. 512-541, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/educarmais/article/view/1952>. Acesso em: 24 nov. 2024.

MELO, Ana Carolina Staub de; PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro. Contribuições da epistemologia bachelardiana no estudo da história da óptica. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 13, n. 1, p. 99-126, 2007.

MICHELS, Leandro. **Estudo das lentes em óptica geométrica: olho humano, problemas da visão e possibilidades de correção**. 2022. Produto Educacional (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2022.

MORTIMER, Eduardo Fleury. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de Ciências**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2000.

MOREIRA, Marco Antonio. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 94, p. 73-80, 2018.

MÜLLER, Iwan Von. **Claudii Galeni de Placitis Hippocratis et Platonis Libri Novem**. Leipzig publishing house of B.G. Teubner, 1874 (1834).

MÜLLER, Maykon Gonçalves. **Adoção e difusão de inovações didáticas em disciplinas de Física Geral: estudos de caso em duas universidades públicas brasileiras**. 2017. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

OLIVEIRA, Stênio Gonçalves de. **A física apropriada: realismo ingênuo e obstáculos epistemológicos**. 2020. 238 f. Tese (Doutorado em Educação em Ciências e Matemática) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

PAZINATO, Maurícius Selvero; BERNARDI, Flávia Maggioni; MIRANDA, Ana Carolina Gomes; BRAIBANTE, Mara Elisa Fortes. Epistemological Profile of Chemical Bonding: Evaluation of Knowledge Construction in High School. **Journal of Chemical Education**, v. 98, n. 2, p. 307-318, 2021.

PINTO, Alexandre Custódio; ZANETIC, João. É possível levar a Física Quântica para o Ensino Médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 1: p. 7-34, abr., 1999.

PRESTES, Zoia. **Quando não é quase a mesma coisa**. Campinas: Editores Associados, 2020.

ROSALINO, Israel. **Estudo da contribuição de uma exposição virtual museal de Química para a formação do espírito científico**. 2021. 141 f. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química de São Carlos, São Carlos, 2021.

RUÍZ, Olga Belletich; VILLARREAL, Maider Pérez de. Elaboración de trabajos de fin de grado. Superación de obstáculos y errores. **Opción**, a. 32, n. 9, p. 218-233, 2016.

SILVA, Rômulo Monteiro da. **Material didático para o ensino de conceitos básicos da óptica geométrica para inclusão de alunos com deficiência visual**. 2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física – Polo UFPA) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

SILVA, Sabrita Cruz da; LIMA, Carlos Henrique Moreira. **Utilização do simulador PHET sobre pinças ópticas como recurso metodológico no ensino de conceitos de Física Contemporânea**. 2023. Produto Educacional (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UFAC) - Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2023.

SIQUEIRA, Maxwell Roger da Purificação. **Professores de Física em contexto de inovação curricular: saberes docentes e superação de obstáculos didáticos no ensino de física moderna e contemporânea**. 2012. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SQUIRE, Michael (Ed.). **Sight and the Ancient Senses**. Milton Park, Abingdon, Oxon: Routledge, 2016.

TORRES-SÁNCHEZ, Horacio. The epistemological obstacle in Electromagnetism. **DYNA**, v. 88, n. 218, p. 39-42, 2021.

SOUZA, Paulo Henrique de. **Epistemologia e cultura no ensino de Física: desvelando os conceitos de tempo e espaço**. 2014. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

TRINTIN, Renata da Silva; GOMES, Luciano Carvalhais. Perfis Epistemológicos dos Livros Didáticos de Física do PNLD de 2018. **Acta Scientiae**, v. 20, n. 2, p. 43-55, 2018.

VIGOTSKI, Lev Semionovitch. **Teoria e método em psicologia**. São Paulo: Martins Fontes Editora, 1996.

VIGOTSKI, Lev Semionovitch. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes Editora, 2001.

VIGOTSKI, Lev Semionovitch. **Psicologia pedagógica**. São Paulo: Martins Fontes Editora, 2010.

VILAS BÔAS, Claudia Santos do Nascimento. **A epistemologia de Bachelard e a aprendizagem do conceito de ressonância em tubos sonoros**. 2020. 203 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2020.

VYGOTSKY, Lev Semionovitch. **História do desenvolvimento das funções psíquicas superiores**. Lisboa: Relógio D'água, 2021.

WEISS, Richard Jay. **A brief story of light and those that lit the way**. Singapura: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 1996.

YIN, Robert Kuo-zuir. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YIN, Robert Kuo-zuir. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

YIN, Robert Kuo-zuir. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. Porto Alegre: Penso, 2016.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa**: como ensinar. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICE A - Formulário de avaliação piloto

**PPGECM**Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática
Instituto de Humanidades, Ciências, Educação e Criatividade - IHCEC

Este formulário tem o objetivo de formalizar a avaliação piloto por pares do produto educacional: A História da Óptica sob a Perspectiva Epistemológica de Bachelard.

1. O texto é pertinente para um estudo crítico e reflexivo da história da óptica?
2. Posicione-se quanto ao grau de dificuldade encontrado em relação a cada uma das seções do texto, de acordo com a seguinte escala:
(FC) de fácil compreensão
(MC) de média compreensão
(DC) de difícil compreensão
(SO) sem opinião

Quando julgar necessário, favor justificar suas respostas.

i) Capítulo: A contribuição dos gregos: Óptica como uma teoria da visão

- () Introdução
- () O estudo da visão
- () O fogo visual
- () A perspectiva atomista
- () Platão, Aristóteles, Os Estoicos, Euclides, Ptolomeu
- () Crítica epistemológica às teorias da visão gregas

ii) Capítulo: A óptica medieval, a renascença e Kepler

- () Introdução
- () Perspectiva
- () Kepler e a imagem na retina
- () Crítica epistemológica

3. Há algo que não foi expresso nas questões anteriores e que julgue relevante para a melhoria do texto?

APÊNDICE B - Questionário 1*

1a) O que é luz?

1b) Como você explicaria o que é a luz para uma criança que terá o primeiro contato formal com esse assunto?

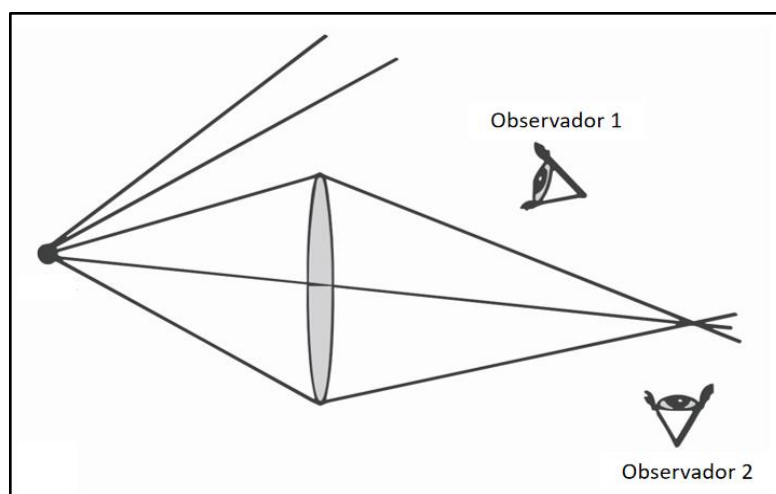
2a) Como vemos os objetos? Faça um diagrama para auxiliar na sua explicação.

2b) Comente a seguinte afirmação: Vemos os objetos que possuem luz própria, pois a luz que eles emitem chega a nossos olhos. Para objetos não luminosos, o olho tem um papel ativo: a luz sai do olho para ver os objetos.

3a) Podemos ver a luz? Realmente enxergamos os raios ou feixes de luz que desenhemos nos diagramas de óptica geométrica?

3b) É comum durante o ensino de óptica geométrica, o professor afirmar que existem muitos outros raios, mas eles não serão desenhados. Decidir quais raios que poderiam de fato ser adicionados pode ser um desafio para o estudante. Analisando a figura a seguir, como você avalia a seguinte afirmação?

O Observador 1 verá o objeto e o Observador 2 verá a imagem, pois eles podem ver os raios do objeto e da imagem, respectivamente.



Fonte: Adaptado de Ronen, 1993.

* As versões a) e b) das questões são diferentes opções para investigar concepções sobre os mesmos tópicos.

4a) Comente a afirmação: Quando se observa o olho de outra pessoa, é possível ver uma pequena imagem daquilo que ela está observando. Isto se dá, pois, a imagem sai pronta do objeto, conservando seus contornos e cores e viaja até o olho do observador.

4b) Comente a afirmação:

Vemos, pois finas camadas de átomos viajam do objeto até nossos olhos. Estas camadas têm o mesmo formato que o corpo que o emitiu, mas em tamanho menor, a fim de poder entrar no olho. Por sua vez, a iluminação natural (Sol) ou artificial tem a função de tornar o meio transparente para que estes contornos e cores dos objetos possam chegar aos nossos olhos. Portanto, a luz é apenas um fator secundário que contribui para a visão, facilitando ou permitindo o processo através do qual uma imagem do objeto é transferida para o olho.

5) Comente a afirmação:

A luz é uma perturbação transmitida através de um meio material, mesmo que esse meio seja imperceptível para nós. Considerando que este meio seja preenchido por imperceptíveis esferas, esta perturbação é a pressão transmitida, esfera a esfera, até alcançar nossos olhos. Por exemplo, a pressão exercida pelas estrelas, como o Sol, sobre as esferas possui um movimento de expansões e contrações, como batidas do coração, a prova disso são as cintilações das estrelas e a emissão de luz em todas as direções.

6) A seguir, são apresentadas duas ideias. A primeira, defende a luz como partícula e a segunda apresenta argumentos para desqualificar esta ideia. Discuta se alguma delas ou as duas fazem sentido para você e como você argumentaria para defender o seu ponto de vista em relação a cada uma delas.

(i) A luz é um conjunto de partículas. Isso se conclui, pois ela sofre reflexão, refração, composição, divisão e movimento no tempo, mas especialmente por se propagar em linhas retas e ser parada por um obstáculo.

(ii) É muito mais fácil entender como um tremor pode se propagar de um extremo a outro, do que conceber como uma partícula de luz pode continuar seu movimento e direção inalterados, através de um espaço tão vasto e com uma velocidade tão grande; enquanto inúmeras outras partículas estão por toda parte se movendo em direções diferentes e muitas vezes contrárias.

APÊNDICE C - Guia da entrevista

Nº	Tópicos	Categorias de respostas esperadas* (Animista/ Realista/ Racionalista/ Ultrarracionalista)	Critérios para se enquadrar nas categorias esperadas**
1	A luz se vê?	Animista/ Racionalista	A ideia de que a luz pode ser vista independentemente de sua incidência nos olhos pode refletir uma visão animista, onde aspectos vitais ou intencionais são atribuídos à natureza./ A necessidade de que a luz entre nos olhos, por incidência direta a partir da fonte ou de forma indireto, espalhada por poeira ou gotículas de água, segue uma lógica racionalista.
2	Raios de luz em meio homogêneo	Racionalista/ Ultrarracionalista	A concepção de raios de luz paralelos em um meio homogêneo e possíveis alterações na trajetória, devido ao meio, segue uma lógica racionalista, baseada na óptica geométrica. / A interpretação de raios de luz como fótons submetidos à fenômenos como tunelamento, absorção e reemissão adotam uma postura ultrarracionalista.
3	Luz solar e luz artificial	Realista/ Racionalista/ Ultrarracionalista	A diferenciação entre luz solar e artificial pode ser vista como um obstáculo substancialista, onde se atribuem qualidades distintas e essenciais a diferentes tipos de luz, como luz fria ou quente, que tem o poder de crescer plantas ou não. / O racionalista vê a diferença como composições espectrais e intensidades diferentes. / Uma visão ultrarracionalista pode discutir a diferença entre as origens da luz solar e artificial.
4	Obstáculos e características das sombras produzidas	Realista/ Racionalista/ Ultrarracionalista	A relação direta entre obstáculo e formato da sombra pode indicar uma visão realista. / A distinção entre a origem de sombra e penumbra, baseia-se em princípios da óptica geométrica, indica uma lógica racionalista./ Uma abordagem ultrarracionalista consideraria fenômenos como a difração da luz e sua influência nos padrões de sombras próximos às bordas.
5	Imagem por orifício	Racionalista	A formação da imagem através de um orifício pode ser explicada satisfatoriamente por princípios da óptica geométrica, enquadrando-se na escola racionalista.
6	Necessidade de luz para visão	Realista/Racionalista	O realista poderá dizer que, “se está escuro, não vejo, logo, preciso da luz para ver”. / O racionalista pode ir além e discutir os necessidade de a luz alcançar os olhos, a influência do meio (neblina, água, fumaça) em dispersar a luz e a função vital do olho e do cérebro no processo da visão.
7	Relação refração e reflexão	Realista/ Racionalista/ Ultrarracionalista	A análise da refração e reflexão como fenômenos distintos, mas possivelmente coexistentes, é típica do realismo. / A compreensão de que são fenômenos indissociáveis definidos

* Conforme Yin (2010), estes são os pressupostos teóricos. No contexto da epistemologia de Bachelard, as “Categorias de respostas esperadas” são associadas às escolas filosóficas. De acordo com as definições apresentadas na Seção 7.1 A evolução histórica e epistemológica da Óptica, conforme proposto por Bachelard, estabelecem-se as seguintes relações: a noção Animista pertence ao Realismo Ingênuo; a noção Realista refere-se ao Empirismo Claro e Positivista; a noção Racionalista abrange o Racionalismo Clássico e o Racionalismo Completo; e a noção Ultrarracionalista é equivalente ao Racionalismo Discursivo.

** Estes critérios não pretendem prever todas as respostas possíveis para as questões propostas, mas tem o objetivo de preparar o entrevistador para uma melhor condução das entrevistas semiestruturadas.

			pelas condições de contorno na superfície de separação dos meios segue uma lógica racionalista/ Aspectos quânticos ao identificar a luz como fótons e submeter a análise de refração e reflexão como fenômenos estatísticos, segue uma lógica ultrarracionalista.
8	Reflexão em espelhos	Realista/ Racionalista/ Ultrarracionalista	O realista pode responder que a imagem refletida é idêntica à real, logo reflete 100% da luz. Ou ainda, medir as intensidades incididas e refletidas e, de posse destes números, se dar por satisfeito./ O racionalista investigará os motivos dos valores medidos pelo realista, mas sem abordar o caráter quântico do fenômeno. / Quando abordadas as limitações impostas pela quântica, como o princípio da incerteza de Heisenberg, ingressa-se no ultrarracionalismo.
9	Posição da imagem em espelho plano	Realista/ Racionalista	A conclusão de que a imagem em um espelho plano está na superfície do espelho, ou atrás dele, é de caráter realista./ A abordagem racionalista possibilita compreender que esta é uma imagem virtual formada no cérebro pela extrapolação dos raios refletidos.
10	Tamanho da imagem em espelho plano	Realista/ Racionalista	Uma resposta que leve em consideração a posição do observador ou do objeto, fazendo crer que a percepção de profundidade e ângulo de visão são, de fato, devido a mudanças no tamanho da imagem, provém de um realismo ingênuo./ A relação entre o tamanho da imagem e a distância do objeto ou observador ao espelho plano é uma questão de óptica geométrica, enquadrada na escola racionalista.
11	Lente coberta e imagem	Realista/Racionalista	Uma resposta que relacione diretamente a cobertura da lente com a causa de uma formação parcial da imagem, segue uma lógica realista./ Uma resposta fundamentada a partir da óptica geométrica, que leve em conta outros raios luminosos, além dos “raios notáveis”, adequa-se ao racionalismo.

As seguintes perguntas foram utilizadas para montar o quadro:

1. Como você acredita que seria a experiência de observar a luz em uma situação em que existisse apenas você, a luz e o vácuo? Você considera que a visibilidade da luz depende de fatores como o meio em que se propaga ou a interação com os olhos do observador ou objetos materiais?

Contexto para a questão: A luz, por si só, é vista se ela entrar nos nossos olhos. Numa situação em que a luz estivesse direcionada para outro lugar, ela não seria percebida, mesmo que passasse muito perto dos olhos do observador. O que pode causar a sensação de que a luz é vista, independentemente da sua direção de propagação, é a sua interação com partículas de poeira ou gotículas de água que a espalham em muitas direções, eventualmente atingindo os olhos e tornando o feixe visível. No vácuo, a ausência destes espalhamentos tornaria a luz invisível, a não ser que o feixe estivesse direcionado aos nossos olhos.

2. Em um meio homogêneo, como o ar em condições normais ou o vácuo no espaço, como você descreveria o comportamento dos raios de luz? Quais fatores, em sua opinião, podem influenciar a trajetória dos raios de luz nesse tipo de meio?

Contexto para a questão: A forma mais habitual de compreender um meio homogêneo é considerar um meio com índice de refração constante. Neste caso, a luz deve viajar em linha reta. Entretanto, variações, por vezes imperceptíveis, no índice de refração do ar ou água, devido à gradientes de densidade, são muito comuns e podem alterar a trajetória da luz. Outros fatores que podem influenciar a trajetória da luz, como variações de temperatura, variações gravitacionais em grande escala ou efeitos de difração

3. Como você descreveria as características da luz solar comparadas às da luz artificial? Você percebe diferenças significativas entre elas em termos de natureza e efeito?

Contexto para a questão: Pode-se citar diferenças em termos da origem da luz incandescente, fluorescente, led, e solar. Também há diferenças nos seus espectros, em termos de faixa espectral e também nas faixas de absorção, evidenciando os materiais que compõe estas fontes.

4. Como a variação nos tamanhos e formas de diferentes obstáculos afeta as características das sombras produzidas, especialmente em relação à nitidez e aos padrões observados nas bordas das sombras?

Contexto para a questão: Este fenômeno pode ser explicado através dos princípios básicos da óptica geométrica e da difração da luz.

5. Como você acredita que o tamanho e a forma do orifício influenciam no tamanho da imagem de um objeto projetada através dele? Existem outros fatores que você considera relevantes nesse processo?

Contexto para a questão: Esta questão foi explicada por Kepler, o tamanho do orifício influencia a nitidez da imagem, quanto menor o furo, mais nítida a imagem. Entretanto, ao reduzir o furo também se reduz o brilho da imagem. O formato do furo não deve influenciar nas características da imagem formada. Estas conclusões são obtidas a partir da óptica geométrica, sendo válida para furos grandes se comparados à ordem de grandeza do comprimento de onda da luz.

6. Como você entende o processo de percepção visual de um objeto? Na sua opinião, é necessário que a luz proveniente do objeto alcance nossos olhos para que possamos vê-lo? Existem outros aspectos ou condições que você considera importantes nesse processo?

7. Na sua opinião, os fenômenos de refração e reflexão da luz são mutuamente exclusivos, ou seja, a ocorrência de um exclui a possibilidade do outro, ou você acredita que eles podem coexistir sob certas condições?

8. Como você avalia a capacidade de um espelho de refletir a luz que incide sobre ele? Quais fatores você considera que influenciam essa capacidade e até que ponto acredita que um espelho pode efetivamente refletir a luz?

Contexto para a questão: O limite é dado por efeitos quânticos (princípio da incerteza de Heisenberg) e corroborado pelos processos de fabricação que, por mais eficientes, não geram superfícies perfeitas em termos de topologia e pureza.

9. Quando você observa uma imagem por meio de um espelho plano, onde você acredita que aquela imagem está localizada? Ela estaria na superfície do espelho, atrás dele, ou apenas existe devido à nossa percepção?

Contexto para a questão: A imagem formada no espelho plano é sempre virtual e, por isso, a sua construção é consequência da forma como o cérebro interpreta os raios de luz refletidos. Ou seja, ela não pode ser projetada em um anteparo.

10. Como você descreveria os fatores que influenciam o tamanho da imagem refletida por um espelho plano? Em sua opinião, qual é o papel da distância entre o objeto e o espelho nesta relação? Há outros elementos ou condições que você considera importantes na determinação do tamanho da imagem refletida?

Contexto para a questão: O tamanho da imagem em um espelho plano é sempre do mesmo tamanho do objeto. A distância entre o objeto e o espelho influencia na sensação de profundidade da imagem, que pode ser interpretada como uma mudança no seu tamanho. Outro aspecto que pode influenciar na percepção do tamanho da imagem é a posição do observador, que estabelece um ângulo de observação, o qual pode induzir a perceber (erroneamente) diferentes tamanhos de imagem.

11. Como você acha que a cobertura parcial de uma lente afeta a formação da imagem de um objeto real? Existem outros aspectos que você considera importantes na influência sobre a formação da imagem neste caso?

Contexto para a questão: A cobertura parcial da lente pode tornar a imagem menos brilhante, mas não altera outras características, como posição e tamanho.

APÊNDICE D - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido



Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE

Você está sendo convidado a participar da pesquisa “A HISTÓRIA DA ÓPTICA SOB A PERSPECTIVA EPISTEMOLÓGICA DE BACHELARD: ESTUDO DE CASO SOBRE OS PERFIS EPISTEMOLÓGICOS DE ESTUDANTES DE UM CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA”, de responsabilidade do pesquisador Rafael Cardim Pazim e orientação do Dr. Cristiano Roberto Buzatto. Esta pesquisa apresenta como objetivo desenvolver e avaliar um texto sobre a Evolução dos Conceitos da Óptica utilizando a aplicação de uma sequência didática, que contemple uma análise da evolução dos perfis epistemológicos propostos por Bachelard. As atividades serão desenvolvidas durante aproximadamente 6 encontros no período vespertino (contraturno do curso de Licenciatura em Física) no espaço do Instituto Federal Catarinense, campus Concórdia, e envolverá gravação de áudio, fotos, aplicação de questionários, entrevistas e coleta de materiais produzidos pelos estudantes.

Esclarecemos que sua participação não é obrigatória e, portanto, poderá desistir a qualquer momento, retirando seu consentimento. Além disso, garantimos que você receberá esclarecimentos sobre qualquer dúvida relacionada à pesquisa e poderá ter acesso aos seus dados em qualquer etapa do estudo. As informações serão transcritas e não envolvem a identificação do nome dos participantes. Tais dados serão utilizados apenas para fins acadêmicos, sendo garantido o sigilo das informações.

Sua participação nesta pesquisa não traz complicações legais, não envolve nenhum tipo de risco físico, material, moral e/ou psicológico. Caso for identificado algum sinal de desconforto psicológico referente à sua participação na pesquisa, pedimos que nos avise. Além disso, lembramos que você não terá qualquer despesa para participar da presente pesquisa e não receberá pagamento pela participação no estudo.

Caso tenha dúvida sobre a pesquisa e seus procedimentos, você pode entrar em contato com o pesquisador orientador do trabalho Dr. Cristiano Roberto Buzatto pelo e-mail cristiano@upf.br ou no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Passo Fundo pelo e-mail ppgecm@upf.br.

Dessa forma, se concorda em participar da pesquisa, em conformidade com as explicações e orientações registradas neste Termo, pedimos que registre abaixo a sua autorização. Informamos que este Termo, também é assinado pelos pesquisadores responsáveis.

Concórdia, ____ de _____ de 2024.

Nome do participante: _____

Data de nascimento: ____/____/____

Pesquisador: _____

ANEXO A - Carta de Autorização do Estabelecimento de Ensino**PPGECM**Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática
Instituto de Humanidades, Ciências, Educação e Criatividade - IHCEC**CARTA DE AUTORIZAÇÃO DO ESTABELECIMENTO DE ENSINO**

Eu, Rafael Cardim Pazim, solicito autorização do Curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal Catarinense, campus Concórdia, localizado no município de Concórdia, SC, para a realização de atividades de pesquisa associadas à tese que desenvolvo junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Passo Fundo, RS. A pesquisa está vinculada a dados produzidos durante a aplicação de atividades didáticas junto a estudantes de diversas fases do curso de Ensino Superior. O período de aplicação das atividades na instituição será de 01/07/2024 a 18/07/2024 e contará com a visita do professor orientador do estudo.

☒ (x) Autorizo

☐ () Não autorizo

Luciano Lewandeski Alvarenga,
coordenador do curso de Licenciatura em
Física do IFC-Concórdia

Eu, Rafael Cardim Pazim, me comprometo a cumprir as normativas da escola, mantendo conduta ética e responsável e a utilizar os dados produzidos pela pesquisa, exclusivamente para fins acadêmicos e a destruí-los após a conclusão do estudo.

Doutorando
Rafael Cardim Pazim