UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO INTERUNIDADES EM ENSINO DE CIÊNCIAS

RENATO BALARINI FERREIRA

O Ensino por Investigação e engajamento dos estudantes: práticas docentes no ensino de Física Moderna

São Paulo

2019

RENATO BALARINI FERREIRA

O Ensino por Investigação e engajamento dos estudantes: práticas docentes no ensino de Física Moderna

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo como requerimento parcial para obtenção do título de mestre em ensino de ciências.

Área de concentração: Ensino de Física

Orientadora: Profª Drª Lúcia Helena Sasseron

São Paulo

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Ferreira, Renato Balarini

Ensino por investigação e engajamento dos estudantes: práticas docentes no ensino de física moderna. São Paulo, 2019.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Lúcia Helena Sasseron
Área de Concentração: Ensino de Física

Unitermos: 1. Física – Estudo e Ensino; 2. Ensino por investigação; 3. Engajamento disciplinar produtivo; 4. Ensino médio.

USP/IF/SBI-004/2019

FERREIRA, Renato Balarini. **O Ensino por Investigação e engajamento dos estudantes**: práticas docentes no ensino de Física Moderna.
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo como requerimento parcial para obtenção do título de mestre em ensino de ciências.
Esta dissertação trata-se da versão corrigida.
A versão original se encontra disponível tanto na Biblioteca da Unidade que aloja o Programa quanto na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD).

Aprovado em: 01/04/2019

Banca Examinadora

Profª. Drª. Lúcia Helena Sasseron
Instituição: USP

Assinatura_____

Prof. Dr. Alex Bellucco do Carmo
Instituição: UDESC

Prof. Dr. Emerson Ferreira Gomes
Instituição: IFSP

Suplentes

Prof. Dr. João Eduardo Fernandes Ramos
Instituição: UFPE
Profª. Drª. Maíra Batistoni e Silva
Instituição: UNIFESP
Profª. Drª. Alda Regina Tognini Romaguera
Instituição: UNISO

Dedico este trabalho à minha mãe Rita e ao meu pai Renato, que nunca desistiram de dar o melhor para mim.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Lúcia, pelo carinho, ensinamentos e pela paciência que ela teve comigo ao longo deste trabalho. Se ela conseguiu fazer com que eu escrevesse uma dissertação, ela deve ser capaz de qualquer coisa.

Aos colegas do LaPEF, pela aceitação no grupo e pelas discussões que só me fizarem crescer dentro da minha profissão.

À UNISO e aos excelentes docentes do curso de Física, que me apoiaram nessa jornada. Em especial, ao meu grande amigo de curso, Anderson.

À minha mãe super paciente Rita por nunca ter desistido de mim e nunca ter deixado faltar nada. Ao mei pai Renato, o meu muito obrigado pelos ensinamentos. Peço perdão pela ausência e falhas nesses últimos anos.

Aos meus grandes amigos: Gilberto, Guilherme e Warlen, pela companhia ao longo desses anos.

Aos compadres, Alan, Bruna, César, Cilene, Edgar, Rosângela pelos ótimos encontros “extra- pedagógicos” e pelas risadas.

Aos colegas de futebol, que as vezes não sabiam por que eu estava estressado durante as partidas.

Aos colegas do RPG, pelas inesquecíveis aventuras.

À minha esposa Laura, que na maioria das vezes teve paciência comigo e sempre me apoiou.

À Lia, para que ela sempre se orgulhe de mim.

A nossa verdadeira nacionalidade é a humanidade.

(WELLS, Herbert George, 1921)

RESUMO

FERREIRA, R. B. **Ensino por Investigação e engajamento dos estudantes:** práticas docentes no ensino de Física Moderna. 2019. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

A presente pesquisa de mestrado visa investigar as relações entre as ações do professor e o engajamento dos estudantes durante uma aula investigativa de Física abordando o tema “dualidade onda-partícula da luz”. Para tanto, analisaremos a mesma aula de uma mesma Sequência de Ensino Investigativa ministrada por dois professores distintos em suas respectivas salas de aula, em duas diferentes escolas públicas de São Paulo. Através das transcrições realizadas, foi possível realizar comparações entre alguns aspectos das aulas como: tempo de fala total de cada professor e dos estudantes, tipos de perguntas realizadas e ações tomadas pelos professores, o surgimento e desenvolvimento da argumentação pelos estudantes e a promoção do Engajamento Disciplinar Produtivo. Concluímos que, além do Ensino por Investigação possibilitar um ambiente propício para o envolvimento dos estudantes, algumas ações específicas dos professores, como: conceder autoridade, explorar a visão dos estudantes, fornecer subsídios teóricos a eles e elucidar de forma clara o problema a ser investigado realizando questionamentos levam aos casos de Engajamento Disciplinar Produtivo.

Palavras-chave: Ensino por Investigação, Engajamento Disciplinar Produtivo, ações dos professores.

ABSTRACT

FERREIRA, R. B. **Inquiry-based Teaching and student engagement:** teaching practices in the teaching of Modern Physics. 2019. Dissertation (Master´s degree) – Science Teaching Post-Graduation Program Interunits - University of Sao Paulo, Sao Paulo, 2019.

The present master's research aims to investigate the relations between the actions of the teacher and the engagement of the students during an investigative class of Physics addressing the theme "wave-particle duality of light". To do so, we will analyze the same class of the same Inquiry-Based Teaching Sequences applied by two different teachers in their respective classrooms, in two different public schools of Sao Paulo. Through the transcripts, it was possible to make comparisons between some aspects of the classes such as: total speaking time of each teacher and students, types of questions asked and actions taken by teachers, the emergence and development of students' argument and the promotion of Productive Disciplinary Engagement. We conclude that, in addition to Inquiry-Based Teaching, it is possible to provide an environment conducive to students involvement, some specific actions of teachers, such as: granting authority, exploring the students' vision, providing theoretical subsidies to them and clearly elucidating the problem to be investigated conducting questioning lead to cases of Productive Disciplinary Engagement.

Keywords: Inquiry-based Teaching, Productive Disciplinary Engagement, teachers' actions.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA **12**

2 REFERENCIAL TEÓRICO **17**

2.1 O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO (EPORI) 21

2.2 SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA (SEI) 25

2.3 AS INTERAÇÕES DISCURSIVAS E A ARGUMENTAÇÃO EM SALA DE AULA 26

2.4 AS AÇÕES DOS PROFESSORES 35

2.5 ENGAJAMENTO DISCIPLINAR PRODUTIVO (EDP) 38

3 METODOLOGIA **41**

3.1 A COLETA DE DADOS 42

3.1.1 A SEI *42*

3.1.2 A A aula analisada *44*

3.1.3 Validação da análise dos dados *45*

3.1.4 A aula 10 ministrada pelo professor Vicente *45*

3.1.5 A aula 10 ministrada pelo professor Romero *46*

3.2 APRESENTAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE ANÁLISE 47

3.2.1 Propósitos epistêmicos para promoção da argumentação (FERRAZ, 2015) *47*

3.2.2 Tipos de perguntas feitas pelo professor em uma aula investigativa (MACHADO, 2012) *48*

3.2.3 Indicadores de Engajamento Disciplinar Produtivo (SOUZA, 2015) *49*

3.3 PROCEDIMENTO PARA A ANÁLISE 50

4 ANÁLISE DOS DADOS **53**

4.1 ANÁLISE DA AULA 10 MINISTRADA PELO PROFESSOR VICENTE 55

4.1.1 Momento 1 da aula 10: retomada da aula anterior sobre o experimento do IMZ e das figuras de interferências observadas *55*

4.1.2 Momento 2 da aula 10: exploração do fenômeno de interferência da experiência tanto para luz quanto para fótons individuais comparando as figuras formadas *60*

4.1.3 Momento 3 da aula 10: o problema da interferência para um único fóton no interferômetro *65*
4.1.4 Momento 4 da aula 10: as quatro interpretações da Mecânica Quântica para a natureza da luz *68*
4.1.5 Momento 5 da aula 10: explicações por parte dos estudantes sobre as quatro linhas interpretativas para a interferência de um fóton *75*
4.1.6 Momento 6 da aula 10: sistematização da explicação das quatro linhas interpretativas para a natureza da luz *79*
4.1.7 Breves comentários acerca da aula 10 ministrada pelo professor Vicente *86*
4.2 ANÁLISE DA AULA 10 MINISTRADA PELO PROFESSOR ROMERO 89
4.2.1 Momento 1 da aula 10: a exploração do caráter dual da luz *89*
4.2.2 Momento 2 da aula 10: o efeito fotoelétrico e o problema da interferência para um único fóton no interferômetro *99*
4.2.3 Momento 3 da aula 10: as quatro interpretações da Mecânica Quântica para a natureza da luz *103*
4.2.4 Momento 4 da aula 10: nova retomada o IMZ *108*
4.2.5 Momento 5 da aula 10: explicações por parte dos estudantes sobre as quatro interpretações da Mecânica Quântica *113*
4.2.6 Momento 6 da aula 10: sistematização das quatro interpretações através do "sentido das coisas" *120*
4.2.7 Breves comentários acerca da aula 10 ministrada pelo professor Romero *122*

5 ENSAIO SOBRE AS AÇÕES OBSERVADAS E O ENGAJAMENTO DOS ESTUDANTES 125
REFERÊNCIAS 128
ANEXO A – A PROPOSTA DE TRABALHO PARA O BLOCO DE DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA COM ALTERAÇÕES EFETUADAS 133
ANEXO B – TRASNCRIÇÃO INTEGRAL DAS FALAS OCORRIDAS NA AULA 10 MINISTRADA PELO PROFESSOR VICENTE 146
ANEXO C – TRANSCRIÇÃO INTEGRAL DAS FALAS OCORRIDAS NA AULA 10 MINISTRADA PELO PROFESSOR ROMERO 160

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Nos últimos anos, o debate sobre a inserção da Física Moderna (FM) no Ensino Médio vem ocorrendo de forma mais frequente. Isso se mostra nos diversos estudos realizados com o intuito de aproximar os alunos do conhecimento da FM na Educação Básica (Loch, Garcia, 2013).

Segundo Ferreira (2013), os conteúdos da Física Moderna aparecem como o último assunto a ser estudado nos livros didáticos de Física, sendo apresentados aos estudantes apenas no terceiro bimestre da última série do Ensino Médio. Porém, devido à distribuição da carga horária letiva e do conteúdo exigido pelas provas de vestibulares, são poucos os alunos que deixam a Educação Básica tendo conhecido esse assunto (Nobre *et al*., 2015).

A Física analisa o conhecimento acessível tanto aos sentidos naturais humanos como também aos abstratos, e isso se torna mais evidente quando abordamos a Física Quântica, um dos pilares da Física Moderna.

Os conceitos de Física Quântica, tanto para estudantes em geral quanto para leigos, muitas vezes parecem fugir do senso comum, o que torna o seu aprendizado difícil e desestimulante.

Tendo em mente o ensino da Física Quântica como pano de fundo dessa dissertação, debruçamos nossos olhares para o acervo de pesquisas produzidas no Laboratório de Pesquisa e Ensino de Física da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (LaPEF-FEUSP). Encontramos, no acervo, aulas gravadas de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) chamada "**Do real clássico ao ideal quântico: Uma sequência de aulas para introduzir o tema dualidade onda-partícula no ensino médio".**

Dentre as produções acadêmicas do LaPEF, deparamo-nos com três trabalhos, todos orientados pela Profª Drª Lúcia Helena Sasseron, os quais são diretamente responsáveis por esta dissertação.

O primeiro trabalho é o do Me. Vítor Fabrício Machado de Souza que buscou compreender como as perguntas realizadas pelos professores durante a aula influenciam na promoção da alfabetização científica. O resultado desta pesquisa de mestrado foi a elaboração de uma ferramenta analítica intitulada *"Tipo de perguntas"*

realizada pelos professores e utilizada na nossa pesquisa. É importante ressaltar que naquele trabalho foi utilizada a mesma SEI que a utilizada nesta dissertação.

Debruçando olhares também sobre a mesma SEI, o segundo trabalho destacado é o do Me. Arthur Tadeu Ferraz, que relaciona o Ensino por Investigação (EporI) e argumentação do estudante, compreendendo o papel do professor para a promoção e o desenvolvimento da argumentação do aluno.

O terceiro trabalho é do Me. Tadeu Nunes de Souza, que disserta sobre o EporI e o Engajamento Disciplinar Produtivo (EDP), subdividindo em três níveis cada categoria, a qual será explicada mais adiante.

Apoiados nestes três trabalhos, buscamos compreender a relação entre as ações dos professores e o nível de engajamento dos estudantes em uma aula investigativa de Física. Mas por que olhar para as ações dos professores e o nível de engajamento?

Para Freire (1996), a construção de uma sociedade pensante é feita através de uma boa ação do professor. No entanto, é de extrema importância que o professor tenha a consciência, o compromisso e a responsabilidade de que ele deverá aprender a aprender e a aprender ao ensinar. E essa responsabilidade tem que ser trabalhada e desenvolvida a cada etapa, pois o aprendizado é contínuo (Bulgraen, 2010). Promover a participação dos estudantes exige postura democrática dos professores em sala de aula.

O engajamento, e não apenas o Engajamento Disciplinar Produtivo, é um fator já estudado e analisado internacionalmente, assim como é utilizado como um indicador para avaliar a qualidade do ensino, como nos mostram Martins e Ribeiro (2017).

Todavia, quando se fala em ensino de ciências, uma pergunta que pode ser levantada é “quais práticas docentes presentes em sala de aula podem promover a aprendizagem dos estudantes, a partir e por meio de seu engajamento?”.

Nesta pesquisa, para responder a essa questão, muitos estudos vêm em nosso auxílio, dentre eles, Krasilchik (2000), Carvalho (2011), Pozo e Crespo (2009) e Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011), que já evidenciam aspectos metodológicos importantes para o ensino de ciências que não se preocupam apenas com a apresentação e a reprodução de conceitos em sala de aula.

Com isso, o desafio de ensinar ciências abrange estimular os estudantes no desenvolvimento de entendimento sobre processos e aspectos da produção do

conhecimento científico. Ainda que isso não ocorra de modo direto e espontâneo, a percepção de processos e práticas do fazer científico pode oportunizar a formação de pensamento crítico entre os estudantes para uma consequente atuação em sociedade (Krasilchik, 2000).

Para Osborne (2016),

> O objetivo da educação científica não é desenvolver um alto nível de proficiência com as práticas da ciência, mas sim usar o envolvimento em um repertório limitado de práticas científicas como um meio de construir um conhecimento tão profundo quanto o conteúdo da ciência (...) (p. 229).

Entendemos que uma possível maneira de atingir esse objetivo descrito por Osborne seja por meio da inserção, em sala de aula, de práticas de Ensino por Investigação (EporI). Esse ensino está associado a práticas de atividades centradas nos estudantes, possibilitando sua autonomia, evidenciada pela oportunidade de tomar decisões, formular hipóteses, refletir e construir explicações para a resolução de um problema.

No EporI, os estudantes têm a possibilidade de interagir, explorar e experimentar o mundo natural. Eles são imersos em processos investigativos, elaborando hipóteses, analisando evidências, emitindo conclusões e explicações sobre o fenômeno estudado, além de comunicar esses resultados para o grupo. Segundo Carvalho (2013), uma atividade investigativa não pode se reduzir a uma mera observação ou manipulação de dados – ela deve levar o estudante a refletir, discutir, explicar e relatar seu trabalho aos colegas.

Assim, uma possibilidade de trabalhar com o EporI é por meio de sequência de aulas que ajude o estudante na construção do conhecimento científico, uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI).

Para Carvalho (2013),

> Uma sequência de ensino investigativa deve ter algumas atividades-chave: na maioria das vezes, uma SEI inicia-se por um problema, experimental ou teórico, contextualizado, que introduz os alunos no tópico desejado e ofereça condições para que pensem e trabalhem com as variáveis relevantes do fenômeno científico central do conteúdo programático (p. 9).

Uma SEI tem como propósito, no ensino de ciências, desenvolver uma situação investigativa que auxilie na construção do conhecimento científico. A investigação deve possuir algumas características essenciais que insiram o estudante em um contexto do “fazer científico”.

Ao participar de uma SEI, o estudante é estimulado a expor seus conhecimentos adquiridos ao longo de sua vida acadêmica, de forma inicial, sem a presença de um vocabulário científico. Contudo, no decorrer de uma SEI, esse estudante começa a se familiarizar com o tema e a adquirir aos poucos a linguagem científica. Por isso, ao aplicar uma SEI, o professor assume um papel fundamental, pois colabora para o avanço paulatino do vocabulário científico dos estudantes.

Carvalho (2011) elenca alguns aspectos relevantes presentes numa SEI: a participação ativa do estudante, a importância da interação aluno-aluno, o papel do professor como elaborador de problemas, a criação de um ambiente encorajador, o ensino a partir do conhecimento que o aluno traz para a sala de aula, o conteúdo como algo significativo para o aluno, a relação Ciência, Tecnologia e Sociedade e a passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica.

Aulas investigativas que proporcionem ao estudante oportunidades para desenvolver dimensões discursivas e argumentativas da ciência, bem como de aspectos da natureza da ciência, são ricas em interações discursivas, como explicitadas em Silva (2015).

O caráter dialógico das interações discursivas em sala de aula é importante porque detecta três fatores: de que forma os professores estão se comunicando com os estudantes, como estes estão interagindo entre si e como está ocorrendo o desenvolvimento da produção do conhecimento.

Por meio dessas interações, podemos inferir como as estratégias e os discursos utilizados pelos professores podem atuar como facilitadores do envolvimento disciplinar dos estudantes com os problemas propostos.

A essas interações, associa-se uma estrutura de desenvolvimento das atividades investigativas, a qual guarda relações com os princípios de ambientes de aprendizagem considerados por Engle e Conant (2002) como fomentadores do Engajamento Disciplinar Produtivo (EDP) dos estudantes.

Para Silva (2008), o EDP:

> Indica o nível de alcance de envolvimento dos estudantes em temas e práticas de uma disciplina e se tal envolvimento resulta em progresso intelectual. O conceito leva em conta tanto os aspectos interacionais do engajamento dos estudantes quanto às ideias do que se configura como um discurso produtivo em um domínio específico do conhecimento (p. 46).

Tendo estas ideias por pressuposto, ao final desta introdução, propomos a seguinte pergunta de pesquisa a ser investigada: **como se relacionam as ações**

realizadas pelos professores e o engajamento dos estudantes em uma aula investigativa de Física?

O objetivo desta pesquisa é investigar as relações entre as ações dos professores e o engajamento dos estudantes durante a implementação de uma aula de uma SEI sobre o tema da Física Moderna e Contemporânea.

Para atingir esse objetivo, empreenderemos as seguintes ações, a partir dos dados em análise:

1. Descrever, pelas falas de professores e alunos, interações e tempo de interações ocorridos em aula;
2. Identificar perguntas e propósitos epistêmicos utilizados por professores para a promoção de discussão em sala de aula;
3. Caracterizar o engajamento dos alunos nessas aulas;
4. Relacionar ações realizadas pelos professores e engajamento dos alunos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O ensino de ciências vem sofrendo transformações significativas nas últimas décadas. Uma das questões abordadas por Duschl (2008) é a importância de articular objetivos conceituais, epistêmicos e sociais ao planejar atividades para a aprendizagem de ciências. Referindo-se a documentos norte-americanos que visam promover essas relações, Duschl (2008) destaca que compreender ciências envolve:

1. saber, usar e interpretar explicações científicas do mundo natural;
2. gerar e avaliar evidências e explicações científicas;
3. compreender a natureza e o desenvolvimento do conhecimento científico;
4. participar produtivamente das práticas científicas e do discurso científico.

Sasseron e Carvalho afirmam que

> Urge a necessidade de um ensino de Ciências que permita aos alunos trabalhar e discutir problemas envolvendo fenômenos naturais como forma de introduzi-los ao universo das Ciências e não mais ensinando uma Ciência “acabada” e “pronta” (2013, p. 5).

Ainda nessa perspectiva, Sasseron e Duschl (2016) afirmam a necessidade de haver mudanças no ensino de Ciências, sobretudo no que concerne à ideia deste apenas como explicitação de conceitos e seu uso em situações escolares. Esses autores consideram a importância do papel do ensino de ciências na medida em que este traz para o cerne da discussão,

> Aspectos que transitam entre os conceitos, as leis, os modelos e as teorias científicas e os elementos epistemológicos das ciências, tornando parte dos temas em discussão em aula os processos e métodos de investigação e as análises realizadas ao longo de sua execução e os fatores que balizam as escolhas (p. 53).

Lemke (2006) defende a reestruturação do currículo de ciências para questões e problemas sociais que deverão ser encarados pela humanidade no século 21, tais como: a crise ambiental, a injustiça social e a opressão e injustiça invisíveis para com os mais jovens - aspirando a uma sociedade melhor e a uma vida mais satisfatória para as pessoas.

O autor também defende que legisladores e envolvidos em geral com o ensino de ciências necessitam tomar atitudes políticas e morais ou seremos julgados, seja pelos estudantes, seja pela história, como socialmente irresponsáveis (Lemke, 2006).

Ainda em seu texto, o autor compreende que os objetivos da educação científica não devem ser somente teóricos e limitar-se apenas em produzir “trabalhadores capacitados e consumidores educados para uma economia global” (p. 6), mas também o de fazer com que a ciência deixe o isolamento acadêmico, ampliando o universo de ação de aprendizagem dos estudantes nas aulas, nos laboratórios e demais ambientes onde se ensina a ciência, chegando aos lugares onde se realizam atividades comunitárias.

Relacionado à formação para o trabalho, encontramos no texto de Lemke (2006) a proposta de reformular o ensino de ciências voltado para objetivos mais amplos para a educação em geral. Para o autor, a escola deve utilizar os diversos espaços de educação não formal (diversos laboratórios, fábricas, museus e centros de ciências, zoológicos, indústrias) para oportunizar acréscimo do conhecimento provenientes das ciências, e sugere que os estudantes, desde pequenos, devem ser estimulados a experimentar atividades que proporcionem o contato com o mundo natural e tecnológico (Lemke, 2006; Sasseron, 2008).

Espera-se que estas ideias colocadas em prática permitam que os estudantes possam compreender as ciências como um campo de pesquisa “que produz conhecimento e que constrói, observa e aprimora regras e práticas, em um mecanismo interno de avaliação constante” (SASSERON; DUSCHL, 2016, p. 53).

Concordamos com Lemke (2006) que

> Temos que chegar a compreender *como* a ciência e a educação científica *podem* ajudar a nos ajudarmos. A educação científica ainda tem um grande potencial para o bem, mas somente se tomamos o verdadeiro caminho da ciência, rejeitando como tem se feito, e explorando juntos novas formas de pensar, ensinar e aprender (p. 11).

Para Sasseron (2015) ensinar ciências pressupõe a observação dos processos e seus produtos, oportunizando ao estudante o contato com a construção de um entendimento sobre os fenômenos naturais e os conhecimentos advindos desse entendimento.

Conforme Stroupe (2015)

> Apenas expor os alunos a definições de prática científica, ou colocar os estudantes para completar atividades cujo objetivo é confirmar informações canônicas não é o mesmo que prover oportunidades para que os estudantes aprendam a prática científica engajando-se em trabalho disciplinar durante um tempo (p. 1036).

Sasseron e Carvalho (2007) nos apontam temas centrais, tais como: a compreensão das relações entre ciência e sociedade; o entendimento da natureza da ciência e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática; e a noção básica de termos e conceitos científicos fundamentais, para o que elas denominam “alfabetização científica”.

Sasseron (2015) amplia essa noção e apresenta a Alfabetização Científica (AC) como resultado do processo de combinação entre cultura científica com a escolar, o que justificaria a concepção de uma cultura científica escolar, formada tanto por elementos pedagógicos quanto por elementos do “fazer científico”.

Concordamos com Sasseron (2011) com relação ao significado do termo Alfabetização Científica (AC)

> (...) Para designar as ideias que temos em mente e que objetivamos ao planejar um ensino que permita aos alunos interagir com uma nova cultura, com uma nova forma de ver o mundo e seus acontecimentos, podendo modificá-los e a si próprio através da prática consciente propiciada por sua interação cercada de saberes de noções e conhecimentos científicos, bem como das habilidades associadas ao fazer científico. (p. 61).

Alfabetizar cientificamente vai além de ensinar conceitos ou conhecimentos científicos. É o acesso a uma cultura e suas formas de produção de conhecimento e comunicação. Portanto, alfabetizar cientificamente é um processo contínuo que deve ser realizado ao longo da Educação Básica, desde o início da escolarização, e que não deve acabar com o fim do Ensino Médio.

Para Sasseron e Carvalho (2011), a AC apresenta um obstáculo em sua definição quanto ao seu conceito abordado na literatura sobre o ensino de ciências e mostra-se controverso quando queremos defini-lo ou caracterizá-lo. Não nos aprofundaremos sobre o conceito de AC[1] e as implicações a ela ligadas, contudo a nossa pesquisa contará com uma ferramenta de análise proposta por Sasseron (2008).

Em nosso texto, acordamos com as autoras quando apresentam quais seriam os eixos estruturantes da alfabetização científica na educação básica. A autora, percebendo a existência de três eixos estruturantes da alfabetização científica, define-os como:

- a compreensão básica de conceitos científicos;

---

[1]Recomendamos aqui a leitura do texto de Sasseron e Carvalho (2011) que apresenta uma discussão sobre uma revisão bibliográfica da AC.

- a compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática;
- o entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente.

Através desses eixos, Sasseron (2008) nos revela que uma possível maneira de se observar de que modo os conceitos e os elementos do trabalho científico são trabalhados em sala de aula é por meio de **indicadores da alfabetização científica.** Estes representam ações e habilidades utilizadas durante a resolução de um problema:

O *levantamento* e *o teste de hipóteses* são indicadores associados para a obtenção de dados. Outros indicadores relacionados com os dados de qualquer situação são: *classificação*, *seriação* e *organização das informações*.

Outros indicadores de alfabetização científica são: construção de uma *explicação*, o uso de *justificativa* para fundamentar uma ideia e a *previsão* sobre o que pode decorrer dessa situação. Por fim, o uso do *raciocínio lógico* e do *raciocínio proporcional* são indicadores associados mais diretamente a dimensões epistemológicas da construção do conhecimento como formas de organizar e construir as ideias acerca do fenômeno envolvido.

Também tratando da formação para o desenvolvimento da alfabetização científica, Hurd (1998), em seu texto, revela-nos quanto à importância da escola possibilitar aos alunos a compreensão das ciências e suas tecnologias para então serem capazes de atuarem na sociedade de forma mais autônoma.

Para isso, orientamo-nos também por algumas ideias de Paulo Freire, que no livro *Pedagogia da Autonomia,* coloca como temática central a “questão da formação docente ao lado da reflexão sobre a prática educativo-progressiva em favor da autonomia do ser dos educandos” (1996, p. 13), pois ensinar “não consiste em transferir conhecimentos, mas criar possibilidades para a sua produção ou a sua construção” (1996, p. 22).

Embora, na década de 1920, John Dewey já tenha proposto mudanças no ensino voltadas para um estudante atuante, as diretrizes dos documentos oficiais brasileiros traçam estratégias para relacionar o ensino de ciências à cidadania, desenvolvendo habilidades necessárias para a interpretação de fatos e intervenção direta na sociedade. Além de possibilitar a vivência da investigação, a

problematização de conhecimentos científicos é essencial no processo do ensino de ciências.

Dentre esses documentos, podemos destacar as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Básica (DCNEB), que ressaltam a importância que

> Uma formação integral, portanto, não somente possibilita o acesso a conhecimentos científicos, mas também promove a reflexão crítica sobre os padrões culturais que se constituem normas de conduta de um grupo social, assim como a apropriação de referências e tendências que se manifestam em tempos e espaços históricos, os quais expressam concepções, problemas, crises e potenciais de uma sociedade, que se vê traduzida e/ou questionada nas suas manifestações (2013, p. 162).

No ensino em geral, especificamente no ensino de ciências, a adoção de estratégias baseadas na reprodução de conceitos impede um maior desenvolvimento intelectual, social e cultural dos estudantes, visto que estas limitam a uma formação dos estudantes de forma mais abrangente. Além disso, estas estratégias acabam tendo pouca eficiência no preparo dos estudantes para uma tomada de decisões em sociedade frente a assuntos cotidianos que abarcam conhecimentos científicos e tecnológicos.

Acreditamos que a prática do EporI abrange tais conceitos ao considerar o estudante atuante no processo de ensino, na medida em que o estimula à investigação e não apenas à mera reprodução do conhecimento.

2.1 O Ensino por Investigação (EporI)

O Ensino por investigação possuiu uma longa e diversa história no contexto de educação em ciências. Portanto, persistem diferentes entendimentos em torno dessa perspectiva de ensino.

Essas diversas compreensões ficaram evidentes no artigo de Abd-el-khalick *et. al.* (2004), o qual realiza uma análise a partir de relatos de experiências apresentados em um Simpósio Internacional, reunindo pesquisadores de seis países com realidades educacionais distintas sobre a implementação do Ensino de Ciências por Investigação, que almejavam a promoção do ensino de ciências baseado na investigação.

De acordo com os autores, os diversos entendimentos acerca do Ensino por Investigação estavam focados na visão estabelecida após a primeira reformulação

curricular nos EUA (de 1950 a 1980). No final da década de 80 e início da década de 90, há uma retomada da investigação como uma prática do ensino de ciências até os dias atuais.

Para Duschl (2008), essa retomada de investigação como prática do ensino de ciências se instituiu em um segundo movimento de reformas curriculares nos EUA e na Inglaterra. Nos EUA, o enfoque era levar “Ciência para todos” (*Science for All*), e na Inglaterra o “Entendimento público da Ciência” (*Public Understanding of Science*), ambos com a ideia de “alfabetizar a população cientificamente”, com a finalidade de que houvesse uma compreensão de um mundo no qual a ciência e a tecnologia cada vez mais influenciassem aspectos políticos, econômicos e sociais.

A partir daí, diversos países começaram a se apropriar da investigação e o termo Ensino por Investigação como prática de ensino de ciências assume diferentes significados. Os significados do Ensino por Investigação vão desde concepções apropriadas nas reformas curriculares da década de 1950 e 1960, de promover o método cientifico na sala de aula, às concepções que visam superar essa ideia, fazendo com que evidenciem discussões sobre a natureza da ciência e outras dimensões que formam as condições de produção da ciência (Abd-el-khalick *et. al.,* 2004).

Abd-el-khalick *et. al.* (2004) apontam sete aspectos que consideram necessários discutir para conceber a investigação no ensino de ciências, que são:

- aprender ciência *versus* aprender sobre ciência;
- ciência como busca da verdade *versus* ciência como atividade de resolução de problemas;
- levantar e responder questões *versus* propor e revisar explicações e modelos;
- ciência como atividade cognitiva *versus* ciência como atividade social;
- demonstração de conceitos *versus* investigação de como sabemos e por que acreditamos nisso;
- ciência hipotético-dedutiva *versus* modelo baseado em ciência;
- ciência como processo de justificar e testar conhecimentos *versus* ciência como processo de descoberta e generalização de conhecimentos.

Consideramos a investigação como uma atividade ligada à construção de questões sobre o mundo natural e à busca de respostas para essas questões.

Aprender a investigar pressupõe a observação, planejamento, levantamento de hipóteses, realização de medidas e interpretação de dados, refletindo e construindo explicações de caráter teórico. Nesse contexto, os estudantes se abarcam em processos investigativos, envolvendo-se no processo de aprendizagem. Essas habilidades podem ser trabalhadas simultaneamente, de uma só vez ou em diversas aulas. Atividades investigativas tornam-se uma oportunidade para desenvolver novos significados e conhecimentos dos conteúdos abordados.

Uma atividade de caráter investigativo é uma estratégia, entre outras, que o professor utiliza para diversificar sua prática no cotidiano escolar. Concordamos quando Sasseron (2013) descreve a investigação como um “caminho a ser trilhado” e acrescenta que:

> Toda investigação científica envolve um problema, o trabalho com dados, informações e conhecimentos já existentes, o levantamento e o teste de hipóteses, o reconhecimento de variáveis e o controle destas, o estabelecimento de relações entre as informações e a construção de uma explicação (...) em sala de aula, essas mesmas etapas podem ser trilhadas. E isso pode ocorrer em qualquer tipo de atividade que se realize, não estando condicionada a acontecer somente em aulas experimentais (p. 43).

Apoiamo-nos também nas ideias de Carvalho (2013) para nos ajudar a definir o Ensino por Investigação. Para Carvalho, o Ensino por Investigação contempla alguns quesitos, tais como:

- o questionamento feito aos estudantes sobre determinado assunto, procurando instigá-los e orientá-los no trabalho a ser desenvolvido, de modo a despertar o seu interesse;
- proporcionar debates e discussões sobre as possíveis resoluções do problema;
- propiciar o desenvolvimento de argumentos no processo de resolução deste;
- proporcionar a construção do entendimento científico abordado durante a investigação.

Nesse contexto, o professor exerce o papel de orientador das atividades: é ele quem propõe e discute questões, colabora para o planejamento da investigação dos alunos, orienta o levantamento de evidências e explicações teóricas, fomenta a discussão e a argumentação entre os estudantes, discute conceitos e promove a sistematização do conhecimento. Consequentemente, o professor estimula, de forma significativa, a vivência de experiências pelos estudantes, permitindo-lhes, assim, a construção de novos conhecimentos acerca do que está sendo investigado.

Utilizamos aqui a ideia do Ensino por Investigação como abordagem didática defendida por Sasseron (2015):

> (...) o ensino por investigação demanda que o professor coloque em prática habilidades que ajudem os estudantes a resolver problemas a eles apresentados, devendo interagir com seus colegas, com os materiais à disposição, com os conhecimentos já sistematizados e existentes. Ao mesmo tempo, o ensino por investigação exige que o professor valorize pequenas ações do trabalho e compreenda a importância de colocá-las em destaque como, por exemplo, os pequenos erros e/ou imprecisões manifestados pelos estudantes, as hipóteses originadas em conhecimentos anteriores e na experiência de sua turma, as relações em desenvolvimento (p. 58).

Kelly (2016) elenca quatro dificuldades que o professor pode encontrar durante as aulas de caráter investigativo. São elas:

1. Dificuldade dos alunos em deduzir alguns conceitos e, por essa razão, a necessidade de haver uma mediação realizada por um membro com domínio dessas técnicas durante a aprendizagem de ciências;
2. Critérios epistêmicos precisam ser levados em conta durante a avaliação de afirmações do conhecimento;
3. Diferentes métodos de avaliação precisam ser cuidadosamente escolhidos para coincidir com as metas de aprendizagem adequadas para o conhecimento almejado;
4. Compreender como tais abordagens (Ensino por Investigação) podem ser apoiadas ou prejudicadas por decisões pedagógicas curriculares, tanto de dentro como fora do programa de ciências.

Uma possibilidade de conduzir a investigação em sala de aula seria através de uma “sequência de caminhos a serem trilhados”, chamada de Sequência de Ensino Investigativo. Nas palavras de Dolz “uma ‘sequência didática’ é um conjunto de atividades escolares organizadas, de maneira sistemática, em torno de um gênero textual oral ou escrito” (DOLZ (2004), *apud*, GIORDAN, GUIMARÃES e MASSI, 2011, p. 5).

2.2 Sequência de Ensino Investigativa (SEI)

Uma SEI tem como característica didática proporcionar maior liberdade intelectual aos estudantes em sala de aula, proporcionando a eles autonomia e participação direta nos processos de aprendizagem, desde a formulação de hipóteses para resolução de um problema, passando pela interpretação de dados até a conclusão. Importante ressaltar que uma SEI pode demandar várias aulas, dependendo do tema e dos conteúdos que se deseja abordar.

Utilizando as palavras de Carvalho (2013), uma SEI pode ser definida como

> Sequências de atividades (aulas) abrangendo um tópico do programa escolar em que cada atividade é planejada, do ponto de vista do material e das interações didáticas, visando proporcionar aos alunos: condições de trazer seus conhecimentos prévios para iniciar os novos, terem ideias próprias e poder discuti-las com seus colegas e com o professor passando do conhecimento espontâneo ao científico e adquirindo condições de entenderem conhecimentos já estruturados por gerações anteriores (p. 9).

As atividades que compõem uma SEI, conforme Vieira (2012), podem ser: experimental, de campo e de laboratório, de demonstração, de pesquisa, com filmes, de simulação no computador, com bancos de dados, de avaliação de evidências, de elaboração verbal e escrita de um plano de pesquisa, entre outras.

No preparo dessas atividades, Carvalho (2013) nos orienta que tanto o problema quanto o material didático utilizado estão interligados e as interações didáticas ocorridas em todas as etapas da atividade também são extremamente importantes durante a estruturação de uma SEI.

Segundo a autora, as atividades de uma SEI devem ser estruturadas em quatro etapas:

a) *Etapa de distribuição do material experimental e proposição do problema pelo professor:* esta consiste em propor aos estudantes, organizados em grupos, o problema a ser resolvido, garantindo que todos o tenham compreendido.

b) *Etapa de resolução do problema:* permitir que os estudantes elaborem estratégias de resolução do problema.

c) *Etapa da sistematização dos conhecimentos elaborados nos grupos:* nesta etapa, o professor irá verificar se as hipóteses levantadas pelos estudantes deram certo ou não, questionando-os acerca do processo de construção do conhecimento.

d) *Etapa do escrever e desenhar:* consiste na etapa da sistematização individual do conhecimento, através do desenho ou da escrita sobre o que aprenderam na aula.

Podemos perceber que em todas as etapas é esperado que ocorram diversas interações – entre pessoas, pessoas e objeto, pessoas e conhecimento prévio – para a construção do conhecimento.

Carvalho (2013) adverte para a importância dessas interações, na medida em que se faz necessário para o professor ter a clareza de como ele quer orientar a construção do conhecimento, “de modo que ele faça perguntas, proponha problemas e questione comentários e informações trazidos pelos estudantes tendo como o intuito o trabalho investigativo com o tema da aula” (p. 43).

2.3 As interações discursivas e a argumentação em sala de aula

Estudos como os de Mehan (1979) e Cazden (2001) buscam ensaios para tentar incluir a natureza e as implicações das interações em sala de aula e como se tornam significativas, além de tentar obter respostas e suas consequências para a aprendizagem dos estudantes. Em alguns trabalhos, podemos identificar estruturas e processos de interação relacionados aos diferentes tipos de discurso e com diferentes funções (Kerlin, Scott e Kelly, 2009; Mortimer e Scott; 2002 e Mercer, 1997).

O prestígio das interações discursivas em sala de aula é também crescente em pesquisas que visam os processos de construção do conhecimento científico em sala de aula. Trabalhos Jiménez-Aleixandre, Bugallo Rodrigues e Duschl (2000), Mortimer e Scott (2002), Sasseron e Carvalho (2008), por exemplo, abordam a importância da linguagem e interações discursivas no ensino de ciência.

Para abordarmos melhor as interações discursivas, antes precisamos destacar a importância da construção de significados em sala de aula.

Interações sociais são de extrema importância e fundamentais para a construção do significado. Giordan (2008) afirma que o sentido dado para algo está intimamente ligado ao contexto, e reforça que "é a variabilidade do contexto provocada pelas situações que imprime uma variabilidade ao sentido da palavra" (p. 55).

Dessa forma, em uma sala de aula com a presença de estudantes em diferentes níveis de aprendizado e professores com metodologias diferentes, os estudantes podem produzir diferentes significados para um determinado conceito científico.

Lemke (1990) enfatiza o papel do significado e a importância da linguagem. Sobre ela, escreve em seu livro:

> O significado depende do padrão temático em que as palavras são usadas e que elas não necessariamente têm significado em si mesmas porque isoladamente, teriam apenas um significado potencial e uma gama de usos possíveis para significar várias coisas. O que realmente tem significado deve ser uso em algum padrão temático particular e uso para a expressão. Inicialmente, temos dificuldades de nos familiarizar com um padrão temático e temos dificuldade em entender o sentido das frases. É preciso que pratiquemos esse padrão temático no contexto de outros mais conhecidos e que até nós dominamos a sua utilização. Neste caso, é claro, isso é o que quero dizer com aprender a falar Ciência, mas o princípio aplica-se a toda a aprendizagem que envolve a linguagem para falar, ler, ou raciocinar sobre qualquer assunto (p. 32-36).

Mortimer e Scott (2002) afirmam que a negociação de significados é aspecto importante para a aprendizagem dos estudantes. E o professor tem papel extremamente importante na promoção de um ambiente propício para proporcionar as interações e possibilitar a construção desses significados pelos estudantes.

Silva e Mortimer (2011) nos mostram que quando o professor articula estratégias que fomentem as interações discursivas e oferece suporte para guiar os estudantes na internalização de ideias, estes são encorajados a refletirem e expressarem seus pontos de vista durante as discussões. Essas ideias relacionam-se diretamente com proposições feitas por Vigotski (2001) acerca da importância das interações socioculturais e discursivas como aspectos vinculados ao desenvolvimento do conhecimento científico.

Ainda dentro desse âmbito, é crescente o número de pesquisas que se interessam por aspectos epistêmicos no ensino de ciências (Duschl, 2008; Kelly, 2016; Kelly e Licona (2017), Osborne, 2016; Duschl e Sasseron, 2016), ponderando a hipótese de que tal ensino não seja apenas em proporcionar a aprendizagem de conceitos científicos e a realização de experimentos, mas também promover aos estudantes uma compreensão mais abrangente sobre a Natureza da Ciência (NC) e dos saberes científicos (Freire, Silva e Borges, 2014).

As autoras acima consideram que, ao longo das atividades escolares, os estudantes “deverão se apropriar dos critérios que tornam esses saberes

cientificamente aceitáveis e dos processos de avaliação operados por meio desses critérios". Nessa visão, a aprendizagem de ciências envolve assim uma aprendizagem epistêmica.

Para Windschitl *et. al.* (2008), estudos mostram que, assim como a prevalência de concepções ingênuas acerca da NC, a falta de conhecimento pedagógico e epistemológico por parte dos professores para a promoção e gestão de discussões acerca da natureza da ciência, não facilitam o confronto e discussão das ideias apresentadas pelos estudantes.

A respeito das atividades escolares, os autores nos mostram que tanto a linguagem, quanto as atividades desenvolvidas em salas de aula, devem estar elaboradas com características epistemológicas do conhecimento, engajando os estudantes com práticas autênticas da ciência.

Outro fator abrangente dentro dessa prática científica que ressaltamos é a argumentação. Para Scarpa (2015), estudos sobre a argumentação vêm ganhando destaque na área de ensino de ciências. Desse modo, algumas pesquisas proporcionam como objetivo descrever o processo de argumentação que se estabelece na sala de aula, enquanto outros estudos traçam estratégias para fomentar a argumentação em sala de aula.

O discurso argumentativo é de extrema importância para práticas discursivas na escola. Para Jiménez-Aleixandre *et. al.* (2000), o modelo da estrutura dos argumentos de Toulmin (2006) teve amplo impacto entre os pesquisadores da retórica e argumentação. Esse modelo também foi adaptado para estudos em campos como a educação (a educação em ciências, mais especificamente), como ferramenta de análise de argumentos em vários trabalhos da área. Abordaremos a argumentação com mais cuidado ainda neste capítulo.

Durante uma SEI, inúmeros caminhos podem ser explorados pelos estudantes na tentativa de resolver o problema. O professor deve ter conhecimento, clareza dos conteúdos abordados e, sobretudo, das inúmeras possibilidades que uma aula dessa natureza pode apresentar.

> Em sala de aula, esses debates – ou como preferimos chamar –, essas interações discursivas devem ser promovidas pelo professor e cuidados precisam ser tomados para que o debate não se transforme em uma conversa banal. O objetivo da atividade precisa, portanto, estar muito claro para o professor, de modo que ele faça perguntas, proponha problemas e questione comentários e informações trazidos pelos estudantes tendo como intuito o trabalho investigativo com o tema da aula (CARVALHO, 2013, p. 43).

Nesse contexto, o professor desempenha a função de mediador das atividades ao propor a discussão de questões, contribuindo para o planejamento da investigação dos estudantes, e orientando o levantamento de evidências e explicações teóricas, possibilitando assim a discussão e a argumentação entre os estudantes, na medida em que introduz conceitos e promove a sistematização do conhecimento. Consequentemente o professor oportuniza a vivência de experiências pelos estudantes, propiciando, assim, a construção de novos conhecimentos acerca do que está sendo investigado.

Segundo Mortimer e Scott (2002), a sequência discursiva pode ser identificada como dialógica ou de autoridade, independente de ter sido enunciada por um único indivíduo ou interativamente. O que torna o discurso dialógico é o fato de que ele expressa mais de um ponto de vista dado por várias vozes. Um discurso de autoridade caracteriza-se quando uma “voz” é ouvida e não ocorre inter-animação de ideias. O discurso interativo ocorre com a participação de mais de uma pessoa e o não interativo com a participação de uma pessoa só.

No mesmo estudo, Mortimer e Scott (2002) identificam quatro classes de abordagem comunicativa, definidas por meio da caracterização do discurso entre professor e aluno em termos de duas dimensões: discurso *dialógico* ou de *autoridade*; discurso *interativo* ou *não interativo*.

a) Interativo / dialógico: professor e estudantes exploram ideias, formularam perguntas autênticas e oferecem, consideram e trabalham diferentes pontos de vista.

b) Não interativo / dialógico: professor reconsidera, na sua fala, vários pontos de vista, destacando similaridades e diferenças.

c) Interativo / de autoridade: professor geralmente conduz os estudantes por meio de uma sequência de perguntas e respostas, com o objetivo de chegar a um ponto de vista específico.

d) Não interativo / de autoridade: professor apresenta um ponto de vista específico.

Um dos problemas na sala de aula, como nos mostra Giordan (2008) é que, muitas vezes, o professor prefere usar do diálogo triádico (Iniciação, Resposta e Feedback – I-R-F) pela dificuldade, incompreensão ou mesmo despreocupação com o uso de atividades e encaminhamentos capazes de alimentar e sustentar padrões diferentes de interação. Além destas fragilidades, muitas vezes os professores

estabelecem relações semânticas e entre conceitos de forma implícita, prejudicando a possibilidade de questionamentos, debates e esclarecimentos.

Para Giordan (2008), “os professores tendem a controlar excessivamente as discussões por meio de perguntas enquanto desempenham o papel de questionadores nas interações de sala de aula” (p. 244), e o padrão I-R-F de interações é tipicamente adotado no exercício desse controle. Segundo Lemke (1990), esse padrão é subvertido quando o aluno “desafia” o professor e se propõe a efetuar questionamentos ao professor.

A linguagem argumentativa é uma das principais características da construção do conhecimento científico. Devido ao seu uso na comunicação científica, entendemos que a argumentação é relevante para a prática da ciência, a construção e a compreensão de seus produtos, assim como de seus processos (Sasseron; Carvalho, 2011).

Ainda nesse âmbito, é crescente o número de pesquisas que se interessam por aspectos epistêmicos no ensino de ciências (Duschl, 2008; Kelly, 2016; Kelly e Licona, 2017, Osborne, 2016; Duschl e Sasseron, 2016, entre outros) ponderando a hipótese de que tal ensino não seja apenas em proporcionar a aprendizagem de conceitos científicos e a realização de experimentos, mas também promover aos estudantes uma compreensão mais abrangente sobre a natureza da Ciência e da construção do conhecimento (Freire, Silva e Borges, 2014).

As autoras citadas acima consideram que, ao longo das atividades escolares, os estudantes “deverão se apropriar dos critérios que tornam esses saberes cientificamente aceitáveis e dos processos de avaliação operados por meio desses critérios” (FREIRE, SILVA e BORGES, 2014, p.1). Nessa visão, a aprendizagem de ciências envolve, assim, uma aprendizagem epistêmica.

Para Windschitl *et. al.* (2008), estudos mostram que, assim como a prevalência de concepções ingênuas acerca da NC, a falta de conhecimento pedagógico e epistemológico, por parte dos professores, para a promoção e gestão de discussões acerca da natureza da ciência, não facilitam o confronto e discussão das ideias apresentadas pelos estudantes.

A respeito das atividades escolares, Windschitl *et. al.* (2008) nos mostram que, tanto a linguagem, quanto as atividades desenvolvidas em salas de aula devem estar elaboradas com características epistemológicas do conhecimento, engajando os estudantes com práticas autênticas da ciência.

Outro fator abrangente dentro dessa prática epistêmica da ciência que ressaltamos é a argumentação. Para Scarpa (2015), estudos sobre a argumentação vêm ganhando destaque na área de ensino de ciências. Desse modo, algumas pesquisas proporcionam como objetivo descrever o processo de argumentação que se estabelece na sala de aula, enquanto outros estudos traçam estratégias para fomentar a argumentação em sala de aula.

O discurso argumentativo é de extrema importância para práticas discursivas na escola. Para Jiménez-Aleixandre *et. al.* (2000), o modelo da estrutura dos argumentos de Toulmin (2006) teve amplo impacto entre os pesquisadores da retórica e argumentação. Esse modelo também foi adaptado para estudos em campos, como a educação (a educação em ciências, mais especificamente), como ferramenta de análise de argumentos em vários trabalhos da área.

Entendemos que a argumentação é uma estratégia que colabora na aquisição da linguagem científica e possibilita desenvolver entre os estudantes capacidade de raciocinar e discutir sobre problemas científicos e sócio científicos. Desse modo, é fundamental que professores a desenvolvam em sala de aula, conforme salientado em Colombo Junior *et. al.* (2012).

Jiménez-Aleixandre *et. al.* (2000) nos mostram que a argumentação em sala de aula vai além da aprendizagem de conteúdos, proporcionando ao estudante raciocínio sobre problemas e questões, justificativas das afirmações científicas e um entendimento da natureza. Portanto, reconhecemos que uma aprendizagem que envolve processos argumentativos infere ao estudante o conhecimento de como se faz ciência, o que é fundamental para a compreensão do seu papel na sociedade.

Ao longo de seu texto, Jiménez-Aleixandre e Brocos (2015) levantam perguntas-chave sobre a caracterização do argumento, o objeto de estudo, a unidade de análise e as ferramentas metodológicas da pesquisa. Três dificuldades são apresentadas pelos autores: *teórica*, *metodológica* e *didática*.

As inquietações discutidas anteriormente tratam-se de questões teóricas sobre a argumentação. Ainda nessa perspectiva teórica, concordamos também com Leitão (2011) ao afirmar que:

> “qualquer que seja o contexto discursivo, a argumentação envolve uma espécie de 'negociação' entre duas partes (não necessariamente dois indivíduos) que divergem em relação a um tópico discutido e assumem os papéis de proponente e oponente em relação aos pontos de vista apresentados. Em situações dessa natureza, o papel do proponente envolve operações cognitivo-discursivas de central importância, tanto para o

> surgimento da argumentação, como para a construção de conhecimento" (p. 20).

Para Leitão (2011), ao proponente cabe:

1. oferecer razões que dêem sustentação às suas próprias afirmações (pontos de vista);
2. examinar contra-argumentos (avaliar a sustentabilidade de suas afirmações diante de contra-argumentos);
3. a eles responder (reafirmando ou modificando seu ponto de vista inicial).

Já o oponente tem o papel de "trazer para o diálogo" inquietações, dúvidas e afirmações que contrapõem os argumentos do proponente. Na formulação de resposta a contra-argumentos pelo proponente é que novas possibilidades de entendimento do tópico discutido podem ser geradas (Leitão, 2011).

Ao refletirmos sobre os desafios metodológicos da pesquisa em argumentação em ensino de ciências, à luz de Jiménez-Aleixandre e Brocos (2015), a adaptação de diferentes ferramentas metodológicas devem se orientar quanto aos processos de produção da argumentação, uma vez que é concebida como uma prática envolvida na construção de conhecimento. Os autores destacam cinco tipos de desafios metodológicos:

1. o que conta como argumento;
2. o objeto de estudo e a unidade de análise;
3. a adequação das distintas ferramentas metodológicas;
4. como definir, como identificar e utilizar diferentes elementos das ferramentas de pesquisa;
5. como analisar as dimensões mais sofisticadas da argumentação.

Trazemos para a discussão as potencialidades e os limites das ferramentas de análise. Conforme advertem Jiménez-Aleixandre e Brocos (2015), uma questão central na pesquisa é a eleição da ferramenta e, em seu texto, examinam três delas tipicamente usadas nas pesquisas em ensino de ciências: Toulmin, Walton, e Rigotti e Greco-Morasso. Discutiremos aqui acerca do esquema de representação dos argumentos conhecido como Toumin Argument Pattern (TAP).

Toulmin (2006) propõe um padrão de argumentos caracterizando seus elementos constitutivos bem como a relação entre eles, sendo um total de 6 componentes:

- Dados: fatos a que recorremos para fundamentar nossa alegação;

- Conclusão: alegações cujos méritos buscamos estabelecer;
- Garantia: afirmativas gerais que realizam a passagem dos dados para a conclusão;
- Apoio: avais que conferem autoridade às garantias;
- Qualificador: são condições no argumento, levando em consideração a garantia;
- Refutação: determinam as condições de exceção das garantias apresentadas.

Voltando atenções no modelo de Toulmin, Sasseron e Carvalho (2011) apontam que o TAP é uma ferramenta eficaz nos procedimentos de análise das argumentações no ensino de ciências. Contudo existem diferenças na construção do argumento que devem ser estudadas, as quais não são incluídas no modelo de Toulmin.

As autoras também enfatizam a importância do papel do professor na promoção da argumentação em sala de aula, pois além de saber ouvir os estudantes, o professor deve ter clareza acerca de qual o tipo de pergunta pode e deve ser feita em cada momento da aula. O tema sobre perguntas será abordado mais adiante.

Ainda com o intuito de estudar ferramentas de análise dos argumentos ocorridos em aulas de ciências, Sasseron e Carvalho (2011) nos revelam possibilidades e limites dos referenciais utilizados nesse tipo de pesquisa. Além disso, defendem que é fundamental o professor ter a compreensão de quando cada um dos elementos do padrão de Toulmin é proporcionado em sala de aula.

As inquietações discutidas agora se aproximam do desafio didático que crie ambientes de aprendizagem argumentativos. Agora passamos a abordar a criação de ambientes que fomentem o planejamento de ambientes de aprendizagem argumentativos.

Vieira e Nascimento (2013) afirmam que promover a argumentação em sala de aula pode não ser das tarefas mais fáceis. Ao investigar estudantes do curso de Licenciatura em Física, seus resultados demonstram que “o papel da argumentação e os objetivos didáticos correlatos, no discurso de sala de aula, não são suficientemente claros para os sujeitos investigados” (p. 16). Ainda concluem, em seu trabalho, que os próprios professores de Física não têm ideias claras sobre o que é uma situação argumentativa e como ela se diferencia de outras, por exemplo, uma explicação. Eles geralmente misturam características dessas duas situações

discursivas sem ter ideias claras sobre quais objetivos didáticos cada uma pode ajudar a satisfazer, ou como cada uma dessas situações pode ser estabelecida e mantida no discurso de sala de aula.

> A despeito do reconhecimento crescente da importância da argumentação como atividade discursiva relevante à construção do conhecimento, é preocupante constatar que a argumentação é ainda relativamente pouco frequente no cotidiano da sala de aula. Consciência da relevância da argumentação e disposição de produzi-la em sala de aula parecem, portanto, não ser suficientes. Mesmo professores sensíveis ao papel da argumentação na aprendizagem se sentem muitas vezes confusos sobre os níveis de escolaridade, campos do conhecimento (disciplinas) e mesmo, mais especificamente, as circunstâncias da sala de aula em que a argumentação poderia/deveria ser produtivamente implementada (LEITÃO, 2011, p. 35).

A nossa visão é de que o professor é o responsável por fomentar um ambiente de múltiplas interações entre os estudantes, de forma que estes sejam capazes de justificar suas alegações e construírem suas explicações para as situações que investigam com base em conhecimentos adquiridos.

Em seu artigo, Sasseron (2015) busca

> Traçar um panorama sobre como o professor, visto por nós como um agente central para que a implementação de abordagens didáticas investigativas seja bem sucedida, promove o argumento e o desenvolvimento da argumentação dos estudantes. É o professor o responsável por criar um ambiente de múltiplas interações entre os alunos, de forma que estes sejam capazes de justificar suas alegações e construírem suas explicações para as situações que investigam com base em conhecimentos que têm disponíveis (p. 57).

Na tentativa de investigar quais ações tomadas pelo professor fomentam o surgimento e desenvolvimento da argumentação pelos estudantes no contexto do Ensino por Investigação, Ferraz (2015) organiza grupos de ações dentro de categorias mais amplas, chamadas de propósitos epistêmicos para a promoção de argumentação, apresentados a seguir.

a) *Retomar:* o professor retoma informações, dados e conceitos.

b) *Problematizar:* o professor propõe um problema.

c) *Explorar*: o professor explora um ponto de vista dos estudantes.

d) *Qualificar:* o professor qualifica variáveis, objetos, fenômenos, explicações ou ponto de vista.

e) *Sintetizar:* o professor sintetiza informações e explicações.

De acordo com Kelly (2011), investigações discursivas das práticas epistêmicas do cotidiano na sala de aula revelam como a ciência é "realizada" nesses cenários por professores e estudantes. Essa abordagem analisa como as

práticas epistêmicas nas salas de aula oferecem possibilidades e limitações ao que conta como ciência, quem pode participar e como a ciência é realizada entre os membros do grupo. Assim, aprender ciências implica aprender as próprias práticas da comunidade científica (Kelly, 2011). O autor alega que o foco nas práticas epistêmicas situa a aprendizagem da ciência em questões sociais.

Ainda nessa perspectiva e apoiados na ideia de Vieira e Nascimento (2013), reconhecemos que, para observar as práticas docentes, precisamos, antes, compreendê-las. Além de uma SEI estruturada e bem definida, fica claro que as ações e práticas do professor, ao longo de todo o processo, são relevantes na condução da investigação e no processo de promoção da argumentação dos estudantes. Por essa razão, faz-se necessário que tais práticas sejam abordadas com mais profundidade.

2.4 As ações dos professores

Como discutimos anteriormente, durante as etapas de uma SEI, o professor tem o papel de orientar os estudantes por processos investigativos e argumentativos, possibilitando aos estudantes tornarem-se protagonistas no processo de ensino e aprendizagem.

Conforme apontam Zômpero e Laburú (2011), diferentes ações, metodologias e práticas propostas pelo professor podem ocorrer em sala de aula. Vimos também que nas interações estudante-professor, durante um processo investigativo, as ações do professor estão diretamente ligados com a promoção de interações e argumentações dos estudantes em sala de aula.

> Para isso, é necessário que ele (o professor) se atente ao trabalho de organização e análise dos dados e informações existentes e questione sempre os alunos, propondo perguntas de tal modo que seja possível analisar observações feitas e/ou hipóteses levantadas e contrapor situações. (CARVALHO, 2013, p. 47).

Ao tratar das ações dos professores para a promoção da argumentação em aulas de ciências, Sasseron (2013) afirma a existência de dois âmbitos da atuação dos professores, os quais são necessários para o desenvolvimento da argumentação em sala de aula:

a) *os propósitos pedagógicos*: referem-se ao desenvolvimento de ações de sala de aula que contribuem para o desenvolvimento da mesma no espaço e tempo de uma aula. Dentre os propósitos, estão destacados o planejamento da atividade, a organização para a atividade, as ações disciplinares e a motivação.

b) *os propósitos epistemológicos do professor*: estão diretamente relacionados à construção de um argumento científico.

Duschl (2008) salienta que estudos epistemológicos no ensino em ciências evidenciam o processo de construção do conhecimento no cotidiano escolar, daí a sua importância. Esses autores definem como práticas epistêmicas as "formas específicas com que membros de uma comunidade inferem, justificam, avaliam e legitimam os conhecimentos ao longo de sua construção" (p. 19).

Baseados na definição de Kelly e Licona (*2017*), entendemos práticas epistêmicas como as formas socialmente organizadas por meio das quais os membros de um grupo propõem, comunicam, avaliam e legitimam afirmações do conhecimento, as quais serão apresentadas a seguir:

a) *propor*: introduzir questões científicas, concepção de investigações científicas para responder a perguntas, fazer observações, prever provas relevantes com base em uma investigação, construção e refinamento de modelos.

b) *comunicar*: desenvolvimento de uma linha de raciocínio científico, escrever uma explicação científica (relatório do laboratório), comunicar verbalmente uma explicação científica, construção de uma explicação científica baseada em evidências e raciocínio.

c) avaliar: avaliar méritos de uma afirmação científica, evidência ou modelo, avaliação de uma linha de raciocínio científico, avaliar uma explicação científica considerando explicações alternativas.

d) legitimar: construção de um grupo consensual para explicações científicas, acordar com o valor para a explicação que mais se aproxima das teorias preexistentes cientificamente aceitas, reconhecer o conhecimento pela comunidade epistêmica relevante.

O estudo das práticas epistêmicas auxilia na análise do movimento epistêmico dos estudantes, possibilitando entender como as atividades investigativas favorecem a apropriação de conhecimentos científicos e práticas discursivas da comunidade científica (Araújo, 2008).

Ao problematizar suas ações, o professor prepara-se para a criação de um ambiente mais interativo, fazendo com que o estudante participe da aula de forma ativa. Daí a importância do professor não apenas transmitir informação, mas saber fazer o tipo de pergunta adequada para estimular o aluno na construção do entendimento sobre conhecimento científico.

Para compreender melhor essa prática dialógica, Freire acrescenta que

> [...] O diálogo é uma exigência existencial. E, se ele é o encontro em que se solidarizam o refletir e o agir de seus sujeitos endereçados ao mundo a ser transformado e humanizado, não pode reduzir-se a um ato de depositar ideias de um sujeito no outro, nem tampouco tornar-se simples troca de ideias a serem consumidas pelos permutantes. (FREIRE, 1996, p. 95).

De acordo com Libâneo (1994), o professor não transmite apenas informações ou faz perguntas, ele também deve ouvir os alunos:

> Não estamos falando da afetividade do professor para com determinados alunos, nem de amor pelas crianças. A relação maternal ou paternal deve ser evitada, porque a escola não é um lar. Os alunos não são nossos sobrinhos e muito menos filhos. Na sala de aula, o professor se relaciona com o grupo de alunos. Ainda que o professor necessite atender um aluno especial ou que os alunos trabalhem individualmente, a interação deve estar voltada para a atividade de todos os alunos em torno dos objetivos e do conteúdo da aula (p. 251).

Tratando-se das perguntas que os professores realizam, no âmbito do ensino de ciências e interações discursivas ocorridas em aulas de caráter investigativo, Machado (2012) identifica relações íntimas entre os tipos de perguntas feitas pelo professor e os indicadores de alfabetização científica elaborados por Sasseron (2008).

Machado (2012) cria a categoria analítica chamada *Tipos de perguntas feitas pelo professor em uma aula investigativa.* Essa categoria será apresentada melhor no próximo capítulo. No decorrer dessas interações, o autor pôde identificar o envolvimento dos alunos por meios dos indicadores de alfabetização científica.

A essas interações, associa-se uma estrutura de desenvolvimento das atividades investigativas, a qual guarda relações com os princípios de ambientes de aprendizagem considerados por Engle e Conant (2002) como fomentadores do Engajamento Disciplinar Produtivo (EDP) dos estudantes.

2.5 Engajamento Disciplinar Produtivo (EDP)

Tendo como pano de fundo o EporI como abordagem didática, acreditamos que algumas práticas didático-pedagógicas realizadas pelo professor podem estar relacionadas com o envolvimento dos estudantes na atividade abordada e seu consequente engajamento. Engle e Conant (2002) descrevem que podem existir diferentes níveis de engajamento e apresenta o conceito de EDP, o qual indica o nível de envolvimento dos estudantes com os temas e práticas de uma disciplina e se tal envolvimento implica em progresso intelectual.

Engle e Conant (2002) descrevem o EDP desmembrando o conceito em três partes:

a) *Engajamento*: para que ocorra o engajamento, os autores apresentam seis características que permitem inferir um alto grau de engajamento, quando:

- diversos estudantes participam da discussão;
- as falas dos estudantes estão correlacionadas com o tema da aula e voltadas para a resolução da proposta apresentada;
- poucos estudantes encontram-se distraídos;
- estudantes demonstram estarem atentos uns aos outros pela postura corporal;
- estudantes demonstram interesse pelo tema;
- estudantes participam por um longo período de tempo.

b) *Engajamento Disciplinar*: este acontece quando o engajamento se encontra inserido no contexto escolar, envolvendo normas, prazos, procedimentos, etapas a serem cumpridas, entre outros preceitos inerentes ao ambiente escolar.

c) *Engajamento Disciplinar Produtivo*: ocorre quando, depois de concluídas todas as etapas descritas acima, há um avanço do conhecimento do estudante.

Souza (2015), em sua pesquisa de mestrado, desenvolveu uma ferramenta analítica a partir do conceito de EDP. Para ele, cada um dos três conceitos apresentados por Engle e Conant (2002) pode ser desmembrado em três subdivisões, conforme quadro a seguir.

Quadro 1 – Indicadores de EDP

Engajamento
E1 – Discussão sobre o tema.
E2 – Há trabalho colaborativo.
E3 – Presença de características emocionais.
Engajamento Disciplinar
ED1 – Discussão sobre ideias e hipóteses para a construção de um plano de trabalho.
ED2 – Há trabalho colaborativo para concretização de ações, proposições e/ou análise de ideias.
ED3 – Presença de características emocionais relacionadas às ações para a resolução do problema.
Engajamento Disciplinar Produtivo
EDP1 – Discussão sobre sofisticação de ideias e construção de relações explicativas.
EDP2 – Há trabalho colaborativo na construção da explicação e reconhecimento de limites nas suas aplicações.
EDP3 – Presença de evidências do uso de ideias em todos os contextos, ressaltando a apropriação do conhecimento.

Tratando ainda de EDP, Silva (2008) também discute em sua tese o conceito. Para a autora, o EDP “indica o nível de alcance de envolvimento dos estudantes em temas e práticas de uma disciplina e se tal envolvimento resulta em progresso intelectual” (p. 46). Ela ainda entende que o EDP considera, além dos aspectos interacionais do engajamento dos estudantes, as ideias do que se configura como um discurso produtivo em um domínio específico do conhecimento.

Como mencionado anteriormente, para que ocorra o EDP, as ações e práticas do professor ao longo de todo o processo são relevantes na condução da investigação, na criação de ambientes de aprendizagem e no processo de argumentação dos estudantes.

Engle e Conant (2002) propuseram quatro princípios norteadores que favorecem a criação de ambientes de aprendizagem que auxiliam na promoção do EDP. São eles:

- problematizar o conteúdo;
- conceder autoridade aos estudantes;
- conceder aos estudantes responsabilidade para com os outros e com as normas disciplinares;
- prover os estudantes de recursos relevantes.

A nossa premissa parte da ideia de que uma aula pautada nos pressupostos no Ensino por Investigação favorece o aparecimento de EDP. Porém, relembramos que não há só uma forma possível do professor implementar a SEI. Dependendo das ações que o professor realiza em sala de aula, os episódios de EDP podem ser mais explícitos em um caso do que em outro. Desse modo, estimamos que em uma aula na qual o professor ofereça situações para que ocorram debates e que promova condições para argumentação dos estudantes em sala de aula, gerem mais casos de EDP do que uma aula na qual o professor controle excessivamente o seu tempo de fala e não fomente ambientes de aprendizagem para os estudantes.

Apontaremos primeiramente nossos objetivos da pesquisa para em seguida explicitarmos as ferramentas analíticas que serão utilizadas para nos fornecer subsídios para compreender melhor a dinâmica das aulas e investigar de forma mais estreita as relações entre as ações dos professores e o nível de engajamento dos estudantes. Posteriormente, discutiremos sobre os aspectos de coleta, bem como sobre o tratamento e a análise de dados.

3 METODOLOGIA

Para estudar **como se relacionam ações realizadas pelos professores e engajamento dos alunos em uma aula investigativa de tema da Física**, apresentaremos neste capítulo uma breve discussão sobre os procedimentos metodológicos empregados na pesquisa.

A nossa premissa parte da ideia de que aulas pautadas nos pressupostos do Ensino por Investigação favorecem o desenvolvimento de EDP entre os estudantes. No entanto, relembramos que não há só uma forma possível de um professor em implementar uma SEI. Dependendo das ações que o professor realiza em sala de aula, os episódios de EDP podem ser mais explícitos em um caso do que em outro. Desse modo, temos como hipótese que aulas em que o professor oferece situações para que ocorram debates e que promovam condições para argumentação dos estudantes em sala de aula, gerem mais situações de manifestação de EDP se comparadas a aulas em que o professor utilize monologicamente o seu tempo de fala e não fomente ambientes de aprendizagem para os estudantes.

Esta pesquisa é um estudo de caso de natureza qualitativa cujo foco da análise são as ações de professores durante a implementação de uma SEI e a participação e interação dos estudantes ao longo dessas aulas. Segundo Gil (2008),

> O estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado, tarefa praticamente impossível mediante os outros tipos de delineamentos considerados (p. 58).

Diferentemente da pesquisa quantitativa, a qual reúne dados para serem codificados de forma numérica, a pesquisa qualitativa reúne dados que serão interpretados e analisados de forma subjetiva para responder à nossa questão de pesquisa.

Para responder à nossa pergunta de pesquisa, analisaremos a mesma aula de uma mesma SEI implementada por dois professores diferentes em suas respectivas salas de aula, em duas diferentes escolas da Rede Pública Estadual da cidade de São Paulo/SP.

3.1 A coleta de dados

Os dados obtidos para este trabalho provêm de gravações em vídeo das aulas de dois professores, ambos participantes de atividades de um projeto coordenado por docentes do Laboratório de Pesquisa e Ensino de Física (LaPEF) da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. Todas as etapas da SEI de ambas as aulas foram registradas e encontram-se no acervo do LaPEF para futuras análises.

3.1.1 A SEI

Os dados para a análise foram coletados quando da implementação em aula da SEI "**Do real clássico ao ideal quântico: Uma sequência de aulas para introduzir o tema dualidade onda-partícula no ensino médio"** que tem como principal objetivo a investigação do comportamento da natureza da luz e seu caráter dual (comportamento ondulatório e corpuscular).

Vale ressaltar que esta SEI é resultado de uma adaptação feita por Barrelo Jr. (2010) a partir de uma proposta desenvolvida por Brockington (2005). Esta SEI consiste em um total de 11 aulas. A seguir, o quadro 2 contém informações sucintas sobre cada aula da SEI. Informações completas sobre a SEI encontram-se no ANEXO A.

Quadro 2 – Resumo das aulas da SEI (Barrelo Jr., 2010)

Aula	Objetivos e conteúdos
1. O Universo Físico	Apresentar a proposta aos alunos; levantar concepções prévias sobre Física e o conhecimento científico; caracterizar o conceito de trajetória para partículas e ondas; discutir o papel dos modelos na Física.
2. O Nascimento da Física Quântica	Contextualizar, historicamente o nascimento da Física Quântica; apresentar aspectos históricos da Física antes e depois de 1900.
3. Características da Luz	Retomar conceitos científicos sobre a luz; trabalhar propriedades de reflexão, refração e propagação da luz e a ideia de raio como modelo.
4. Modelo corpuscular de Newton x modelo ondulatório	Apresentar diferentes modelos para a luz: corpuscular e ondulatório; discutir a diferença entre modelos e seus domínios de aplicação.
5. Interferômetro de Mach-Zehnder clássico e real **6. Interferômetro de Mach-Zehnder clássico e real (virtual)**	Montar, apresentar e contextualizar historicamente o Interferômetro de Mach-Zehnder (IMZ); observar padrões de interferência; possibilitar o trabalho dos alunos com aparatos físicos e simulação computacional do IMZ.
7. Modelando o IMZ	Realizar a montagem do IMZ e organizar variáveis necessárias a esse processo.
8. A Matemática do IMZ	Discutir o funcionamento do IMZ e do modelo ondulatório da luz com base na modelagem matemática do fenômeno; proceder à modelagem matemática do IMZ.
9. Construindo um interferômetro quântico	Trabalhar a ideia de modelo quântico; transformar o interferômetro ideal clássico em um interferômetro ideal quântico; introduzir a ideia de dualidade onda- partícula.
10. Interpretações da Mecânica Quântica	Discutir as quatro interpretações da Mecânica Quântica para o comportamento dual da luz com base nos resultados e discussões anteriores relacionadas ao IMZ.
11. O Sentido das coisas	Discutir a natureza da Ciência e da realidade física.

Relembramos que essa SEI foi ministrada por dois professores diferentes. Ambos tinham conhecimento sobre a SEI e sobre o Ensino por Investigação, além de conhecimentos teóricos sobre Física Moderna e Contemporânea. Todos os participantes da aula ou seus responsáveis autorizaram o uso de filmagem para a finalidade de pesquisa e, com o intuito de preservar a identidade dos envolvidos,

todos os nomes citados são fictícios. Os professores analisados serão chamados de Romero e Vicente.

3.1.2 A aula analisada

A aula escolhida para análise desta pesquisa foi a de número 10 (Interpretações da Mecânica Quântica) cujo objetivo é discutir com estudantes sobre as quatro principais interpretações para o comportamento da luz oferecidas pela Mecânica Quântica e propostas por Pessoa Jr (2013), conforme quadro abaixo:

Quadro 3 – As quatro interpretações da Mecânica Quântica propostas por Pessoa Jr (2013)

Interpretações	Breve entendimento
1. Ondulatória	O fóton se divide em dois "meio-fótons" e se recombinam no segundo semi-espelho, assim como as ondas, produzindo o padrão de interferência observado na saída do interferômetro.
2. Corpuscular	O fóton é uma partícula e nunca se divide. Assim, um fóton segue um único caminho, bem determinado, no interior do interferômetro.
3. Dualista-Realista	O fóton é composto de duas partes: uma partícula e uma onda associada.
4. Complementaridade	O fóton se manifesta ora como onda, ora como partícula, porém nunca como onda e partícula ao mesmo tempo. Se observamos o padrão de interferência, interpretamos o fóton como onda. Se podemos determinar o caminho seguido pelo fóton no interior do interferômetro, dizemos que o fóton se comporta como partícula.

A escolha por essa aula para foco da análise advém do fato de que outros pesquisadores do LaPEF (Machado, 2012, Ferraz, 2015) já analisaram essa mesma aula e, portanto, já há resultados descritos quando do estudo da mesma. Devemos salientar que a aula do professor Vicente foi transcrita e analisada tanto por Machado (2012) quanto por Ferraz (2015) com diferentes perspectivas, resultando em duas de nossas ferramentas: *tipos de perguntas* e *propósitos epistêmicos*. Isso implica que, para essa aula, alguns resultados já estavam disponíveis para o grupo

de pesquisa, em especial a organização dos momentos da aula e dos episódios de análise. Já a aula do professor Romero nunca havia sido utilizada para análise em trabalhos de pesquisa do LaPEF.

3.1.3 Validação da análise dos dados

O processo de validação dos dados coletados nas aulas do professor Vicente, quanto às ferramentas de análise *propósitos epistêmicos* e *tipos de perguntas*, já havia sido realizado pelos pesquisadores Machado (2012) e Ferraz (2015) em suas dissertações de mestrado. A validação em relação aos episódios de EDP presentes na aula do professor Vicente realizou-se através de discussões entre terceiros, tanto do Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo quanto do Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade de Sorocaba/SP.

Todo o processo de validação das categorias de análise (propósitos epistêmicos, tipos de pergunta, e episódios de EDP), presentes na aula do professor Romero, foi realizado por meio de discussões entre membros do Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo e do Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade de Sorocaba/SP.

3.1.4 A aula 10 ministrada pelo professor Vicente

Com a aula devidamente categorizada por Machado (2012) e Ferraz (2015), voltamos à gravação original e minutamos os turnos de fala, além de analisarmos a aula com base no surgimento do EDP.

De acordo com Ferraz (2015), podemos descrever o desenrolar da aula analisada como:

> Os alunos estão dispostos em círculo, o professor retoma as discussões sobre a interferência no IMZ [2] e problematiza sobre como explicar o fenômeno da interferência para um único fóton. Os alunos têm em mãos uma folha com a atividade que deverão fazer e entregar após a discussão

[2] O Interferômetro de Mach-Zehnder (IMZ) é um arranjo experimental utilizado para identificar o caráter dual da luz (caráter ondulatório e corpuscular).

> para buscar entender a natureza da luz. Há uma apresentação em PowerPoint em que o professor mostrará as quatro linhas interpretativas da mecânica quântica para a natureza da luz (ondulatória, corpuscular, dualista-realista e complementaridade). O professor promove um debate entre os alunos e, ao término, sistematiza a aula, salientando que nenhuma das interpretações é satisfatória para explicar completamente o comportamento do fóton no interferômetro. Em seguida, os alunos entregam as atividades (p. 73).

Destacamos aqui que nos vídeos analisados da aula visualizamos um total de 22 estudantes regulares do Ensino Médio. Todavia, não podemos afirmar que eram 22 estudantes, pois não temos imagens “atrás” das câmeras para inferir que ali não se encontrava nenhum estudante.

3.1.5 A aula 10 ministrada pelo professor Romero

Esta é a primeira vez que essa aula é analisada. Para isso, foi preciso realizar todos os procedimentos para sua análise: transcrição das falas, minutagem de cada fala, enumeração e classificação dos turnos quanto às categorias das ferramentas de análise.

Pela gravação de vídeo, identificamos um total de sete estudantes do Ensino Médio regular na sala de aula dispostos em círculo, no entanto, não podemos afirmar que haviam apenas esses sete estudantes, uma vez que as câmeras estavam fixas e não filmaram determinadas áreas da sala de aula.

3.2 Apresentação das ferramentas de análise

Para investigar o problema de pesquisa, utilizamos ferramentas de análise que foram desenvolvidas em pesquisas já realizadas no LaPEF – *tipos de perguntas, propósitos epistêmicos e indicadores de EDP* – organizamos a transcrição dos dados em um quadro em que as demais colunas trazem a codificação feita, considerando as ferramentas analíticas escolhidas.

Desse modo, podemos evidenciar de forma mais direta quais categorias de cada ferramenta analítica estão surgindo em cada turno e seus episódios, para assim buscarmos relações entre as ações realizadas pelos professores e o engajamento dos estudantes.

Quadro 4 – Quadro utilizado para análise das aulas

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de perguntas	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP

A primeira coluna indica o tempo total de cada fala, considerando o momento ocorrido. Na segunda, enumeramos os turnos a partir do número 1. Na terceira coluna é apresentada a transcrição literal das falas dos estudantes e dos professores. Nas três últimas colunas surgem as indicações das codificações realizadas a partir das ferramentas de análises utilizadas.

3.2.1 Propósitos epistêmicos para promoção da argumentação (FERRAZ, 2015)

Em sua dissertação, Ferraz (2015) propõe uma ferramenta analítica das ações e práticas realizadas pelos professores, relacionando a argumentação dos estudantes em uma aula investigativa com a epistemologia do trabalho científico. Com esta ferramenta, podemos evidenciar de que forma os professores estão atuando para promover a argumentação dos estudantes em sala de aula. Ferraz (2015) elabora cinco categorias, denominadas Propósitos Epistêmicos para Promoção da Argumentação.

Quadro 5 – Propósitos Epistêmicos para Promoção da Argumentação (FERRAZ, 2017)

Propósito epistêmico	Descrição	Ações Típicas
Retomar	Levantamento de dados, informações e situações que já foram trabalhados em outros momentos.	Retoma informações Retoma dados Retoma conceitos
Problematizar	Proposições que tornam o objeto em estudo passível de ser investigado pelos alunos.	Propõe um problema Problematiza uma situação
Explorar	Busca a construção de melhor entendimento sobre diferentes hipóteses e explicações emitidas pelos alunos.	Explora ponto de vista Explora condições de investigação
Qualificar	Ocorre quando o professor classifica e/ou avalia informações trazidas à discussão pelos alunos, como dados, variáveis, explicações, etc.	Qualifica variáveis ou fenômenos Qualifica explicações Qualifica pontos de vista Qualifica contexto de investigação
Sintetizar	Organização de informações e explicações trazidas pelos alunos com o intuito de sistematizar ideias e continuar ou encerrar o curso da investigação.	Sintetiza informações Sintetiza explicações

3.2.2 Tipos de perguntas feitas pelo professor em uma aula investigativa (MACHADO, 2012)

Machado (2012) analisou a relação entre as perguntas realizadas pelo professor e os *indicadores de alfabetização científica*[3] evidenciados nas falas dos estudantes em aulas de caráter investigativo. Utilizamos essa categoria em nossa análise para verificar, no desenrolar das aulas, quais os tipos de perguntas que o professor utiliza para estimular os estudantes nas atividades propostas.

O autor sistematiza quatro tipos de perguntas realizadas pelo professor que devem estar presentes em aulas investigativas: *pergunta de problematização; pergunta sobre dados; pergunta explanatória sobre o processo* e *pergunta de sistematização.*

[3] Indicadores criados por Sasseron (2008) para representar as habilidades discursivas e ações dos alunos na resolução de problemas baseados na argumentação.

Quadro 6 – Tipos de perguntas feitas pelo professor em uma aula investigativa, encontradas por Machado (2012).

Tipo de pergunta	Descrição
Pergunta de problematização	Remete-se ao problema estudado ou subjacente a ele dentro da proposta investigativa. Refazem, reformulam de outra maneira, voltam à proposta do problema. Ajuda os alunos a planejar e buscar soluções para um problema e exploram os conhecimentos dos alunos antes de eles o resolverem. Levantam as demandas do problema para que os alunos iniciem a organização das informações necessárias para resolvê-las.
Pergunta sobre dados	Aborda os dados envolvidos no problema, seja evidenciando-os, apresentando-os ou selecionando-os de forma a descartar ou não variáveis. Direciona o olhar do aluno para as variáveis envolvidas relacionando-as, procurando um grau maior de precisão, comparando ideias, propondo inversões e mudanças.
Pergunta explanatória sobre processos	Busca que os alunos emitam suas conclusões sobre os fenômenos. Pode demandar hipóteses, justificativas, explicações, conclusões como forma de sintetizar seu pensamento na emissão de uma enunciação própria. Busca concretizar o aprendizado na situação proposta. Faz com que o aluno reveja o processo pelo qual ele resolveu o problema, elucide seus passos.
Pergunta de sistematização	Busca que os alunos apliquem o conceito compreendido em outros contextos, prevejam explicações em situações diferentes da apresentada pelo problema. Leva o aluno a raciocinar sobre o assunto e a construir o modelo para explicar o fenômeno estudado.

3.2.3 Indicadores de Engajamento Disciplinar Produtivo (SOUZA, 2015)

Souza (2015), em sua pesquisa de Mestrado, analisou o engajamento de estudantes em aulas de Física e, para tanto, desenvolveu os “Indicadores de EDP” como ferramenta de análise. Esta expressa níveis de engajamento (engajamento, engajamento disciplinar e engajamento disciplinar produtivo) e modos de identificá-los.

Ressaltamos que, conforme aponta Souza (2015), a classificação dos episódios de EDP é processual, não sendo possível caracterizá-los em um único

turno, mas sim a partir de um episódio, que pode apresentar vários turnos e, consequentemente, vários indicadores de EDP.

Quadro 7 – Indicadores de EDP (Souza, 2015)

Engajamento
E1 – Discussão sobre o tema.
E2 – Há trabalho colaborativo.
E3 – Presença de características emocionais.
Engajamento Disciplinar
ED1 – Discussão sobre ideias e hipóteses para a construção de um plano de trabalho.
ED2 – Há trabalho colaborativo para concretização de ações, proposições e/ou análise de ideias.
ED3 – Presença de características emocionais relacionadas às ações para a resolução do problema.
Engajamento Disciplinar Produtivo
EDP1 – Discussão sobre sofisticação de ideias e construção de relações explicativas.
EDP2 – Há trabalho colaborativo na construção da explicação e reconhecimento de limites nas suas aplicações.
EDP3 – Presença de evidências do uso de ideias em todos os contextos, ressaltando a apropriação do conhecimento.

A partir do uso dessa ferramenta para a análise dos dados, poderemos identificar, ao longo de cada aula, os diferentes níveis de engajamento surgidos.

3.3 Procedimento para a análise

Após o uso das ferramentas de análise anteriormente apresentadas para a codificação dos dados, entendemos que a discussão dos resultados pode permitir o estabelecimento de relações entre as ações realizadas pelos professores e o

engajamento dos estudantes, com o intuito de responder nossa pergunta de pesquisa.

Tendo por base os conteúdos e objetivos da aula, optamos por organizar a apresentação e a discussão da análise em momentos. Entendemos que essa forma pode deixar mais evidente as ações realizadas pelos professores e a participação dos estudantes.

Como mencionado anteriormente, a aula do professor Vicente já foi analisada por Machado (2012) e Ferraz (2015). Machado (2012) que identificou seis momentos principais presentes na aula e os quais seguiremos para a análise desta aula. São eles:

1. Retomada da aula anterior sobre o experimento do IMZ e das figuras de interferência observadas;
2. Exploração do fenômeno de interferência da experiência tanto para a luz quanto para fótons individuais comparando as figuras formadas;
3. O problema da interferência para um único fóton no interferômetro;
4. As quatro interpretações da Mecânica Quântica para a natureza da luz;
5. Explicações por parte dos estudantes sobre as quatro linhas interpretativas para a interferência de um fóton;
6. Sistematização da explicação das quatro linhas interpretativas para a natureza da luz.

Apesar de haver momentos semelhantes entre as aulas dos professores, percebemos que os seis momentos identificados por Machado (2012), ao analisar a aula do professor Vicente, não aparecem na ordem cronológica na aula do professor Romero. Por essa razão, optamos por realizar recortes condizentes com a cronologia da aula. Os momentos identificados para a aula do professor Romero foram:

1. Exploração do caráter dual da luz;

2. O efeito fotoelétrico e o problema da interferência para um único fóton no interferômetro;

3. As quatro interpretações da Mecânica Quântica;

4. Nova retomada do IMZ;

5. Explicação por parte dos estudantes sobre as quatro interpretações da Mecânica Quântica;

6. Sistematização das quatro interpretações através dos SENTIDOS DAS COISAS.

Após a organização em momentos e a análise individuais das aulas de cada professor, realizaremos uma análise comparativa entre as duas aulas, no que concerne às ações efetuadas pelos professores e o surgimento de Engajamento Disciplinar Produtivo (EDP) por parte dos estudantes, com o intuito de estudar como se relacionam ações realizadas pelos professores e engajamento dos alunos em uma aula investigativa de tema da Física.

4 ANÁLISE DOS DADOS

Para iniciar a apresentação da análise e facilitar a visualização dos resultados, criamos uma tabela comparativa com informações construídas a partir da análise das duas aulas. Nessa tabela, podemos ver informações sobre as interações discursivas ocorridas nas duas aulas, em especial, a participação do professor e de estudantes em cada uma das turmas.

Tabela 1 – Comparativo dos dados analisados

Professores	Romero	Vicente
Número de estudantes	7	22
Tempo total de aula (s)	4.323	2.695
Total de turnos	356	307
Turnos do professor	163	135
Turnos dos estudantes	183	172
Tempo de fala do professor (s)	2.551	1.775
Tempo de fala dos estudantes (s)	562	639
Tempo de fala do professor (%)	81,9	73,5
Tempo de fala dos estudantes (%)	18,1	26,5

O tempo total de aula e o total de turnos equivalem à duração integral da aula, contando com trechos em que a atividade é a exibição de um vídeo, por exemplo, ou com interrupções na discussão. Já para a contagem dos turnos dos professores, turnos dos estudantes e o tempo de fala (professor e estudante) consideramos apenas os momentos em que ocorriam debates sobre o tema da aula.

Constatamos inicialmente a diferença entre o total de turnos de fala de cada aula. A aula do professor Romero possui um total de 356 turnos de fala enquanto a aula do professor Vicente possui um total de 307 turnos de fala. Isso se deve ao fato da aula do professor Romero possuir um número maior de turnos e de tempo do que a aula do professor Vicente, sendo compreensível que o total de turnos do professor Romero e de seus estudantes seja maior que o total de turnos da aula do professor Vicente.

Outra diferença observada é o tempo de fala dos professores e estudantes. O tempo total da aula da turma do professor Vicente foi de 2.695 segundos (aproximadamente 50 minutos) dos quais o professor utilizou 1.775 segundos (aproximadamente meia hora) para sua fala, e os estudantes 639 segundos (10 minutos e meio), sobrando 281 segundos (4 minutos e meio) do tempo de aula dedicados a outros momentos, tais como momentos de execução de atividades em sala, pausa do professor e atividades extraclasse, etc.

Já a aula da turma do professor Romero teve um tempo total de 4.323 segundos (1 hora e 20 minutos). Dentro desse período, ele utilizou 2.551 segundos (42 minutos e trinta segundos) para sua fala e os alunos participaram com 562 segundos (aproximadamente 11 minutos). O tempo utilizado para exibição de vídeos foi de 540 segundos (9 minutos) e o tempo restante utilizado para os estudantes realizarem as atividades foi de 580 segundos, ficando o restante do tempo destinado a outros momentos, tais como momentos de execução de atividades em sala, pausa do professor e interrupções externas.

Se adotarmos apenas o tempo de discurso ocorrido em sala de aula, o professor Romero administra esse discurso utilizando 81,9% do tempo e seus estudantes falam em apenas 18,1% da aula. Por sua vez, o professor Vicente dispõe de 73,5% do tempo de fala e os estudantes, 26,5% do tempo. Essas informações evidenciam que o professor Romero possui um tempo de fala maior que o do professor Vicente, o que implica a maior participação dos estudantes em sua aula.

Ainda nessa análise inicial, podemos inferir que, por se tratar de uma mesma aula dentro de uma SEI, supomos que em ambas as aulas surgiram momentos similares, como retomada da aula anterior (experimento), problematização do experimento (caráter dual da luz), discussão acerca das quatro interpretações da mecânica quântica, sistematização por parte dos estudantes, conforme os objetivos e conteúdos propostos por Barrelo Jr (2010).

Quadro 8 – Os seis momentos evidenciados nas duas aulas

Momentos	Prof. Vicente		Prof. Romero	
	Início no Turno	Final no Turno	Início no Turno	Final no Turno
1	1	31	1	110
2	32	68	111	134
3	69	98	135	179
4	99	173	180	228
5	174	217	229	332
6	218	292	333	356

4.1 Análise da aula 10 ministrada pelo professor Vicente

Abaixo, apresentamos a análise da aula do professor Vicente por meio dos momentos identificados e descritos como:

1. Retomada da aula anterior sobre o experimento do IMZ e das figuras de interferência observadas;
2. Exploração do fenômeno de interferência da experiência tanto para a luz quanto para fótons individuais comparando as figuras formadas;
3. O problema da interferência para um único fóton no interferômetro;
4. As quatro interpretações da Mecânica Quântica para a natureza da luz;
5. Explicações por parte dos estudantes sobre as quatro linhas interpretativas para a interferência de um fóton;
6. Sistematização da explicação das quatro linhas interpretativas para a natureza da luz.

4.1.1 Momento 1 da aula 10: retomada da aula anterior sobre o experimento do IMZ e das figuras de interferências observadas

O momento 1 consiste na revisão de noções básicas de óptica vistas nas aulas anteriores (raio luminoso, modelo corpuscular, modelo ondulatório) e discussão do Interferômetro de Mach-Zehnder (IMZ). Esse momento tem início no turno 1 e vai até o turno 31. Nesse intervalo, o professor debate com os estudantes conceitos ópticos das aulas anteriores e o IMZ real e virtual (figuras 1a e 1b).

Figura 1 – a) Representação do IMZ e b) Imagem do software de simulação

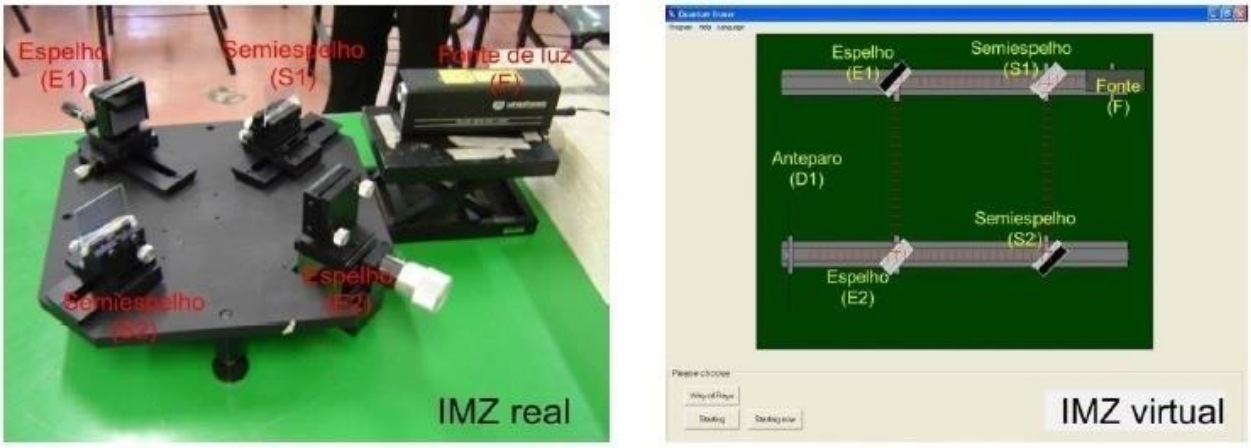
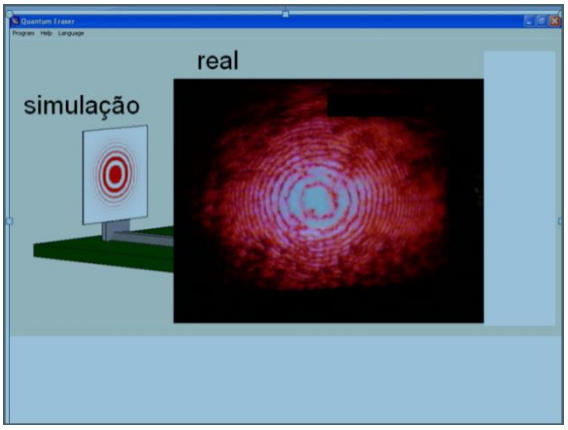


Figura 2 – Figura de interferência formada no IMZ (real e virtual)



Logo após, o professor distribui atividades que serão realizadas em sala de aula e faz um breve resumo dos caminhos que a aula seguirá.

Quadro 9 – Trecho de falas da aula do professor Vicente

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
0:01 - 0:02	1	Lucas: Professor.			E1 ED1 ED2
0:04 - 3:30	2	Professor: Mais alguém não me entregou ainda a atividade da última aula? Bom pessoal, presta atenção. Vocês tão recebendo uma folhinha e a gente vai agora tentar sintetizar as discussões que a fez ao longo do ano e tentar interpretar um pouquinho o que ta acontecendo de fato, ta? Pra isso a gente vai continuar explorando o nosso interferômetro, certo? Pra isso nós vamos combinar o seguinte, nós vamos tentar fazer dessa forma, vocês viram que eu tirei aí do campinho, não é avaliação, ta certo? Não é prova, nem nada, é apenas um questionário que a gente vai tentar então sintetizar as ideias. A gente vai tentar fazer da seguinte maneira, a gente vai	Pergunta sobre dados	Retomar	

		começar a discutir e a medida que a discussão for avançando, eu vou dando um tempinho pra que vocês respondam, preencham o quadro, ta? E aí no finalzinho da aula as três últimas questões, ta legal? Se não tiver dando certo isso, a gente faz toda a discussão e depois a gente completa a atividade. Não é pra copiar o que ta... O que vai aparecer no quadro, porque se não, não faz sentido. A gente vai conversar sobre e depois eu tiro da tela e a gente conversa, ta? Bom, na aula passada, nessa aula de hoje a gente começou a discutir um pouquinho o que a gente viu no interferômetro real e o que a gente viu na simulação. A gente vai explorar um pouquinho mais esse nosso interferômetro. Aí eu separei um pouquinho algumas imagens do nosso interferômetro [faz referência a apresentação PowerPoint ®]. Então, já ta identificado. Então, os semiespelhos [aponta para a imagem do IMZ, fig. 1], que na verdade são vidros, né? A gente pode imaginar o semiespelho como sendo quando a gente olha pela janela ao entardecer ou então quando a gente olha pela manhã a gente, às vezes a gente enxerga nosso reflexo no espelho, mas também a gente enxerga o que ta lá do outro lado, ta? Tudo bem? Então, os dois semiespelhos e os dois espelhos. Foi esse o arranjo que a gente tem. Agora tem aí a imagem do que a gente... Ta bom, se fechar tudo fica muito escuro e a gente não consegue ver. Bom, aí eu separei então duas imagens, uma do interferômetro real e a outra do simulador [aponta para a imagem projetada, ver fig. 2], certo? Foi isso que a gente observou, certo? Foi isso que você viu, Bia?	Pergunta sobre dados	Retomar	
3:31 - 3:32	3	Beatriz: Não.			
3:34 - 3:37	4	Professor: Alguém enxergou uma figura parecida com essa do real?	Pergunta sobre dados	Retomar	
3:39 - 3:40	5	Priscila: Não.			
3:40 - 3:41	6	Professor: Ninguém?		Retomar	
3:41 - 3:42	7	Alunos: Não.			
3:42 - 3:48	8	Professor: Nem naquela outra experiência que a gente usou só um laser e um tecido como rede de difração?	Pergunta sobre dados	Retomar	
3:48 - 3:49	9	Aline: Sim. Eu.			E1 ED1 ED2
3:49 - 3:52	10	Professor: Que a gente projetou lá na parede ou no quadro?		Retomar	
3:56 - 3:59	11	André: Era assim, desse jeito. [mostra a mão indicando forma de círculos de diferentes tamanhos com os dedos, indicador e polegar direito]			
4:00 - 4:08	12	Professor: Era assim que tava? Ah, tirei. Não, é que eu ia apresentar pra vocês tinha uma outra imagem. Fala, André.	Pergunta sobre dados	Retomar	
4:09 - 4:12	13	André: Era tipo... Um monte. Um monte não, não sei...			
4:12 - 4:14	14	Professor: Uma do lado da outra, não é isso?	Pergunta sobre dados	Qualificar	
4:14 - 4:15	15	André: É.			

Com base no trecho acima, notamos que o professor inicia a aula retomando conceitos discutidos em aulas anteriores. Ele parece fazer isso com o intuito de

garantir que os estudantes relembrem conceitos importantes que serão aprofundados e servirão de base para discussões futuras. Podemos classificar as perguntas por ele feitas como, primordialmente, *perguntas sobre dados*.

No turno 8, o professor retoma informações e conceitos da experiência da aula passada: “Nem naquela outra experiência que a gente usou só um laser e um tecido como rede de difração?”. Logo após (T10)[4] o professor continua a retomada de informações e o estudante André (T11, T13, T15) confirma a semelhança da figura.

Quanto aos indicadores de EDP identificados, entendemos que o trecho acima nos mostra indicadores do tipo ED1 e ED2 devido à participação dos estudantes, demonstrando empenho na tarefa a ser realizada e respondendo às perguntas feitas pelo professor sobre o experimento do IMZ e das figuras de interferência observadas.

Quadro 10 – Trecho de falas da aula do professor Vicente

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
4:15 - 5:38	16	Professor: É que eu tirei a foto daqui agora, ta no outro computador. A outra possibilidade, tinha uma outra foto, ao invés da gente enxergar dessa forma, a gente enxergava mais ou menos isso aqui [aponta para uma imagem semelhante ao resultado obtido pela simulação, fig. 2], como disse o André. Também a gente tinha essa observação... Bom, aí lá na nossa experiência, pedi pra que vocês identificassem. Era essa identificação que a gente tinha. E foi pedido pra vocês desenharem aí como é que era o caminho que tava sendo percorrido pela luz [dentro do IMZ]. E aí a simulação mostrava pra vocês como duas frentes de onda, certo? Aí a pergunta feita, não tá no textinho, não tá no roteiro, a gente colocou um anteparo aqui [aponta para um ponto entre o espelho E1 e o semiespelho S2, ver fig. 1], certo? Se a gente colocasse o anteparo aqui, deste outro lado [aponta para um ponto entre o espelho E2 e o semiespelho S2, ver fig. 1], o que a gente deveria ver? Qual a relação com essas duas figuras?	Pergunta sobre dados	Sintetizar Retomar Problematizar	E1 ED1 ED2
5:38 - 5:39	17	Bruna: Complementar			
5:39 - 5:40	18	Professor: Como assim?		Explorar	
5:41 - 5:56	19	Bruna: Por exemplo, seria assim, numa o centro seria claro e teria as listras e na outra é ao contrário, o centro preto e as listras ao contrário.			
5:57 - 6:01	20	Professor: Como que é, Vitor? Fala alto pra classe ouvir.		Explorar	

[4]Esta notação é utilizada para nos referirmos ao turno de fala. Neste caso, T10 representa o décimo turno de fala desta aula.

6:01 - 6:15	21	Vitor: Se a gente colocasse o anteparo aqui [aponta para um ponto entre o espelho E2 e o semiespelho S2, ver fig. 1] e não aqui [aponta para um ponto entre o espelho E1 e o semiespelho S2, ver fig. 1], seria o inverso do que a gente viu.			E1 ED1 ED2
6:15 - 6:19	22	Alunos: Como assim? [inaudível]			
6:19 - 6:26	23	Vitor: Seria o inverso do que a gente viu.			
6:30 - 7:25	24	Professor: Todo mundo acha que é isso? Todo mundo acha que é a mesma coisa? E alguém sabe explicar por quê? Então olha, vamos imaginar... O que vocês tão me dizendo é isso, num anteparo a gente observa alguma coisa parecida com isso [mostra uma imagem semelhante a interferência da fig. 2], certo? No outro, a gente vai enxergar o contrário, não é isso? Elas seriam complementares porque se a gente juntasse as figuras, veria o quê?	Pergunta sobre dados	Explorar Sintetizar	
7:28 - 7:29	25	Pedro: Um círculo			
7:32 - 7:50	26	Professor: É isso. Ao invés de ver várias figuras, veria um círculo. Aí, agora a pergunta... Ronaldo! Alguém consegue me explicar porque isso? [inaudível] Mas por quê? Dá pra explicar por quê	Pergunta de problematização	Sintetizar Qualificar Problematizar	
7:51 - 7:54	27	Pedro: [inaudível] Eu consigo explicar o que é, mas porquê eu não sei.			
7:55 - 7:57	28	Professor: Não, nós não chegamos neste ponto ainda.		Qualificar	
7:58 - 8:13	29	Lucas: [quase inaudível, tentando explicar o que está acontecendo] É igual aquela experiência que a gente batia o dedo na água e fazia umas ondas, elas se aumentavam, aumentava não, elas ficavam juntas [entrelaça os dedos das mãos] só que eu esqueci o nome do fenômeno.			
8:13 - 8:15	30	Professor: Interferência de ondas?		Qualificar	
8:16 - 8:18	31	Lucas: É, acho que é. Só que faz mile e anos, tá ligado.			

Continuando a discussão, notamos que o professor (T16) segue propondo *perguntas sobre dados* e identificamos, de acordo com Ferraz (2015), os propósitos epistêmicos *sintetizar, retomar* e *problematizar.*

A partir do *levantamento de hipótese* da estudante Bruna (T19), observamos que o professor passa a *explorar* as ideias dos estudantes sobre o fenômeno e o estudante Vitor participa da discussão (T21): “Se a gente colocasse o anteparo aqui [aponta para um ponto entre o espelho E2 e o semiespelho S2, ver fig. 1] e não aqui [aponta para um ponto entre o espelho E1 e o semiespelho S2, ver fig. 1], seria o inverso do que a gente viu”.

Nos turnos 21 e 23 o estudante Vitor, e nos turnos 25 e 27 o estudante Pedro participam da discussão a respeito da formação da imagem. Identificamos na fala do estudante Lucas (T29, T31) a afirmação da interferência de ondas.

Com relação aos indicadores de EDP identificados, o trecho acima nos revela indicadores do tipo ED1 e ED2 conforme a participação dos estudantes, ao discutirem as figuras formadas e perceberem que está ocorrendo interferências de ondas.

4.1.2 Momento 2 da aula 10: exploração do fenômeno de interferência da experiência tanto para a luz quanto para fótons individuais comparando as figuras formadas

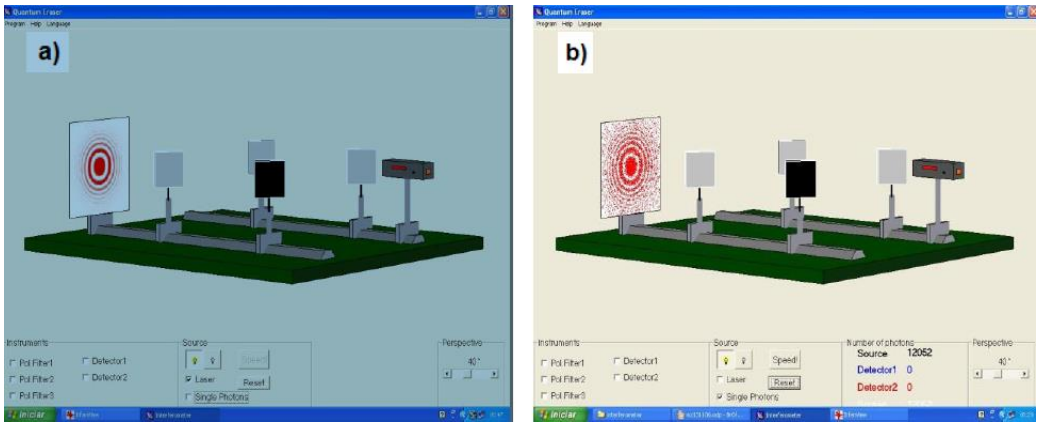
No segundo momento da aula, após a retomada de conceitos de aulas anteriores e da experiência com o IMZ real e virtual, o professor explora com os estudantes os padrões de interferência, buscando interpretações sobre as diferentes imagens formadas no anteparo do IMZ.

Esse momento inicia-se no turno 32 e vai até o turno 68. O professor inicia sua fala (T32) abordando os padrões de interferência a partir das imagens formadas no interferômetro para explorar outras situações.

Ao realizar a retomada dos conceitos discutidos, o professor *qualifica*, *explora* e *sintetiza* as respostas prévias dadas pelos estudantes, com a finalidade de explorar com eles a experiência realizada, considerando o fenômeno de interferência tanto para a luz quanto para fótons individuais, na comparação das figuras formadas. Nesse momento, percebemos o intuito do professor em firmar o conhecimento debatido, preparando os estudantes para os conceitos futuros que serão abordados no decorrer da aula.

Entre os turnos 38 e 53 o professor prossegue sua fala com *perguntas sobre dados*, *sintetizando* e *retomando* os conceitos discutidos com o intuito de continuar explorando as ideias dos estudantes sobre os padrões de interferência.

Figura 3 – Imagens utilizadas pelo professor para discutir resultados obtidos pelo IMZ o resultado obtido para a luz: a) enquanto ondas e b) como partícula



Quadro 11 – Trecho de falas da aula do professor Vicente

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
8:20 - 9:00	32	Professor: Pessoal, a gente tá dizendo aqui oh... A gente tá observando nesse ponto [aponta para o a imagem obtida no resultado experimento detector D1 de uma ilustração semelhante a da fig. 2] a interferência das ondas, certo? E a gente enxerga aqueles pontos coloridos [refere-se aos setores coloridos das imagens] quando a interferência é construtiva. O que significa isso? As duas frentes de onda que estão se encontrando, estão na mesma fase, então elas se somam e você vê o ponto claro. Quando elas estão em fases opostas, a gente vê o que? A interferência é destrutiva, elas se anulam, não é isso? O que acontece desse ponto pra esse é uma inversão dessas fases, tá?	Pergunta sobre dados	Retomar Sintetizar Qualificar	
9:00 - 9:04	33	Bruna: O que você tá falando é a explicação do preto, é isso?			
9:04 - 9:05	34	Professor: Ahn?			
9:05 - 9:12	35	Bruna: Tem inversão de fase, porque a parte que reflete no semiespelho tá...			ED1 ED2
9:13 - 9:14	36	Professor: Tá numa fase...		Qualificar	
9:14 - 9:16	37	Bruna: Numa fase diferente da que parte que passou direto.			
9:16 - 9:56	38	Professor: Isso. E aí o que vai tá acontecendo? Vamos supor que a fase 1 tá vindo pra cá e a 2 pra cá, certo? Nesse caso aqui, eu vou pegar a 1 deste, né? E vai interferir com a outra que tá aqui, não é isso? Então o que tá acontecendo é que ela tá pegando os lados simétricos, tudo bem? Bom, aí a gente mudou pra fóton. Como vocês bem responderam na última aula, o que acontece com o padrão da figura? O resultado.	Pergunta sobre dados	Sintetizar Retomar	
9:56 - 9:58	39	Lucas: Igual, mas pontinhos.			
9:59 - 10:36	40	Professor: É o mesmo, não é? O que ta acontecendo só é que a gente aqui vai... Quando a gente manda com o laser forma imagem instantaneamente, não é isso? Todo o fóton... Ele vai se distribuindo, né? E dependendo da quantidade que a gente tem aí a gente vai acabar		Retomar Explorar	

		observando a linha, certo? Até aqui nenhuma novidade, né? Tudo bem aí, Guilherme? Explica essas duas figuras aí pra mim, por favor [aponta para as imagens da fig 3]. Fala aí, Daniel.			ED1 ED2
10:38 - 10:40	41	Daniel: O canto de lá é...			
10:41 - 10:43	42	Professor: O canto de lá você diz a direita de quem tá olhando?		Qualificar	
10:44 - 10:48	43	Daniel: Isso... Não, a esquerda de quem tá olhando.			
10:49 - 10:58	44	Alunos: Inaudível			
10:58 - 11:00	45	Professor: Vamos chamar esse de 1 e esse de 2.			
11:00 - 11:05	46	Daniel: Tá. O 2 é de fóton e o de cá onda.			
11:05 - 11:07	47	Professor: O que eles têm de semelhante?	Pergunta sobre dados	Explorar	
11:07 - 11:11	48	Daniel: O... A interferência. A imagem.			
11:13 - 11:18	49	Professor: A imagem? Tá, e o que vai ter de diferente?	Pergunta sobre dados	Explorar	
11:18 - 11:20	50	Daniel: É como se forma.			
11:22 - 11:23	51	Professor: É o quê?		Explorar	
11:23 - 11:27	52	Lucas: Gradativamente, professor, conforme os fótons vão chegando.			
11:28 - 11:37	53	Professor: Dessa maneira [aponta para a imagem da fig. 3 – a], a formação, ela é instantânea, né? E nessa aqui, [aponta apara imagem da fig. 3 – b] ele vai se formando conforme vai acontecendo a chegada das partículas.		Qualificar Sintetizar	

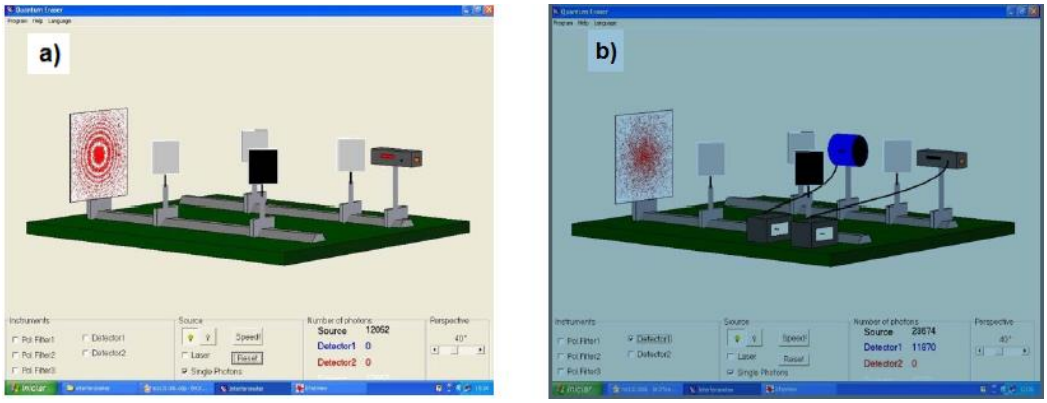
Podemos evidenciar os episódios de ED1 e ED2 à medida que os estudantes vão participando da discussão sobre hipóteses para identificar as interferências formadas, como no turno 29 do momento 1, em que o estudante Lucas tenta explicar o que está acontecendo, e a estudante Bruna (T33, T35, T37) fornece uma explicação e auxilia na análise da ideia, pois os elementos contribuem para a construção do conhecimento. Nesses turnos, os indicadores que são identificados são ED1 e ED2.

Somente no turno 53 que o professor, após *explorar* (T 47, 49 e T51) a explicação dos estudantes, *qualifica* as respostas e *sintetiza* os padrões de interferência.

No turno 54, o estudante Daniel levanta uma hipótese sobre a natureza dos fótons no laser e o professor, além de *qualificar*, *explora* essa questão conduzindo o tema para as propriedades ondulatórias e corpusculares da luz.

Logo em seguida, no turno 55, o professor solicita à estudante Beatriz que compare os dois padrões de figuras observados no experimento. Após a resposta da estudante (T56), o professor *explora* a ideia de Beatriz (T59) fazendo com que ela acabe justificando sua resposta e fornecendo uma explicação sobre a figura envolvida, conforme explicitado no turno 60: “porque na primeira tem interferência”.

Figura 4 – Imagens utilizadas pelo professor para discutir resultados obtidos pelo IMZ



Nas figuras acima, o professor discute resultados obtidos pelo IMZ considerando duas variáveis: a) padrão de interferência formado com o aparato experimental em sua configuração original e b) um anteparo impede a passagem da luz por um dos caminhos (ausência do padrão de interferência).

Quadro 12 – Trecho de falas da aula do professor Vicente

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
11:39 - 11:43	54	Daniel: No laser os fótons estão todos juntinhos?			ED1 ED2 EDP1
11:44 - 12:00	55	Professor: Não, laser a gente tem que pensar na luz sendo onda. Na verdade, ora como onda, ora como partícula. Bom, e aqui? Beatriz compare essas duas figuras. [aponta para as imagens da fig. 4]		Qualificar Explorar	
12:02 - 12:10	56	Beatriz: Na primeira, são circunferências concêntricas e na segunda são conjuntos de pontinhos...			
12:11 - 12:13	57	Professor: E? Por quê?		Explorar	
12:13 - 12:14	58	Beatriz: Por que...			
12:14 - 12:18	59	Professor: Qual a relação? Por que forma essa figura aqui e não aqui? [aponta para as imagens da fig. 4]	Pergunta exploratória sobre o processo	Explorar	
12:19 - 12:21	60	Beatriz: Porque na primeira tem interferência.			

Identificamos que, além da estudante fornecer uma resposta, sua afirmação com hipótese previamente discutida mostra que houve construção de relações explicativas, assumindo que Beatriz apropriou-se do conhecimento discutido acerca dos fenômenos ondulatórios e corpusculares da luz no interferômetro. Por isso, identificamos nesse trecho que ocorre o indicador de EDP1 (discussão sobre sofisticação de ideias e construção de relações explicativas).

Quadro 13 – Trecho de falas da aula do professor Vicente

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
12:21 - 12:22	61	Lucas: Professor.			ED2 EDP1
12:23 - 12:28	62	Alunos: [inaudível]			
12:28 - 12:29	63	Professor: Fala, Lucas.			
12:29 - 12:37	64	Lucas: Então, nos primeiros círculos as duas se encontram, os dois raios estão juntos.			
12:37 - 12:38	65	Professor: Pessoal.			
12:39 - 12:59	66	Lucas: Enquanto que na outra figura [fig 4 - b] como tem um detector ele impede a passagem de um dos caminhos de chegar no anteparo, então só tem um caminho que o fóton pode passar. Por isso, ele não forma a figura.			
13:02 - 13:25	67	Professor: Tá. Então, nesse caso [aponta fig. 4-b], não tem interferência, e aqui [aponta a fig. 4-a] a gente tem interferência, não é isso? Bom, agora o seguinte, o que a gente veio conversando ao longo do ano inteirinho é que a física pode explicar as coisas de duas maneiras, ou como onda ou como partícula.		Qualificar Sintetizar	
13:26 - 13:27	68	Beatriz: A luz.			

Após esse primeiro episódio de EDP1, presente no turno 61, o estudante Lucas, ao participar da discussão, fornece igualmente uma explicação (T64), mas é no turno 66 que ele justifica: “Enquanto que na outra figura [fig. 4 - b], como tem um detector, ele impede a passagem de um dos caminhos de chegar no anteparo, então só tem um caminho que o fóton pode passar. Por isso, ele não forma a figura.”.

Aqui, notamos que ele percebe que com a presença de um detector, o fóton comporta-se como corpúsculo, perdendo assim o padrão de interferência. Por conta desse episódio, podemos inferir que ocorreu o indicador de EDP1.

Logo após, o professor *qualifica* e *sintetiza* as afirmações dos estudantes e conduz o diálogo para o próximo momento da aula, evidenciando o problema da interferência para um único fóton no interferômetro.

Destacamos aqui que, durante todo o momento 2, o professor não fornece explicações acerca dos fenômenos observados e sim provê subsídios para que ocorra a argumentação dos estudantes, explorando seus pontos de vista.

4.1.3 Momento 3 da aula 10: o problema da interferência para um único fóton no interferômetro

O terceiro momento surge a partir do problema da interferência para um único fóton dentro do interferômetro, buscando entendimento acerca de seu caráter corpuscular ou ondulatório. O momento estende-se do turno 69 ao turno 98.

O professor conduz essa discussão através de perguntas de *problematização* e *explanatória sobre processo* com o propósito em sua maioria de explorar a argumentação dos estudantes, de forma a direcioná-los para o entendimento sobre a natureza da luz, se ela está se comportando como onda ou como partícula.

Quadro 14 – Trecho de falas da aula do professor Vicente

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
13:27 - 14:18	69	Professor: Não, as coisas, no geral. Pra luz, em particular, nós chegamos numa encruzilhada. Nós chegamos numa encruzilhada agora. A Bia, se eu não me engano na aula passada, no finalzinho da aula, colocou exatamente qual era o nosso problema. Como é que eu explico, se eu pensar que a luz é uma partícula e o fóton é uma partícula, como é que eu explico a interferência pra um único fóton? Então, é isso que a mecânica quântica vai tentar conversar com a gente.	Pergunta de problematização	Qualificar Problematizar	ED1
14:19 - 14:21	70	Vitor: Explicar como eles passam.			
14:21 - 15:11	71	Professor: Não, um único. Como é que um fóton interfere com ele mesmo. [inaudível, vários alunos falam ao mesmo tempo] Não, não, peraí. Pessoal, diferente do que eles tão dizendo aqui, não é quando a gente tem assim, ah, eu tenho a luz interagindo com outra coisa, aí você tá aumentando as variáveis. Nós estamos pensando assim, olha... Foi isso que a Bia discutiu aqui na ultima aula. Como é que eu explico interferência para um único fóton? Ele com ele mesmo. Na nossa figurinha lá, se eu lançar apenas um único fóton, entendeu? Diferente do que a gente tinha no real, que a gente manda um feixe, a gente tá mandando milhões ao mesmo tempo e aí eu posso continuar pensando em bolinhas colidindo uma com a outra, né? Agora não, eu tenho um único e nesse único eu continuo tendo interferência.	Pergunta de problematização	Problematizar Qualificar Retomar	
15:11 - 15:13	72	Beatriz: Ele se dividiu ao meio.			

15:15 - 15:19	73	Professor: Quando ele passa lá no semiespelho ele se divide em duas partes?	Pergunta exploratória sobre o processo	Explorar	ED1
15:19 - 15:20	74	Beatriz: É...			
15:21 - 15:26	75	Professor: Mas duas partes do que? De partícula? Duas partes de onda? Uma parte partícula outra parte onda?	Pergunta de problematização	Explorar	
15:25 - 15:29	76	Beatriz: Acho que as duas partes partícula.			
15:30 - 15:37	77	Professor: Mas aí se ele se dividir ao meio, eu deixo de ter um fóton e tenho dois. Dois meio fótons...		Explorar Sintetiza	
15:37 - 15:39	78	Beatriz: Aí depois eles se juntam.			
15:40 - 15:41	79	Professor: Junta aqui embaixo de novo?		Explorar	
15:41 - 15:42	80	Beatriz: É, os dois lados.			

No turno 69, o professor buscar problematizar levantando a questão: “Como é que eu explico, se eu pensar que a luz é uma partícula e o fóton é uma partícula, como é que eu explico a interferência pra um único fóton?”.

Ao perceber que a estudante Beatriz toma a dianteira das ações (a partir do turno 72) e diz que o fóton divide-se ao meio, o professor não fornece uma resposta direta, ou seja, ele busca a problematização *explorando* e *sintetizando* as hipóteses da estudante: “Mas duas partes do que? De partícula? Duas partes de onda? Uma parte partícula outra parte onda?”.

Quadro 15 – Trecho de falas da aula do professor Vicente

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
15:42 - 16:11	81	Professor: Mas como é que com eles juntos eu posso ter no anteparo dos dois lados? Aqui... Olha, a Bia ta dizendo o seguinte, aqui ele se divide, certo? Aí vem pra cá e vem pra cá. Quando chega aqui, se eles se juntam, como a Bia ta falando, eu teria que ter observação em um único anteparo, mas eu consigo medir nos dois ao mesmo tempo.	Pergunta de problematização	Sintetizar Explorar	
16:12 - 16:19	82	Bruna: Eu estava pensando que ali no meio eles se dividem de novo...			
16:23 - 16:24	83	Professor: Meninos, por favor!			
16:26 - 16:30	84	Bruna: Vai passar uma parte ali e a outra vai por ali, ó [aponta a figura].			ED2
16:33 - 16:35	85	Professor: Dois que vem pra cá e dois que vem pra cá?		Explorar	
16:35 - 16:37	86	Bruna: Não sei, mas foi o que pensei.			
16:38 - 17:05	87	Professor: Pode ser isso, gente? Bom, aqui ele se divide em dois, metade vem pra cá e a outra metade vem pra	Pergunta exploratória	Problematizar Explorar	

		cá. Quando chega aqui... Ou tenho quatro ou tenho dois de novo, né? Porque eu posso pegar assim, metade desse que vem pra cá com a metade desse que forma um. Aí metade vem pra cá... Eu posso ter quatro partes, mas elas são agrupadas duas aqui, duas aqui? Pode ser isso?	sobre o processo		ED2
17:05 - 17:07	88	Pedro: Inaudível.			
17:08 - 17:12	89	Professor: Continua tendo colisão. Então pode ser o que, Pedro?		Explorar	
17:12 - 17:13	90	Pedro: Não sei.			
17:14 - 17:17	91	Professor: Eu não to dizendo que não pode, eu só to perguntando.			
17:18 - 17:20	92	Pedro: Vai um pra cada lado.			
17:22 - 17:23	93	Professor: E aí?		Explorar	
17:23 - 17:24	94	Beatriz: [Inaudível]			
17:24 - 17:25	95	Pedro: Um espermatozóide.			
17:26 - 17:28	96	Beatriz: Não é uma célula.			
17:31 - 17:40	97	Professor: E aí? Como é que fica a situação? Bom, olhando pro nosso quadrinho... Oi.		Explorar	
17:40 - 17:49	98	Beatriz: Tinha... [inaudível]			

Caracterizamos episódios de ED1 nos momentos que os estudantes discutem ideias e hipóteses para a resolução do problema; já o aparecimento do ED2 ocorre quando os estudantes Pedro e Bruna participam da discussão, levantando e testando hipóteses e fazendo previsão, corroborando as ideias da colega Beatriz, havendo trabalho colaborativo para a análise de ideias.

Notamos aqui dois fatores importantes. O primeiro é que os estudantes Bruna e Pedro contribuem para a discussão mesmo sem a solicitação do professor. Outro fator que vale destacar é o fato de que o professor Vicente, além de não fornecer respostas diretas para o problema do interferômetro, certifica-se de que os estudantes compreenderam que realmente existe um problema que precisa de respostas.

4.1.4 Momento 4 da aula 10: as quatro interpretações da Mecânica Quântica para a natureza da luz

O momento 4 da aula caracteriza-se pela apresentação das quatro principais interpretações da Mecânica Quântica para a natureza da luz, propostas por Pessoa Jr (2013), após o professor problematizar o IMZ e discutir os fenômenos corpusculares e ondulatórios da natureza da luz.

O quarto momento da aula do professor Vicente vai do turno 99 ao turno 173. Esse episódio é caracterizado pela exploração da visão dos estudantes acerca das quatro interpretações. Tal fato demonstra que o professor não fornece explicações de como são as quatro interpretações para a natureza da luz e sim constrói essa ideia juntamente com os estudantes.

O episódio possui um total de 10 perguntas, sendo 8 *explanatórias sobre o processo* e 2 *sobre dados*. Esse episódio apresenta-se mais longo do que os anteriores (total de 75).

Quadro 16 – Trecho de falas da aula do professor Vicente

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
17:49 - 18:23	99	Professor: Tinha também. Vamos pensar o seguinte, olhando aí pro quadrinho de vocês [faz referência a folha da atividade de sistematização que os alunos tem em mãos], tá? Existem várias interpretações pra essa situação, tá? A mecânica quântica apresenta quatro em particular. Elas são as quatro mais discutidas. Quatro possíveis pensamentos pra gente tentar entender a natureza da luz.		Qualificar Problematizar	EDP1 EDP2
18:23 - 18:24	100	Beatriz: Existem outras?			
18:25 - 18:34	101	Professor: Existem, mas assim, as quatro principais são essas aqui. Não é pra copiar.		Qualificar	
18:35 - 18:36	102	Bruna: Ta.			
18:36 - 18:38	103	Professor: Tá, né? Porque eu pedi.			
18:38 - 18:39	104	Bruna: Eu já parei.			
18:39 - 18:54	105	Professor: Já tava com a caneta pronta... Vamos pensar antes da gente olhar lá o que tá escrito. A gente tem uma interpretação que recebe o nome de ondulatória. Segundo essa interpretação a luz é?	Pergunta exploratória sobre o processo	Problematizar	
18:54 - 18:55	106	Alunos: Onda.			
18:56 - 18:59	107	Professor: A gente tem uma interpretação que é a corpuscular.		Problematizar	

19:00 - 19:03	108	Lucas: Partícula. São os fótons!			
19:04 - 19:14	109	Professor: São fótons. Fóton é uma partícula de luz! Existe uma interpretação... Vou pular pra ultima... Dualista.	Pergunta exploratória sobre o processo	Sintetizar Problematizar	
19:15 - 19:17	110	Bruna: Ora como onda e como partícula.			
19:18 - 19:19	111	Beatriz: Onda e Partícula.			
19:19 - 19:21	112	Lucas: É onda e partícula?			
19:22 - 19:28	113	Professor: Que ela pode ser as duas coisas ao mesmo tempo. É uma partícula que é associada com uma onda ou uma onda com uma partícula...		Sintetizar	
19:26 - 19:28	114	Alunos: Inaudível.			EDP1 EDP2
19:28 - 19:32	115	Pedro: Você falou que não tem como, que não pode ser onda e partícula ao mesmo tempo.			
19:33 - 19:36	116	Professor: Então, aí cai nessa situação que o Pedro ta falando, né?		Explorar	
19:38 - 19:40	117	Beatriz: Ela é uma coisa e outra.			
19:40 - 19:44	118	Professor: É... Pra mecânica clássica isso não é possível.		Qualificar	
19:45 - 19:46	119	Beatriz: Mas e em Quântica...			
19:46 - 19:47	120	Pedro: Acho que é.			
19:47 - 19:56	121	Professor: Mas em física moderna a gente vai ter que arrumar uma nova explicação. E essa nova explicação, então, pode ser que ela seja as duas coisas ao mesmo tempo?	Pergunta de problematização	Problematizar	
19:57 - 19:58	122	Beatriz: Acho que sim.			

Neste trecho, o professor inicia o quarto momento (T99 e T101) discutindo com os estudantes que, para os fenômenos debatidos anteriormente, existem quatro interpretações em particular para explicar a natureza da luz.

Notamos nos turnos 105 e 107 que o professor enuncia as duas primeiras interpretações (ondulatória e corpuscular) *problematizando* e permite que os estudantes respondam em que consistem esses conceitos. Em seguida, no turno 109, o professor apresenta a interpretação dualista.

Nesse momento, a estudante Bruna (T110) identifica, sem mesmo o professor ter perguntado, que a luz se apresenta (segundo essa interpretação): “Ora como onda e como partícula”. Beatriz (T111) também faz a mesma afirmação, no entanto, Lucas (T112) participa da discussão, indagando se a luz: “É onda e partícula?”. Nesse turno, o estudante levanta a hipótese de que a luz poderia ter as duas características ao mesmo tempo, o professor então *sintetiza* essa interpretação

(T113). Pedro, seguindo a linha de raciocínio de Lucas, afirma que o professor já tinha mencionado (possivelmente em aulas anteriores) que a luz não poderia ter as duas características ao mesmo tempo. Beatriz completa a afirmação do professor, dizendo que se trata de Física Quântica.

Encontramos evidências de episódios de EDP1 quando os estudantes participam na construção de relações explicativas e evidências de episódios de EDP2 na discussão sobre a interpretação dualista. Nessa interpretação, há tanto trabalho colaborativo para construir essa explicação, quanto o reconhecimento de que somente a Física Clássica não consegue prever o comportamento da luz para explicar os fenômenos observados.

Vimos, até este momento, que o professor investiga as interpretações juntamente com os estudantes, permitindo que ocorra discussão e construção sobre o tema abordado.

Após essa discussão, o professor *explora* a interpretação da complementaridade.

Quadro 17 – Trecho de falas da aula do professor Vicente

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
20:01 - 20:03	123	Professor: E complementaridade?	Pergunta exploratória sobre o processo	Explorar	EDP1 EDP2
20:04 - 20:06	124	Pedro: As duas se complementam.			
20:07 - 20:09	125	Bruna: Uma completa a outra.			
20:09 - 20:10	126	Professor: Então, segundo a Beatriz...			
20:11 - 20:13	127	Pedro: São partículas de onda.			
20:13 - 20:14	128	Bruna: Pedro, para!			
20:16 - 20:23	129	Professor: Não, mas essa ideia que o Pedro ta falando tem mais a ver com a dualista, né? Num é?		Explorar	
20:23 - 20:24	130	Pedro: É...			
20:25 - 20:29	131	Lucas: Professor, e se eu disser que a luz é partícula...			
20:29 - 20:33	132	Professor: Silêncio, eu não estou ouvindo o Lucas que tá quase do meu lado. Fala Lucas.			
20:34 - 20:42	133	Lucas: E se eu falar que a luz é partícula com fatores ondulatórios ou é onda com fator de partícula?			

20:43 - 20:46	134	Professor: Aí nesse caso, você acha que vai ta dentro de qual dessas interpretações?	Pergunta exploratória sobre o processo	Problematizar	EDP1 EDP2
20:46 - 20:54	135	Lucas: Então, mas assim, no meu raciocínio ela segue um caminho, mas só que o que complementa ela é o outro.			
20:57 - 21:01	136	Professor: Dá pra encaixar, não dá? Dentro de uma dessas interpretações. Fala aí, Karina.	Pergunta exploratória sobre o processo	Problematizar	
21:01 - 21:02	137	Karina: Não sei.			
21:02 - 21:03	138	Vitor: Posso tentar?			
21:03 - 21:04	139	Professor: Pode.			
21:05 - 21:18	140	Vitor: Tipo, microscopicamente é uma partícula, macroscopicamente ela é uma onda.			
21:20 - 21:33	141	Professor: Ta. Segundo o Vitor, se a gente olhar lá no microscópio... Microscópio não, se olhar no mundo dos micro, né? Se for pensar nela lá, enquanto natureza mesmo, na sua formação ela é?	Pergunta exploratória sobre o processo	Sintetizar Problematizar	
21:33 - 21:34	142	Vitor: Partícula.			
21:34 - 21:46	143	Professor: Partícula. Mas se a gente observar de fora, no macroscópico, é isso? Aí ela é onda. Pode ser isso?	Pergunta exploratória sobre o processo	Qualificar Explorar	
21:47 - 21:49	144	Alunos: [inaudível]			

Assim que o professor aborda a interpretação da complementaridade, os estudantes Pedro (T123) e Bruna (T125) levantam a hipótese de que a luz pode apresentar duas características (onda e partícula) e elas se completam. Podemos perceber que ao longo de todo o debate, o professor não fornece em que consiste a interpretação, possibilitando que os estudantes construam explicações.

O estudante Pedro (T127) diz: “São partículas de onda” e mesmo com a colega Bruna (T128) reprimindo a ideia, o professor *explora* o ponto de vista, dizendo que essa hipótese levantada tem mais relação com a interpretação dualista. Seguindo essa linha de raciocínio apresentado por Pedro, o estudante Lucas fornece uma explicação (T135): “Então, mas assim, no meu raciocínio, ela segue um caminho, mas só que o que complementa ela é o outro”. O estudante Vitor também participa da discussão levantando a hipótese sobre a presença de caráter corpuscular e ondulatório.

Nesse trecho, também encontramos evidências de indicadores de EDP1 e EDP2 à medida que os estudantes vão se envolvendo no debate e buscando

relações explicativas acerca do entendimento da interpretação da complementaridade.

Quadro 18 – Trecho de falas da aula do professor Vicente

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
21:50 - 21:52	145	Professor: Pra você isso é complementaridade?	Pergunta exploratória sobre o processo	Explorar	EDP1 EDP2 EDP3
21:52 - 21:53	146	Beatriz: É			
21:53 - 21:54	147	Vitor: Sim.			
21:55 - 21:57	148	Bruna: Pra mim não é.			
21:57 - 21:58	149	Professor: Pra você é o que isso?	Pergunta exploratória sobre o processo	Explorar	
22:00 - 0:06	150	Bruna: Porque aí ela tá sendo duas coisas ao mesmo tempo. Complementaridade é quando ela tá sendo ora uma coisa ora outra.			
22:06 - 22:07	151	Vitor: Então...			
22:08 - 22:29	152	Bruna: Não. Porque o que eu to falando... No micro... Olha, no mesmo momento quando você analisa no micro ela é partícula e no macro ela é onda. Você tá pensando no mesmo momento, então na mesma coisa ela tá sendo duas coisas ao mesmo tempo. Mas pra ser complementar no momento “x” ela tá sendo uma coisa e no momento “y” ela tá sendo outra, entendeu?			
22:28 - 22:29	153	Vitor: Depende da perspectiva...			
22:30 - 22:33	154	Alunos: Inaudível.			
22:33 - 22:40	155	Professor: Vamos falar um por vez, gente. Ta boa a discussão, mas vamos falar um por vez.			
22:40 - 22:49	156	Alunos: [Inaudível]			
22:49 - 22:52	157	Lucas: Então, mas não pode ser só a energia que tá passando de uma partícula pra outra?			
22:53 - 22:56	158	Professor: Não, a onda... Mas não é energia, é perturbação. A onda carrega energia.		Qualificar	
22:57 - 22:59	159	Lucas: A onda carrega energia?			
23:01 - 23:13	160	Aline: Eu não sei... Eu acho que é que nem ela falou. Uma hora ela se comporta de uma forma, como onda e outra hora como partícula.			
23:14 - 23:17	161	Professor: Mas aí se ela se comporta ora de um jeito, ora de outro ela é o que?	Pergunta exploratória sobre o processo	Explorar	
23:18 - 23:19	162	Aline: Complementaridade...			
23:19 - 23:32	163	Professor: Não, ela é o que? Olha, pra primeira vocês falaram assim é uma onda. Pra segunda vocês falaram assim é uma partícula. Pra última vocês tão falando que é as duas coisas ao mesmo tempo. E na complementaridade ela é o que?	Pergunta exploratória sobre o processo	Sintetizar Explorar	

23:33 - 23:34	164	Aline: Não sei...			

No turno 148, a estudante Bruna confronta as ideias apresentadas e no turno 150 diz: “Porque aí ela tá sendo duas coisas ao mesmo tempo. Complementaridade é quando ela tá sendo ora uma coisa, ora outra”.

Essa fala é importante, pois Bruna percebe que se a luz possui caráter corpuscular e ondulatório ao mesmo tempo, a interpretação da complementaridade não é aplicada nesse caso. A estudante percebe que a interpretação dualista é a que melhor explica esse evento, ao oferecer uma justificativa e explicação.

No turno 152, a mesma estudante apresenta um raciocínio lógico*:* Não. Porque o que eu to falando... No micro... Olha, no mesmo momento quando você analisa no micro ela é partícula e no macro ela é onda. Você tá pensando no mesmo momento, então na mesma coisa ela tá sendo duas coisas ao mesmo tempo. Mas pra ser complementar no momento “x” ela tá sendo uma coisa e no momento “y” ela tá sendo outra, entendeu?.

No recorte da aula selecionado acima (T145 ao T164), evidenciamos a presença dos indicadores EDP1, EDP2, pois Bruna, apropriando-se do conhecimento sobre a interpretação dualista, identifica que se a luz se comporta **ora** como onda, **ora** como partícula, essa interpretação é da complementaridade.

A estudante Aline também participa da discussão e segue com essa linha de raciocínio (T160); ao invés do professor fornecer a resposta, ele explora o ponto de vista da estudante, fazendo com que ela chegue à conclusão da interpretação da complementaridade.

Abaixo temos o último trecho do momento.

Quadro 19 – Trecho de falas da aula do professor Vicente

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
23:35 - 24:07	165	Lucas: Ah... Depois de tantos experimentos pra ver se é onda, onda mesmo ou se é partícula, partícula mesmo... Mas o que aconteceu, acabou ocorrendo fatores que defendiam 100% que é onda enquanto que outro defendia 100% que era partícula. Então, aí eu pensei, através disso, a onda pensando num só ele recebe complemento de ambas as partes. Ela não pode ser definida só como onda, nem só como partícula.			ED3 EDP1
24:10 - 24:12	166	Professor: Então a gente não tem definição pra esse caso?	Pergunta exploratória sobre o processo	Explorar	

24:12 - 24:13	167	Rafaela: Não.			
24:13 - 24:16	168	Professor: Não sei. Tô falando pelo Lucas.			
24:16 - 24:18	169	Rafaela: Vamos passar pra próxima.			
24:19 - 24:21	170	Professor: Vamos deixar em branco por enquanto?			
24:21 - 24:22	171	Rafaela: Vamos.			
24:23 - 24:24	172	Lucas: Não.			
24:24 - 24:25	173	Bruna: Não.			

No turno 165, o estudante Lucas apresenta uma fala longa e fornece a justificativa de que as experiências realizadas durante as aulas, ora evidenciavam o caráter ondulatório da luz, ora evidenciavam o caráter corpuscular da luz. E continua: “Então, aí eu pensei, através disso, a onda pensando num só ele recebe complemento de ambas as partes. Ela não pode ser definida só como onda, nem só como partícula”.

O professor *explora* a ideia apresentada pelo estudante, perguntando se teria definição para esse caso. Rafaela responde que não (T167) e sugere seguir com a atividade (T169). O professor pergunta se deve deixar essa parte da atividade em branco, então os estudantes Lucas (T172) e Bruna (173) respondem que não.

As respostas dos estudantes Lucas e Bruna demonstram a presença, tanto de características emocionais relacionadas às ações para a resolução do problema (ED3) quanto de construção de relações explicativas (EDP1), na medida em que os estudantes se empenham em buscar uma explicação acerca das interpretações.

4.1.5 Momento 5 da aula 10: explicações por parte dos estudantes sobre as quatro linhas interpretativas para a interferência de um fóton

O momento 5 da aula caracteriza-se pelo fato do professor buscar explicações por parte dos estudantes sobre as quatro linhas interpretativas para a interferência de um fóton. O momento encontra-se recortado entre os turnos 174 e 217.

Quadro 20 – Trecho de falas da aula do professor Vicente

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
24:25 - 24:28	174	Lucas: [Inaudível]			ED1 ED2 EDP1
24:28 - 24:57	175	Professor: Vamos pra linha de baixo. Pra cada uma dessas interpretações, como é que a gente, como é que a gente explica a experiência do interferômetro? Supondo que a gente... Vamos explicar o interferômetro ideal, já que nem todo mundo conseguiu ver no real. Como é que a gente explica a figura? Essa figura 1 que ta ali [aponta para o resultado obtido por meio do IMZ virtual, conforme a fig. 2]. Se é uma onda, como é que a gente pode explicar a interferência?	Pergunta exploratória sobre o processo	Problematizar	
24:27 - 24:59	176	Bruna: Inaudível.			
24:59 - 25:00	177	Professor: Fala alto.			
25:01 - 25:04	178	Bruna: Inaudível.			
25:04 - 25:05	179	Professor: Não entendi.			
25:06 - 25:09	180	Beatriz: Aquele negócio de ondas destrutivas e construtivas.			
25:10 - 25:12	181	Professor: Ah, aquele negócio de ondas construtivas e destrutivas, foi isso que você falou?		Explorar	
25:12 - 25:13	182	Bruna: É.			
25:13 - 25:32	183	Professor: Ainda bem que tem um amplificador. Tá, é assim que todo mundo acha? Eu consigo explicar a interferência como sendo duas ondas... Fase igual constrói, fases diferentes elas se anulam, é isso? Alguém tem outra ideia pra explicar isso?	Pergunta exploratória sobre o processo	Explorar Sintetizar	
25:33 - 25:38	184	Alunos: Inaudível.			
25:39 - 26:35	185	Bruna: É... Pra ter interferência tem que ter duas ondas. Quando elas tão na mesma fase, você vai ter a interferência construtiva que vai aumentar. Agora quando tá tendo... De um lado você tá tendo a voltinha assim e do outro ao contrário vai ser destrutiva, então vai diminuir. Se forem iguais os valores vai acabar com a onda. Isso se forem ondas, agora se for complementar aí eu não sei explicar.			

26:37 - 26:53	186	Professor: E como partícula? Como é que a gente explica isso? Alguém que não falou ainda... Felipe, Priscila, Talita, John... Como é que eu explico essa interferência se for partícula?	Pergunta exploratória sobre o processo	Problematizar	
26:55 - 26:57	187	Felipe: Parte é onda e parte é partícula...			
26:58 - 27:00	188	Alunos: Mas como se só tem fótons... [Inaudível]			
27:01 - 27:03	189	Professor: Calma, deixa o rapaz pensar.			
27:10 - 27:11	190	Beatriz: A da complementaridade...			
27:17 - 28:19	191	Professor: Você tá pulando a pergunta Beatriz. Se a gente juntasse a ideia que o Felipe tá lançando com o que a Bia tinha dito a pouco, a ideia da divisão, será que daria pra explicar? E vamos falar baixo pra não acordar a Zineck. E aí? Dá pra explicar como... Será que dá? Eu pego a partícula, quando ela passa ali [aponta para o semiespelho S1, conforme ilustrado na figura 1], ela se divide, depois na hora que elas se encontram elas vão colidir, se juntam um pouco, tal... O que a gente tava discutindo antes, aí junta o que o Felipe Tava conversando. Pode ser um caminho? Pessoas? Fala aí, Carlos! Sem comentários?	Pergunta exploratória sobre o processo	Problematizar Sinterizar	
28:20 - 28:21	192	Carlos: Isso aí.			
28:22 - 28:26	193	Professor: Fala aí Bia, o que você queria explicar então da... Como é que você explica o interferômetro?		Explorar	
28:27 - 28:33	194	Alunos: Inaudível.			
28:34 - 28:35	195	Professor: Fala, Bia.			
28:35 - 28:51	196	Beatriz: Ele tá falando aqui... [Inaudível]			
28:52 - 28:54	197	Professor: Não, mas como é que você explica interferência?		Explorar	ED1 ED2 EDP1
28:54 - 28:55	198	Beatriz: Ah...			
28:55 - 28:57	199	Professor: Pensando na complementaridade.	Pergunta exploratória sobre o processo	Explorar Qualificar	
28:58 - 29:04	200	Beatriz: Não sei... [Inaudível]			
29:05 - 29:06	201	Professor: Falem mais. [inaudível]			
29:16 - 29:17	202	Alunos: Estamos tentando...			

Notamos que nesse momento específico, o professor inicia sua fala buscando explorar as ideias dos estudantes sobre as quatro interpretações da Mecânica Quântica associando com o conceito dos padrões de interferência discutido ao longo da aula.

No turno 185, a estudante Bruna oferece a explicação do comportamento da luz como onda e o professor, ao perceber que a estudante está se apropriando

desse conhecimento, continua a investigação com *perguntas explanatórias sobre processo*: “E como partícula? Como é que a gente explica isso?”. Isso garante que os estudantes percebam inconsistências em suas explicações e emitam suas conclusões, como o caso do estudante Felipe, que levanta a hipótese de que a luz pode se comportar como onda e partícula.

Aqui ocorre um fato curioso. A estudante Beatriz procura discutir sobre a interpretação da Complementaridade, no entanto o professor percebe que a discussão passada não havia terminado, razão pela qual ele interrompe Beatriz (turno 191) para garantir a continuidade da problematização acerca do caráter dualista da luz.

Encerrada tal problematização, o professor busca que os estudantes ofereçam outras interpretações da Mecânica Quântica acerca da experiência do IMZ. Nesse momento caracterizamos episódio de EDP1, pois há construção de relações explicativas evidenciados nas falas dos estudantes.

Quadro 21 – Trecho de falas da aula do professor Vicente

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
29:18 - 27:28	203	Professor: E aí? Tá bom vamos pro último então. Dualista-realista. Vocês disseram que... Nossa!			ED1 ED2
29:29 - 29:36	204	Alunos: [Inaudível]			
29:37 - 30:09	205	Professor: É... Dualista-realista vocês falaram que a luz era as duas coisas ao mesmo tempo. A interferência acaba sendo o que? Como é que eu explico a interferência na dualista? E aí, pessoal? Pra última interpretação vocês disseram que a luz era as duas coisas ao mesmo tempo, onda e partícula.	Pergunta exploratória sobre o processo	Sintetizar Problematizar Explorar	
30:09 - 30:10	206	Bruna: [Inaudível]			
30:10 - 30:12	207	Professor: Nós pulamos a complementaridade.			
30:12 - 30:14	208	Bruna: [Inaudível]			
30:14 - 30:20	209	Professor: Falou. A gente juntou a ideia do Felipe com o que a Bia tinha dito antes da ideia de dividir o fóton no meio e tal...		Sintetizar	
30:22 - 30:24	210	Bruna: Fóton se dividindo.			
30:25 - 30:26	211	Professor: Com o que?			
30:26 - 30:28	212	Bruna: Fóton se dividindo.			
30:28 - 30:46	213	Professor: Isso. E depois a colisão deles foi o que o Felipe tinha dito àquela hora. E aí? Se ela é as duas coisas ao mesmo tempo na quarta interpretação como é que eu explico a interferência? Ela vai se comportar como	Pergunta exploratória sobre o processo	Qualificar Sintetizar Problematizar	

		o que?		
30:47 - 30:48	214	Vitor: Os dois.		
30:49 - 30:52	215	Professor: Mas a gente não falou que interferência só acontece quando tem onda?	Pergunta de problematização	Problematizar Explorar
30:52 - 30:54	216	Bruna: [Inaudível]		
30:55 - 32:29	217	Professor: Não, antes, quando a gente teve aquele problema da interferência. Que não dava pra explicar como sendo partícula simplesmente. Aqui só falou que é uma partícula diferente, não é a mesma partícula, não dá pra pensar a partícula como a gente pensava antes da bolinha, com a massa, se for pensar nessa partícula tem algo que não tá certo. Tem que ser uma outra partícula diferente. Mas agora neste caso aqui ele tá dizendo que ela é onda e partícula ao mesmo tempo. Fica em branco ainda? Vamos... Agora não anotem, por favor. Eu vou apresentar pra vocês essas quatro interpretações. E aí tá dizendo o seguinte... Se a gente interpretar a luz como sendo onda, a gente vai explicar a interferência, que essa onda se divide em dois meio fótons no primeiro semiespelho, ta certo? E eles vão se recombinar lá no segundo como se fosse uma onda, né? Produzindo a interferência que a gente observa lá, certo? Essa interpretação que a Bia e o Felipe estavam colocando agora pouco é a interpretação pra onda. Se a gente ta pensando como...		Qualificar Sintetizar

Ao final deste momento, podemos inferir que o professor, através de *perguntas explanatórias sobre processo,* busca que os estudantes emitam explicações para a experiência do interferômetro.

Quanto ao propósito epistêmico, além de *explorar* a visão dos estudantes, ele busca *sintetizar* as argumentações para garantir que os estudantes compreendam a problematização da interferência e o que as diferentes interpretações oferecem para explicar o fenômeno.

No que concerne aos indicadores de EDP, encontramos episódios de ED1, na medida em que os estudantes discutem ideias e levantam hipóteses para a construção de um plano de trabalho, e episódios de ED2, pois há trabalho colaborativo para concretização de ações, proposições e/ou análise de ideias.

Os episódios de ED1 e ED2 ficam evidentes na explicação dos estudantes, que está baseada na interpretação Ondulatória: Ao final do momento, o professor garante a problematização discutida com os estudantes quando argumenta: “Mas a gente não falou que interferência só acontece quando tem onda?”. Após garantir que os estudantes acompanharam, ele *sintetiza* e busca sistematizar a explicação.

4.1.6 Momento 6 da aula 10: sistematização da explicação das quatro linhas interpretativas para a natureza da luz

O último momento desta aula é marcado pela sistematização da explicação das quatro linhas interpretativas para a natureza da luz, tendo início no turno 218 e encerrando no turno 292, somando um total de 74 turnos.

Quadro 22 – Trecho de falas da aula do professor Vicente

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
32:29 - 32:32	218	Beatriz: Foi o que eu falei, o fóton é onda.			ED1 ED2
32:32 - 32:00	219	Professor: O fóton como sendo uma onda, certo? O fóton é uma onda e aí você tem o quê? Você divide ao meio no primeiro semiespelho, quando ele chega no segundo semiespelho ele se junta novamente e aí a gente tem a interferência. Agora, na segunda interpretação o fóton é uma partícula e aí ela não se divide nunca, ta certo?	Pergunta de problematização	Problematizar	
32:55 - 32:58	220	Beatriz: Por que uma partícula não se divide?			
32:58 - 33:11	221	Professor: Não. É a menor porção que a gente pode ter. E aí neste caso, qual o único fóton... Ah... Como é que eu vou explicar a interferência?	Pergunta exploratória sobre o processo	Problematizar	
33:12 - 33:14	222	Lucas: Um único fóton é uma única partícula...			
33:14 - 33:15	223	Professor: Ahn?			
33:15 - 33:16	224	Lucas: Pra um só fóton...			
33:17 - 33:18	225	Professor: Pra um único fóton.		Explorar	
33:18 - 33:22	226	Lucas: Pra um fóton é só um caminho, mas pra vários você pode ter mais de um.			
33:23 - 33:24	227	Professor: Não entendi.			
33:25 - 33:29	228	Lucas: Então, mas tem a possibilidade de ter mais de um caminho, porque tem mais de um...			
33:29 - 33:31	229	Professor: Então, um único fóton segue...		Explorar	
33:31 - 33:32	230	Lucas: Um caminho...			
33:32 - 33:37	231	Professor: Um caminho. Pra um único fóton o que acontece? Como é que eu enxergo? Como é que eu consigo ver a interferência?	Pergunta exploratória sobre o processo	Explorar Problematizar	
33:38 - 33:40	232	Lucas: Não vê, só segue um caminho.			
33:40 - 33:41	233	Alunos: [inaudível]			
33:41 - 33:51	234	Professor: Ele vai seguir um único caminho, ele vai tá lá e o que a gente vai tá observando, a gente vai ter mais um. Aí ele pode ser refletido ou transmitido passando por lá, tá? Mas a gente não vai ter...		Sintetizar	

Após garantir a síntese dos estudantes acerca da interpretação Ondulatória, o professor inicia o momento com uma nova problematização a partir da interpretação Corpuscular: “Agora, na segunda interpretação o fóton é uma partícula e aí ela não se divide nunca, tá certo?” (turno 218). Tal problematização faz com que os estudantes percebam que ao abordar um fóton como partícula, ele não se dividirá e a teoria Ondulatória não poderá ser aplicada nesse caso.

O estudante Lucas levanta a hipótese de que, se tiver mais de um fóton, pode haver mais de um caminho. Novamente o professor intervém na discussão (T238), contornando a situação, ou seja, limitando a experiência para apenas um fóton, conforme quadro abaixo.

Quadro 23 – Trecho de falas da aula do professor Vicente

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
33:51 - 33:52	235	Lucas: Professor.			ED2
33:52 - 33:53	236	Professor: Oi.			
33:54 - 33:57	237	Lucas: Colocando aí mais de um fóton como partícula.			
33:58 - 35:09	238	Professor: Então, mais aí pra mais de um a gente pode explicar como onda ou como partícula. Tem vários ali, aí eu posso pegar o raciocínio que eles fizeram lá das colisões, tá? Dualista realista, o fóton ele tem duas partes. É como se a gente tivesse, pensando lá na analogia que você tava fazendo agora pouco com a Biologia, vamos pensar num espermatozóide. Então você tem lá uma particulazinha e um rabinho lá que é a onda que tá associada, tá? Na interpretação dualista realista, a gente tem, então, a partícula é um surfista que tá viajando numa onda. Então tem uma partícula que tá caminhando numa onda, certo? Então neste caso a gente tem, né? A luz, ela é duas coisas ao mesmo tempo, que era a previsão de vocês dois, certo? E aí como é que eu vou explicar a interferência? A onda pode se separar lá no semiespelho, e aí a gente vai ter... Ela vai recombinar depois lá na frente. Eu consigo explicar com a parte onda, né? Do fóton...		Sintetizar	
35:10 - 35:12	239	Bruna: O fóton segue como onda.			
30:55 - 32:30	240	Professor: Não, antes, quando a gente teve aquele problema da interferência. Que não dava pra explicar como sendo partícula simplesmente. Aqui só falou que é uma partícula diferente, não é a mesma partícula, não dá pra pensar a partícula como a gente pensava antes da bolinha, com a massa, se for pensar nessa partícula tem algo que não tá certo. Tem que ser uma outra partícula diferente. Mas agora neste caso aqui ele tá dizendo que ela é onda e partícula ao mesmo tempo. Fica em branco ainda? Vamos... Agora não anotem, por favor. Eu vou apresentar pra vocês essas quatro interpretações. E aí tá dizendo o seguinte... Se a gente interpretar a luz como sendo onda, a gente vai explicar a interferência, que essa onda se divide em dois meio fótons no primeiro semiespelho, ta certo? E eles vão se recombinar lá no		Sintetizar	

		segundo como se fosse uma onda, né? Produzindo a interferência que a gente observa lá, certo? Essa interpretação que a Bia e o Felipe estavam colocando agora pouco é a interpretação pra onda. Se a gente ta pensando como...			
35:26 - 35:27	241	Carlos: Não ouvi, professor.			
35:27 - 35:32	242	Professor: Pra variar, né? Nas últimas cinco aulas isso tem acontecido.			
35:32 - 35:33	243	Carlos: [Inaudível]			
35:33 - 35:50	244	Professor: Quer que eu lembre? Minha memória tá bem. No LIEA você ficou conversando no cantinho lá. Na aula passada eu chamei sua atenção e da Karina que vocês tavam conversando, você tava fazendo um desenho, até entregou pra Bia, tá certo? Essa é a terceira aula, quer mais duas pra trás? Eu lembro.			
35:50 - 35:52	245	Carlos: Não, tá bom só.			ED2
35:53 - 35:55	246	Alunos: [Inaudível]			
35:56 - 38:12	247	Professor: Gente, interpretação da complementaridade, tá certo? Voltamos às discussões que estavam acontecendo agora pouco, tá? O fóton ora vai se manifestar como onda, ora como partícula, tá certo? Mais nunca ao mesmo tempo. Essa é a diferença que a gente encontra entre os dois. Na dualista realista o fóton é onda e partícula ao mesmo tempo. Eu tenho uma partícula com uma onda associada. Na interpretação da complementaridade, ora é de um jeito, ora de outro. E aí, vocês dois na hora que estavam comentando, né? Fizeram essa discussão. E aí o arranjo que a gente tem ali, a gente tem observação como? Como o que? Como onda e quando a gente põe o detector o que acontece? Ele ta interpretando como partícula, deixa de ter interferência. Na hora que a gente tava fazendo lá a simulação, quando a gente tá observando a interferência, qual é o comportamento que eu to eu to vendo ali da complementaridade? Como onda, certo? Agora, quando eu ponho o detector lá, o que acontece? Vai interagir o detector com o fóton que ta passando. Aquele fóton ali vai ter um comportamento de partícula e aí ele é absorvido ali e a gente não tem mais a interferência. Agora vocês têm que completar aí o quadro e tentar encaixar essas quatro afirmações pra cada uma dessas interpretações. Olha, “precisando de uma nova lógica”. Essa interpretação, essa frase, se adéqua a qual dessas interpretações? Ondulatória, corpuscular, complementaridade... “Quando o fóton se divide, quando o fóton decide se é onda ou partícula, só podemos falar na natureza da luz depois que a gente fizer a medição.” Essa afirmação é corpuscular, é dualista...		Sintetizar	

Após uma longa *síntese* das interpretações, o professor Vicente esclarece a atividade proposta:

> Agora vocês têm que completar aí o quadro e tentar encaixar essas quatro afirmações pra cada uma dessas interpretações. Olha, precisando de uma nova lógica. Essa interpretação, essa frase, se adéqua a qual dessas interpretações? Ondulatória, corpuscular, complementaridade... Quando o fóton se divide, quando o fóton decide se é onda ou partícula, só podemos falar na natureza da luz depois que a gente fizer a medição. Essa afirmação é corpuscular, é dualista... (T247).

Quadro 24 – Trecho de falas da aula do professor Vicente

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
38:12 - 38:13	248	Bruna: É complementaridade.			EDP1 EDP2
38:13 - 38:21	249	Professor: Ahn? Não, isso vocês só vão responder pra mim. No papel vocês vão colocar só essas questões que tão. Agora aqui...			
38:22 - 38:24	250	Beatriz: A segunda é complementaridade.			
38:26 - 38:29	251	Professor: Todo mundo concorda que a segunda é complementaridade?	Pergunta exploratória sobre o processo	Explorar	
38:29 - 38:30	252	Felipe: Sim.			
38:30 - 38:32	253	Professor: Eu só posso falar da natureza da luz depois que eu fizer a medição?	Pergunta exploratória sobre o processo	Explorar	
38:32 - 38:33	254	Beatriz: Essa é a terceira.			
38:34 - 38:37	255	Alunos: [Inaudível]			
38:37 - 38:40	256	Professor: “Nunca um meio fóton foi detectado.” Isso é a terceira?			
38:41 - 38:43	257	Vitor: Ele tá perguntando.			
38:45 - 38:57	258	Professor: Oh, nós temos quatro interpretações, cada uma dessas afirmações se refere a uma dessas interpretações. Eu quero que vocês associem essas frases a essas interpretações.		Problematizar	
38:57 - 38:59	259	Aline: A última é dualista.			
38:59 - 39:08	260	Felipe: Meio fóton é ondulatória. [Inaudível}			
39:10 - 39:12	261	Aline: A última é dualista.			
39:20 - 39:23	262	Professor: A que se referem cada uma delas, vamos lá?		Problematizar	
39:24 - 39:30	263	Lucas: A 1 é ondulatória. É uma diferente da outra, professor.			
39:30 - 39:32	264	Professor: Não, eu quero saber a que se refere, não to falando que é.		Problematizar	
39:33 - 39:34	265	Lucas: Ah sim.			
39:34 - 39:38	266	Professor: Eu to falando assim a quais interpretações essas afirmações se referem.		Qualificar	
39:38 - 39:39	267	Lucas: Entendi.			
39:46 - 39:50	268	Professor: Um, dois, três, quatro, certo? Então a gente tem interpretação...		Problematizar	
39:50 - 39:52	269	Alunos: Interpretação... dualista... [longa pausa]			
40:26 - 40:29	270	Professor: Quais dessas afirmações dizem respeito...		Problematizar	
40:32 - 40:35	271	Aline: A última é dualista realista.			
40:35 - 40:36	272	Professor: A quarta é dualista realista? É isso?		Explorar	
40:37 - 40:38	273	Aline: É.			
40:39 - 40:40	274	Alunos: É			

40:40 - 40:43	275	Professor: Mas tem mais alguém aqui que ta dizendo que a primeira também é.		Explorar	EDP1 EDP2
40:50 - 41:02	276	Bruna: [Inaudível]			
41:02 - 41:07	277	Professor: É... Qual delas fala sobre, né? Onda e partícula juntas?	Pergunta de sistematização	Sistematizar	
41:08 - 41:09	278	Aline: Dualista.			
41:10 - 41:15	279	Professor: É, que ele fala que tem então uma partícula surfando numa onda. Qual que fala sobre isso?	Pergunta de sistematização	Sistematizar	
41:16 - 41:28	280	Alunos: [Inaudível] A última.			
41:29 - 41:31	281	Professor: Como é que é? A dois?		Explorar	
41:32 - 41:34	282	Felipe: A dois é complementaridade.			
41:34 - 41:40	283	Alunos: A três é ondulatória e a um é dualidade.			

Através do longo trecho acima, notamos que o professor conduziu a discussão até aqui mediando as respostas dos estudantes, na medida em que explorava as ideias que iam surgindo ao longo da investigação. Ao final da discussão, o professor realiza perguntas de sistematização, problematizando e explorando a visão dos estudantes para realização das atividades. Tal processo garantiu que os estudantes se apropriassem do conhecimento acerca das diferentes interpretações da Mecânica Quântica para a natureza da luz, caracterizando episódios de EDP, sendo casos de EDP1 e EDP2.

Quadro 25 – Trecho de falas da aula do professor Vicente

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
41:41 - 42:56	284	Professor: É isso? É isso, povo? Vamos conferir? “Nunca um meio fóton foi detectado”, ta certo? Pensando na gente dividir a onda em duas partes, ta certo? Na teoria corpuscular a gente não consegue explicar então a gente precisa de uma lógica nova, não é isso? Pensando como sendo partícula, que ela é invisível esse tipo de coisa, então eu preciso de uma nova lógica pra explicar a partícula, pra explicar essa interferência, ta? Pra um único fóton a gente não conseguiu dar explicação. Onda vazia caminhando, né? Numa partícula... A partícula caminhando nessa onda é dualista realista. E esse aqui é complementar por quê? Porque eu só vou ter informação da natureza da luz depois de medir. Quando eu to vendo a luz eu não sei se ela é onda ou se ela é partícula. Se eu observo interferência eu to me referindo a quê?	Pergunta de sistematização	Problematizar Explorar Sistematizar	EDP1
42:56 - 42:57	285	Beatriz: Onda.			
42:57 - 43:00	286	Professor: A onda. Se eu observo efeito fotoelétrico?	Pergunta de sistematização	Sistematizar	
43:01 - 43:02	287	Beatriz: Partícula.			
43:02 - 43:05	288	Bruna: Mas como que ele explica o... [inaudível]			
43:06 - 43:17	289	Professor: Não explica. O que vai dizer pra essa interpretação é que eu não sei qual é a natureza, eu só consigo obter informação disso depois te der feito a medida.			
35:56 - 38:13	290	Professor: Gente, interpretação da complementaridade, tá certo? Voltamos às discussões que estavam acontecendo agora pouco, tá? O fóton ora vai se manifestar como onda, ora como partícula, tá certo? Mais nunca ao mesmo tempo. Essa é a diferença que a gente encontra entre os dois. Na dualista realista o fóton é onda e partícula ao mesmo tempo. Eu tenho uma partícula com uma onda associada. Na interpretação da complementaridade, ora é de um jeito, ora de outro. E aí, vocês dois na hora que estavam comentando, né? Fizeram essa discussão. E aí o arranjo que a gente tem ali, a gente tem observação como? Como o que? Como onda e quando a gente põe o detector o que acontece? Ele ta interpretando como partícula, deixa de ter interferência. Na hora que a gente tava fazendo lá a simulação, quando a gente tá observando a interferência, qual é o comportamento que eu to eu to vendo ali da complementaridade? Como onda, certo? Agora, quando eu ponho o detector lá, o que acontece? Vai interagir o detector com o fóton que ta passando. Aquele fóton ali vai ter um comportamento de partícula e aí ele é absorvido ali e a gente não tem mais a interferência. Agora vocês têm que completar aí o quadro e tentar encaixar essas quatro afirmações pra cada uma dessas interpretações. Olha, “precisando de uma nova lógica”. Essa interpretação, essa frase, se adéqua a qual dessas interpretações? Ondulatória, corpuscular, complementaridade... “Quando o fóton se divide, quando o fóton decide se é onda ou partícula, só podemos falar na natureza da luz depois que a gente fizer a medição.” Essa afirmação é corpuscular, é dualista...		Sintetizar	
38:12 - 38:14	291	Bruna: É complementaridade.			

38:13 - 38:22	292	Professor: Ahn? Não, isso vocês só vão responder pra mim. No papel vocês vão colocar só essas questões que tão. Agora aqui...			EDP1
38:22 - 38:25	293	Beatriz: A segunda é complementaridade.			
38:26 - 38:30	294	Professor: Todo mundo concorda que a segunda é complementaridade?	Pergunta exploratória sobre o processo	Explorar	
38:29 - 38:31	295	Felipe: Sim.			
43:52 - 43:53	296	Beatriz: Passa as notas.			
43:54 - 43:55	297	Karina: Vamos fazer juntos.			
43:55 - 43:57	298	Alunos: [Inaudível]			
43:56 - 43:58	299	Professor: Agora é a hora de vocês anotarem.			
43:58 - 44:00	300	Aluno: E as notas? [Inaudível]			
44:01 - 44:06	301	Professor: Vou falando as notas enquanto isso? Eu não tenho as notas do estudo do meio ainda.			
44:07 - 44:09	302	Alunos: [Inaudível]			
44:10 - 44:18	303	Professor: Tem recuperação amanhã, é o ultimo dia de recuperação amanhã, para aqueles que estão de recuperação ainda. A prova de recuperação é amanhã.			
44:19 - 44:23	304	Alunos: [Inaudível]			
44:24 - 44:30	305	Professor: Eu falo e o que vai acontecer... A condição pra eu falar é vocês entregarem essa folha aí e tirar PS, certo?			
44:31 - 44:32	306	Lucas: Ta bom.			
44:40 - 44:55	307	Professor: Dois, quatro, seis... Olha pessoal, a informação que eu consigo passar pra vocês é com nove de doze conceitos, ta? Faltam as atividades do estudo do meio ainda pra passar pra vocês.			

Como mencionamos anteriormente, o professor, ao final da aula realiza uma longa fala (turno 290) *sistematizando* os conceitos discutidos, garantindo que os estudantes compreendam o que foi discutido.

4.1.7 Breves comentários acerca da aula 10 ministrada pelo professor Vicente

Na aula do professor Vicente analisada, diversas questões foram importantes e as destacaremos a seguir.

Tratando-se do conjunto da aula, o professor Vicente apresentou uma proposta clara quanto ao objetivo que ele queria cumprir, ficando evidente no seu modo de condução da aula, à medida em que houve a construção de uma investigação com os estudantes.

Percebemos que os momentos da aula parecem ter garantido o aprofundamento do nível de engajamento dos estudantes, pois dentro de cada momento ocorreram pequenos ciclos de discussão, com começo, meio e fim, o que permitiu que o professor detalhasse os conceitos abordados na aula.

A aula inicia-se com a retomada da aula anterior sobre o experimento do IMZ e das figuras de interferência observadas. No início do momento, o propósito epistêmico mais recorrente é o *retomar*, associado com *pergunta de dados*, pois o professor visa garantir que os estudantes retomem os conceitos abordados na aula anterior. Em seguida, sem fornecer respostas diretas, o professor *explora* a visão dos estudantes, para então, ao final do momento (turno 26), realizar uma *pergunta de problematização*: “Alguém consegue me explicar por que isso?”.

Essa pergunta vem associada aos propósitos epistêmicos *sintetizar, qualificar* e *problematizar* e, com essas ações, o professor Vicente garante que os estudantes estão cientes do problema proposto e participando da discussão, explicitados nos episódios de ED1 e ED2, permitindo assim aprofundá-lo, como observado no segundo momento.

Em seguida, o professor Vicente inicia o segundo momento *retomando*, *sintetizando* e *qualificando* conceitos, conduzindo esse processo *explorando* as explicações dadas pelos estudantes acerca dos conceitos. Então ele realiza uma *pergunta explanatória sobre o processo* e, com isso, evidenciamos na aula que ocorre discussão sobre sofisticação de ideias e construção de relações explicativas (EDP1).

No início do momento 3, após construir um entendimento com os estudantes sobre a interferência da experiência com as figuras formadas, ele *problematiza* um novo levantamento (turno 69): “Como é que eu explico, se eu pensar que a luz é

uma partícula e o fóton é uma partícula, como é que eu explico a interferência pra um único fóton? Então, é isso que a mecânica quântica vai tentar conversar com a gente".

Com isso, por meio de *perguntas de problematização*, o professor busca construir com os estudantes um "novo conhecimento", ou seja, ele pretende demonstrar que há um problema da interferência para um único fóton e que precisa ser explicado. O nível de engajamento novamente cai, pois há um novo problema que precisa ser discutido com os estudantes, não sendo possível haver construções explicativas naquele momento.

Após reconhecerem o novo problema, os estudantes levantam diversas hipóteses sobre o fenômeno ao discutir sobre ideias de modo colaborativo, buscando concretizá-las, o que caracteriza episódios de ED1 e ED2.

Em seguida, no momento 4, o professor apresenta as 4 Interpretações da Mecânica Quântica. Tal apresentação constitui para os estudantes uma solução para o problema apresentado no momento 3, uma vez que eles identificam que há um problema para a explicação da experiência do IMZ e que a Mecânica Quântica apresenta algumas interpretações, ou seja, essas explicações começam a fazer sentido para os estudantes.

O tipo de pergunta mais recorrente nesse momento é a de *pergunta explanatória sobre processo*, e percebemos episódios de EDP1 na discussão dos estudantes sobre sofisticação de ideais e a construção por parte deles de relações explicativas e EDP2, quando há trabalho coletivo na construção da explicação, bem como o reconhecimento de limites nas suas aplicações.

No quinto momento, o professor busca explorar as ideias dos estudantes sobre as quatro interpretações da Mecânica Quântica, com o intuito de auxiliar na explicação acerca da experiência do interferômetro discutida ao longo da aula. É um momento em que o professor Vicente busca que os estudantes analisem as quatro interpretações da Mecânica Quântica para o comportamento da luz. Mesmo apresentando EDP1, os indicadores de engajamento mais encontrados foram o ED1 e ED2, pois os estudantes ainda estão buscando associar as quatro interpretações com os fenômenos discutidos anteriormente.

Após as explicações dos estudantes, o professor inicia o sexto momento explorando com os estudantes *pergunta explanatória sobre processo*, garantindo

que os estudantes correlacionem cada fenômeno observado com uma interpretação apresentada para a natureza da luz.

Neste mesmo momento, ao final da aula, observamos diversas *perguntas de sistematização*, feitas pelo professor, com o intuito de que os estudantes apliquem o conceito compreendido em outros contextos, prevejam explicações em situações diferentes da apresentada pelo problema, levando-os a raciocinarem sobre o assunto e a construírem o modelo para explicar o fenômeno estudado. Tais ações permitiram aos estudantes a apropriação do conhecimento acerca das diferentes interpretações da Mecânica Quântica sobre a natureza da luz, caracterizando episódios de EDP, sendo casos de EDP1 e EDP2.

4.2 Análise da aula 10 ministrada pelo professor Romero

Abaixo, apresentamos a análise da aula do professor Romero por meio dos momentos identificados e descritos como:

1. Exploração do caráter dual da luz;
2. O efeito fotoelétrico e o problema da interferência para um único fóton no interferômetro;
3. As quatro interpretações da Mecânica Quântica;
4. Nova retomada do IMZ;
5. Explicação por parte dos estudantes sobre as quatro interpretações da Mecânica Quântica;
6. Sistematização das quatro interpretações através dos SENTIDOS DAS COISAS.

4.2.1 Momento 1 da aula 10: a exploração do caráter dual da luz

O momento 1 dessa aula caracteriza-se entre os turnos 1 e 110, quando o professor e estudantes abordam alguns fenômenos ópticos e o professor problematiza o caráter dual da luz.

Quadro 26 – Trecho de falas da aula do professor Romero

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
0:00 - 3:12	1	Professor: [...] da Teoria Ondulatória da Luz. É, então, tinha uma teoria pra luz. Essa teoria dizia que a luz se comportava como uma onda e a partir da experiência do efeito fotoelétrico, da explicação do efeito fotoelétrico por Einstein, essa teoria sobre as ondas, da luz se comportando como onda, ela foi questionada. Poxa, mas se o efeito fotoelétrico é assim, é explicado assim, na teoria da luz como onda deve ter algum problema ou então a experiência tem problema. Como não se encontrou problema na experiência, a experiência até aquele momento estava correta, o problema deveria estar na teoria. Bom, e aí qual que é a diferença entre uma coisa que é onda e partícula? Porque existiram físicos e filósofos, uns defendiam que a luz era partícula e outros defendiam que a luz era onda. Então qual a diferença básica entre uma e a outra? A onda consegue transportar energia sem o transporte de matéria. (interrupção para o professor assinar uma documentação) A partícula transporta energia e transporta matéria. Quando você	Pergunta sobre dados	Retomar	ED1

		manda uma carta, o que é a carta em si? O papel é a matéria e se você considerar o transporte da matéria seria a carta, agora se você quer transportar a energia, a energia é a informação que está contida na carta. Tá? Você não consegue pegar na mão, segurar a informação. Então está escrito lá: Eu te amo, você foi embora de casa, não sei o quê, não sei o quê... né? Então essa informação o carteiro não consegue levar. O que ele consegue levar é a matéria. Outra coisa, a transferência, você consegue localizar razoavelmente bem as partículas. Então quando eu falo assim: a partícula está na rua tal, número tal, a onda não. A onda você não consegue localizar. Não consegue dizer com certeza aonde ela está. É... então alguns fenômenos podem ser explicados pelo modelo ondulatório e pelo modelo corpuscular. Tá? Outros fenômenos não podem ser explicados e aí tem essa tabela que eu já tinha mostrado.			
3:12 - 5:37	2	Professor: Então por exemplo, cinco fenômenos: o fenômeno da reflexão, da refração, interferência, difração e efeito fotoelétrico. O primeiro fenômeno da reflexão o modelo ondulatório explica e o corpuscular explica. Então se só existisse a reflexão, você poderia dizer que a onda é luz, desculpa, que a luz é uma onda ou que a luz é um corpúsculo, Tá? O fenômeno da refração, que é o segundo embaixo da reflexão, o modelo ondulatório explica e o corpuscular explica. Então se tivesse só o fenômeno da refração e da reflexão, você não saberia dizer se a luz é onda ou se a luz é partícula. Tanto faz uma ou outra pra explicar. Agora a interferência. O modelo ondulatório explica a interferência. O corpuscular não explica. Então como a gente conhece a interferência da luz, você já não consegue utilizar o modelo corpuscular. Nesse caso aqui, o que você tem que fazer, você tem que pegar e falar: bom, como as partículas não conseguem explicar, obviamente, eu quero acreditar que a onda, que a luz é uma onda. Outro fenômeno é o da difração. Então um modelo ondulatório explica a difração luminosa, da luz. O modelo corpuscular não explica. Se a gente considerasse só esses quatro fenômenos (reflexão, refração, interferência e difração) nós seríamos levados a acreditar qual a luz é uma onda. Tá. Por quê? Todos esses fenômenos, o modelo ondulatório explica. O modelo corpuscular explica os dois primeiros e não explica os dois últimos. Né, então a interferência e a difração não explica. Aí veio o Albert Einstein e fez a experiência e que que se percebe, se percebe que o efeito fotoelétrico não é explicado pelo modelo ondulatório. Mas é explicado pelo modelo corpuscular. E aí tem um problema. O problema é o seguinte: a partir de então, a partir do Einstein, a luz é uma onda, explica bastante coisa, só que não explica esse, ou a luz é uma partícula? Né, porque se for partícula, ela tem que explicar tudo, se for onda, tem que explicar tudo também.	Pergunta de problematização	Retomar	ED1
5:37 - 5:39	3	Vitória: Tá, então não é uma nem outra.			
5:39 - 5:40	4	Professor: Por que?		Explorar	
5:40 - 5:42	5	Vitória: Porque nenhuma das duas explica completamente.			
5:43 - 5:53	6	Professor: Então, pode ser, você tem toda razão, pode não ser uma e pode não ser outra também. Vocês lembram daquela brincadeira da caixinha? [O professor remete a atividades anteriores].	Pergunta sobre dados	Qualificar Retomar	
5:53 - 5:54	7	Turma: Uhum.			

Por meio do propósito epistêmico *retomar,* o professor Romero relembra alguns fenômenos físicos discutidos nas aulas anteriores, como a reflexão e a refração de ondas. O professor Romero termina a sua fala inicial com a seguinte *pergunta de problematização* (T2): “O problema é o seguinte: a partir de então, a partir do Einstein, a luz é uma onda, explica bastante coisa, só que não explica esse, ou a luz é uma partícula? Né, porque se for partícula, ela tem que explicar tudo, se for onda, tem que explicar tudo também”.

A estudante Vitória (T3) levanta a hipótese de que pode não ser nenhuma das explicações. O professor Romero (T4) *explora* a hipótese de Vitória, a qual percebe que existe um problema sobre a teoria da luz (T5): “Porque nenhuma das duas explica completamente”. Nesse trecho, caracterizamos episódio de ED1, pois a estudante Vitória busca hipóteses para a construção de um plano de trabalho. Então, o professor conduz a discussão remetendo a atividades anteriores realizadas pelos estudantes, discutindo a existência do elétron.

Quadro 27 – Trecho de falas da aula do professor Romero

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
5:56 - 6:07	8	Professor: Na aula de Química, vocês já ouviram falar do átomo... do elétron etc. [Pausa] Vocês acham que o elétron existe? [pausa]	Pergunta de problematização	Problematizar	ED1 ED2
6:12 - 6:14	9	Alice: Deve existir, só que eu nunca vi.			
6:14 - 6:15	10	Professor: Então...			
6:15 - 6:20	11	Alice: Nos livros de Química falam...			
6:20 - 6:22	12	Professor: Por que vocês acham que o elétron existe?	Pergunta sobre dados	Problematizar	
6:23 - 6:27	13	Alice: Porque nos... Encontraram... Nos ensinaram			
6:27 - 6:30	14	Vitória: Os estudos mostram uma teoria sobre ele. Que é aceitável.			
6:31 - 6:43	15	Professor: Eu vou mudar a pergunta. Vocês fizeram a caixinha, vocês brincaram com a caixinha. Lá na caixinha, alguém chegou a ver a parte de dentro da caixinha? Só a parte interna?	Pergunta sobre dados	Retomar	
6:43- 6:44	16	Vitória: Não			
6:44 - 6:50	17	Professor: [Apontando para um aluno] Você abriu, você deve ter aberto né? Você é meio malandrinho, deve ter aberto a caixinha. [Risos]	Pergunta sobre dados	Retomar	
6:50 - 6:56	18	Jaime: O pessoal daqui tentou...			
6:57 - 7:00	19	Professor: Então, mas como é que você sabe o que tem lá dentro?	Pergunta sobre dados	Retomar	
7:00 - 7:02	20	Jaime: Eu tentei descobrir, ué. A Débora...			
7:03 - 7:05	21	Professor: Mas você viu o que tinha lá dentro?	Pergunta sobre dados	Retomar	

7:05 - 7:06	22	Vitória e Jaime: Não.			ED1 ED2
7:06 - 7:12	23	Professor: Como é que você chega e fala assim ó: aqui dentro tem isso, isso, isso. Sem olhar?	Pergunta de problematização	Problematizar	
7:12 - 7:14	24	Vitória: Em teoria sim.			
7:16 - 7:20	25	Jaime: Malandrinho, olha as ideias. [Inaudível]			
7:20 - 7:45	26	Professor: Então, vocês não queriam uma ideia sobre aquilo? Agora olha o que é, mostra o dedinho seu pra sala. [Professor solicita ao Jaime e este mostra]. Agora mostra a pontinha do dedinho pra sala. [Jaime segura a ponta do dedo]. Agora mostra o biquinho do dedinho. Agora mostra cinco células aí.		Problematizar	
7:46 - 7:47	27	Jaime: Não dá professor.			
7:47 - 7:48	28	Professor: Por que não dá?	Pergunta de problematização	Explorar	
7:48 - 7:49	29	Jaime: Porque eu não consigo ver.			
7:49 - 7:52	30	Professor: Agora mostra um átomo que ta dentro dessa célula.		Problematizar	
7:52 - 7:53	31	Jaime: Nossa.			
7:55 - 7:58	32	Professor: A ideia é essa. Como é eu você explica uma coisa que você não tá vendo?	Pergunta de problematização	Problematizar	
8:00 - 8:01	33	Jaime: Não sei.			
8:02 - 8:05	34	Professor: Como é que você explica a parte de dentro da caixinha?	Pergunta de problematização	Retomar	
8:05 - 8:08	35	Jaime: Ah, eu meio que eu deduzi né?			
8:08 - 8:10	36	Professor: Você deduziu.		Qualificar	
8:09 - 8:12	37	Jaime. O que eu achei que tinha.			

Com a problematização proposta aos estudantes (de que é necessário haver alguma teoria para explicar o comportamento dual da luz – onda e partícula), o professor Romero discute sobre a existência do elétron, utilizando como exemplo outra problematização (T8): “Vocês acham que o elétron existe?”.

Utilizando de *pergunta sobre dados* e com o propósito epistêmico *retomar*, o professor Romero resgata conceitos das aulas passadas. O intuito do professor, como podemos perceber do turno 1 ao turno 32, é debater e *problematizar* com os estudantes a seguinte questão: “Como é que você explica uma coisa que você não tá vendo?”.

Essas ações realizadas pelo professor, incentivaram os estudantes a responderem questões acerca do tema. Por essas falas, classificamos episódios de ED1, pois os estudantes estão discutindo sobre as perguntas realizadas pelo professor e ED2, pois Alice, Jaime e Vitória estão trabalhando de forma colaborativa para a concretização de ações, proposições e análise de ideias.

Quadro 28 – Trecho de falas da aula do professor Romero

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
8:13 - 8:16	38	Professor: Então a pergunta é: como é que você sabe se a luz é uma onda ou é uma partícula?	Pergunta de problematização	Retomar	ED1 ED2
8:18 - 8:22	39	Jaime: Eu não sei. Eles dizem por teoria deles.			
8:22 - 8:23	40	Professor: Eles quem?		Explorar	
8:24 - 8:26	41	Jaime: Os cientistas.			
8:27 - 8:30	42	Professor: Então, mas pra chegar na teoria como é que eles fazem? Como é que eles constroem essa teoria?	Pergunta de problematização	Explorar	
8:31 - 8:32	43	Alice: Por experiência.			
8:33 - 9:03	44	Professor: Essa teoria... Exatamente. Uma das coisas é a experiência. Né? Por que se você não tem acesso, como é que você vai ver. Então é uma caixa preta isso daí na verdade. E é uma caixa que como se fosse a caixinha que você faz um monte de experiência e acredita que deve ser isso ou aquilo, mas você não vê. Né? E aí é o que a Vitória fala: ou é uma coisa ou é outra. Ou não é nenhuma das duas.		Qualificar / Sintetizar	
9:03 - 9:05	45	Vitória: Pelo que eu deduzo não é nenhuma.			
9:05 - 9:12	46	Professor: Então, o que vocês imaginam que possa ser? Vocês conseguem imaginar alguma coisa? Tem que explicar tudo.	Pergunta de problematização	Problematizar	
9:12 - 9:14	47	Jaime: Então não é nem uma nem outra.			
9:14 - 9:15	48	Professor: Então, mas aí...			
9:15 - 9:27	49	Vitória: Não... ou ela pode ter um pouco de cada. Porque que igual o sistema ondulatório eu acredito que ela tenha a capacidade de se transpassar por ondas, porém a sua característica pode ser em partículas.			
9:27 - 9:34	50	Jaime: Então você teria o efeito ondulatório? Porque tem explicações que os...			
9:35 - 10:08	51	Professor: É, olha, pode ser. Pode ser o ondulatório porque explica mais do que o outro. Só que se for onda tem que explicar também o efeito fotoelétrico. Agora olha o que a Aluna 1 está falando, não sei se você entendeu. Ela falou o seguinte: pode ser [Inaudível] ou pode ser homem. Ou pode ser homem ou pode ser mulher. Ou pode ser [Inaudível] e pode ser... O que ela tá falando é isso, se eu entendi. Então é assim, pode ser onda e pode ser partícula. Pode ser que uma hora seja uma coisa e outra hora seja outra, não é isso que você falou?	Pergunta explanatória sobre processos	Sintetizar / Explorar	
10:08 - 10:20	52	Vitória: É mais ou menos isso porque num certo ponto ela tem partículas, mas ela também tem as características de onda. Então é uma espécie de uma mistura né, para se formar um conjunto e emitir o que ela emite.			
10:21 - 10:22	53	Professor: Você entendeu? [Referindo-se ao Jaime]	Pergunta explanatória sobre processos	Explorar	
10:23 - 10:25	54	Jaime: Entendi mais ou menos, explica aí de novo pra mim. [Referindo-se a Vitória]			
10:26 - 10:52	55	Vitória: Tipo assim, é... As ondas, elas explicam uma certa parte. Então quer dizer que ela pode ser até certa parte ela pode ser onda, porém ela pode conter partículas para poder se... Que nem a luz, para gente poder ter essa quantidade de luminância, ela pode ter uma mistura entre as ondas pra luz se emitir, porém partículas.			
10:54 -	56	Alice: Isso é possível?			

10:55					
10:56 - 10:57	57	Professor: Você entendeu? [Referindo-se ao Vitória]	Pergunta explanatória sobre processos	Explorar	ED1 ED2
10:58 - 11:05	58	Alice: Sim mas será que isso é possível? Uma coisa deixar de ser outra por um tempo, e ser duas coisas numa coisa só?			
11:05 - 11:07	59	Jaime: Como se fosse uma fusão né?			
11:07 - 11:32	60	Vitória: Porque é a mesma coisa quando você coloca um copo d´água limpa, você coloca sal e água, eles não se juntam... E viram um só? Então é a mesma coisa. Eles podem se juntar e virar um só. Muda que nem, no caso do sal, açúcar e água, se juntam e vira uma espécie de soro caseiro. A mesma coisa da luz, se a gente misturar pode ser a luz que a gente obtém.			
11:33 - 11:37	61	Jaime: Então, mas se misturar ele pode formar outra coisa.			

Nos turnos acima apresentados, o professor Romero *retoma* o problema proposto na sua primeira fala: “luz é onda ou partícula?”. O estudante Jaime (T47) se apoia na ideia da colega Vitória e diz que não é nem uma nem outra. Nesse trecho, em especial, os estudantes Jaime e Vitória estão debatendo sobre as hipóteses acerca do comportamento dual da luz. Apesar da fala do estudante Jaime ser interrompida pelo professor Romero no turno 51, *sintetizando* a ideia dos estudantes, ele busca explorar mais essa discussão, como podemos perceber na pergunta de confirmação: “... não é isso que você falou?”.

Os estudantes Jaime e Vitória continuam participando da discussão acerca do caráter dual da luz, e Alice (turno 56) também participa ao fazer o seguinte questionamento: “Isso é possível?”. Por essas falas, identificamos episódios de ED1 e ED2 à medida em que há trabalho colaborativo para concretização de ações, proposições e/ou análise de ideias. Notamos aqui que os estudantes percebem a inconsistência da teoria e buscam uma explicação para os fenômenos observados.

Quadro 29 – Trecho de falas da aula do professor Romero

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
11:38 - 12:49	62	Professor: Então, ela já existe essa outra coisa. O problema é que a gente cria teorias acreditando que é daquele jeito. Pra demonstrar o que já existe. Bom, você fez a experiência, eu digo os cientistas, não são vocês. Os cientistas fizeram experiências que falaram ó: a reflexão dá pra explicar pelos dois, a refração etc. Então nesse caso o modelo, a luz é um modelo ondulatório, né? E aqui quando o Albert Einstein fez a experiência do efeito fotoelétrico ele também acreditava que era o modelo ondulatório. Aí ele percebeu que aquele modelo não explicava e tentou explicar com o outro. Né? O que que é legal aqui, é legal a gente pegar, o que o Einstein		Sintetizar	

		sugere? Ele sugere o seguinte: então a luz na verdade ela aqui pode ser onda e pode ser partícula. Né? Nesse caso. Quer dizer, ela pode ser as duas coisas e pode não ser nada. É que nem uma pessoa, tem gente que não sei se vocês já perceberam, quando você olha pra pessoa, tem cara que anda com o cabelo grande, não sei se vocês já viu isso daí, Débora?			
12:50 - 12:51	63	Débora: Um homem?			
12:51 - 13:17	64	Professor: É, homem. Seria, eu não sei se é do sexo masculino seria, não sei se é do masculino ou feminino. E quantas vezes lá no shopping, não se se vocês já foram para o shopping. [Inaudível] Tem cara que você sabe que é metaleiro. Mas tem uns caras, mas as vezes você olha um cara de longe e aí você não sabe definir direito.	Pergunta sobre dados		
13:17 - 13:19	65	Caio: Perigoso, hein professor? [Risos]			
13:20 - 13:30	66	Professor: É perigoso. Aí você pega e olha o cara e ele entra no banheiro dos homens. O que você imagina que seja? [Apontando para o Caio]	Pergunta sobre dados		
13:31 - 13:32	67	Caio: Um homem.			
13:33 - 13:35	68	Jaime: Depende, e se for...			
13:35 - 13:49	69	Professor: Aí você pega e vai na lanchonete e você vê um outro cara parecido com aquele, muito parecido, não é o mesmo, mas é parecido. Cabelo longo e tal, aí entra no banheiro das mulheres. O que que você...	Pergunta sobre dados		
13:50 - 13:51	70	Caio: Uma mulher.			
13:51 - 13:52	71	Jaime: Indeciso			
13:52 - 13:54	72	Vitória: Não entra no banheiro das mulheres.			
13:55 - 14:02	73	Professor: Aí quando saí você percebe que aquele cara que saiu do banheiro das mulheres tem um "voluminho", o que você acha? [Apontando para o Caio]	Pergunta sobre dados		
14:03 - 14:04	74	Caio: É complicado. [Risos]			
14:09 - 14:13	75	Professor: Aí você fala: aquele cara é homem ou mulher? Como é que você faz pra saber?	Pergunta sobre dados		
14:13 - 14:14	76	Vitória: Nenhum dos dois.			
14:15 - 14:16	77	Jaime: Pode ser hermafrodita.			
14:17 - 14:34	78	Professor: Pode ser. Ou pode ser também, se você ficar um pouco mais atento você fala assim: cara, mas não é possível. Aí você vai lá olhar e percebe que o banheiro dos homens está fechado. Fechado para balanço. O que que você imagina? O cara é homem ou mulher?	Pergunta sobre dados		
14:35 - 14:37	79	Jaime: Então necessitamos de algo aí.			
14:38 - 14:40	80	Professor: Nesse caso é homem ou mulher?	Pergunta sobre dados		
14:40 - 14:41	81	Vitória: Homem.			
14:41 - 14:58	82	Professor: Se o cara anterior, o outro, que também tinha cabelo, você não sabia se era homem ou se era mulher. Aí você vai lá, se você fizesse a mesma coisa antes e você percebesse que o banheiro das mulheres estivesse	Pergunta sobre dados		

		fechado, o anterior seria homem ou mulher? O primeiro que eu dei o exemplo?			
14:58 - 14:59	83	Vitória: Mulher.			
14:59 - 16:23	84	Professor: Mulher né? Porque o banheiro das mulheres estaria fechado. Vocês estão entendendo como que é o negócio, você imagina o que ele é, pelo comportamento que ele tem. A mesma coisa aqui para a luz. [Professor aponta para a projeção] você imagina que é onda, pelo comportamento, pelo fenômeno, ou você imagina que é corpúsculo pelo comportamento. Até uma hora que você não consegue mais explicar. Essa é a ideia. Então o que você faz: você faz outras experiências, então você pega lá, por exemplo, chama o Fábio, e fala assim: Fábio, a gente não consegue saber se aquele cara é homem ou mulher. A gente não consegue nem chegar no banheiro. Se a gente percebe que o banheiro está fechado, legal, o cara deve ser homem, mas você não consegue descobrir isso, só consegue descobrir depois. Mas vamos supor, Fábio, que você está de costas, e está o seu sobrinho pequenininho, coleguinha seu, filho da sua namorada, aí fala "nossa papai, aquele homem entrou no banheiro das mulheres, o senhor não pode descobrir se ele é homem ou mulher?" Você não pode, você não que enxergar, "ah, pede pra ele vir aqui". Seu filho, o cara que você vai adotar, aí você fala: "faz favor, venha aqui". Quando o cara chegar, você quer saber se ele é homem ou mulher sem olhar, como é que você faz?	Pergunta sobre dados		
16:23 - 16:24	85	Jaime: Olho pro pé. [risos]			
16:25 - 16:31	86	Professor: Sem olhar, você não vai olhar. Qual é o sentido que você usa? O cara chegou do seu lado.	Pergunta sobre dados		
16:31 - 16:32	87	Vitória: A voz.			
16:32 - 16:34	88	Professor: A voz é uma coisa.			
16:34 - 16:35	89	Jaime: A Audição.			
16:35 - 16:39	90	Professor: Exatamente. Qual é o outro? Para descobrir se é homem ou se é mulher?	Pergunta sobre dados		
16:43 - 16:46	91	Jaime: Passo a mão no rosto para ver se tem barba.			

No turno 62, o professor afirma que, antigamente, acreditava-se que a luz era explicada como um fenômeno puramente ondulatório. Em seguida, ele cita que Albert Einstein “fez a experiência do efeito fotoelétrico” e percebe que o modelo ondulatório não dava conta de explicar o fenômeno. Então ele afirma que Einstein “sugere o seguinte: então a luz na verdade ela aqui pode ser onda e pode ser partícula... né? Nesse caso. Quer dizer, ela pode ser as duas coisas e pode não ser nada”.

A partir daí, o professor busca fazer uma analogia do caráter dual da luz (onda e partícula) com gêneros (masculino e feminino). Essa analogia tem início no final do turno 62: “É que nem uma pessoa, tem gente que não sei se vocês já

perceberam, quando você olha pra pessoa, tem cara que anda com o cabelo grande, não sei se vocês já viu isso daí, Débora?”.

Para ilustrar a analogia, o professor exemplifica com características físicas como, por exemplo, o comprimento dos cabelos: se possui cabelo comprido é mulher e se possui cabelo curto é homem, além da comparação entre banheiros, como no turno 66: “Aí você pega e olha o cara e ele entra no banheiro dos homens. O que você imagina que seja?”, o estudante Caio responde então que a pessoa no caso é do sexo masculino (T67) e em seguida o professor pergunta (T68): “Aí você pega e vai na lanchonete e você vê um outro cara parecido com aquele, muito parecido, não é o mesmo, mas é parecido. Cabelo longo e tal, aí entra no banheiro das mulheres.”.

Esse tipo de analogia parece implicar em respostas binárias, pois os estudantes podem inferir que se a pessoa é homem ou mulher, por analogia, a luz pode ser **ou** onda **ou** partícula, o que acaba comprometendo o objetivo da aula: discutir o caráter dual da natureza da luz. Essa discussão prolonga-se até o turno 91. Embora o professor realize *pergunta sobre dados*, não identificamos propósitos epistêmicos nesse trecho, pois não houve situações em que ocorresse a promoção da argumentação por parte dos estudantes.

Quanto aos indicadores de EDP, notamos episódios de E1 e E2, pois acreditamos que, mesmo fora do contexto, ocorre uma discussão sobre o tema e há trabalho colaborativo. Notamos que os estudantes estão engajados na aula, mas o nível de engajamento é baixo, pois o professor Romero não oferece oportunidades para a explicitação de ideias por alunos, o que, em consequência, implica na inexistência de situações em que se possa explorar a visão dos estudantes sobre a discussão proposta com relação à inconsistência na teoria.

Quadro 29 – Trecho de falas da aula do professor Romero

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
16:46 - 16:48	92	Professor: Beleza. Aí o cara é meio hermafrodita.			E1 E2
16:49 - 16:51	93	Jaime: Ah, eu não ponho a mão não. [risos]			
16:54 - 16:57	94	Professor: Mas você não faz uma experiência?	Pergunta sobre dados		
16:57 - 16:58	95	Jaime: É.			

16:57 - 17:00	96	Professor: Uma delas é a voz. O outro qual que é? Que você está usando?	Pergunta sobre dados		
17:02 - 17:03	97	Jaime: O tato.			
17:03 - 17:04	98	Professor: O tato.			
17:04 - 17:05	99	Juliana: É.			
17:06 - 17:08	100	Professor: Você vai por a mão no cara né? [inaudível].			
17:10 - 17:12	101	Alice: O que é hermafrodita?			
17:12 - 17:14	102	Vitória: Pessoas que tem os dois sexos.			
17:13 - 17:14	103	Professor: Tem os dois sexos.			
17:14 - 17:15	104	Alice: Como assim?			
17:15 - 17:23	105	Professor: Tem o nariz e orelha juntos. [risos] Ó, beleza. Então o negócio é fazer as duas experiências. Eu vou mostrar aqui...			
17:21 - 17:22	106	Alice: Como?			
17:22 - 17:25	107	Vitória: Os dois órgãos reprodutores. Pronto.			
17:25 - 17:26	108	Alice: Como?			
17:27 - 17:29	109	Vitória: Nascendo né? Se eles nasceram, acabou.			
17:30 - 17:36	110	Professor: Depois no final a gente volta pra isso daí. Eu vou mostrar aqui um vídeo que fala sobre o efeito fotoelétrico.		Problematizar	

Ainda na continuidade do uso da analogia, na tentativa de evidenciar o caráter dual da natureza da luz, o professor (T92) afirma que a pessoa pode ser hermafrodita. Isso parecer ter trazido mais confusão do que esclarecimentos para a discussão, o que fica evidente no turno 101, com a pergunta da aluna Vitória: “o que é ser hermafrodita?”. Esta discussão encerra-se no turno 110, quando o professor a interrompe para apresentar um vídeo sobre o efeito fotoelétrico, com o intuito de *problematizar* o caráter ondulatório da luz. Novamente, evidenciamos episódios de E1 e E2, pois ocorre discussão sobre o tema e há trabalho colaborativo.

4.2.2 Momento 1 da aula 10: o efeito fotoelétrico e o problema da interferência para um único fóton no interferômetro

Identificamos como o momento 2 as discussões que ocorreram entre os turnos 111 e 134. Caracteriza-se pela intenção do professor em mostrar aos estudantes que o experimento do efeito fotoelétrico comprova o caráter corpuscular da luz, buscando explorar o problema de outra forma, através de um vídeo.

Quadro 30 – Trecho de falas da aula do professor Romero

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
17:39 - 26:48	111	[Início do vídeo - https://www.youtube.com/watch?v=2vyOWsz_R-g]			ED1
26:49 - 26:57	112	Professor: Bom, na verdade vocês já sabem então da onde começa a Mecânica Quântica. Tem alguma coincidência do que vocês falaram aí que apareceu no vídeo?	Pergunta sobre dados	Problematizar	
26:58 - 27:02	113	Vitória: Tem sim, a mistura das duas. Da onda...			
27:02 - 27:07	114	Caio: [Inaudível]			
27:07 - 27:09	115	Professor: Tem alguma coincidência ou não?	Pergunta sobre dados	Explorar	
27:10 - 27:18	116	Vitória: Sim, entre as ondas e as partículas. Ele não disse particularmente em partículas, mas ele disse na forma de elétrons.			

27:20 - 29:46	117	Professor: O pacote né? [Professor procura programa para exibir] Deixa ver se é esse. É esse aqui ó. Tem experiência, o que que acontece? Uma coisa... Uma coisa é o seguinte: você está com essa dúvida aqui, então o modelo ondulatório e o corpuscular, você não consegue explicar esse, só o que você tem que fazer agora, você tem que refazer essa experiência aqui e essa aqui, e tem que explicar essas duas usando o corpúsculo. Ué, como é que o corpúsculo, como é que a partícula vai explicar isso, tem que explicar. Vamos refazer a experiência pra ver se explica. E a Ciência tem um problema, um problema não, um fato que é recorrente na Ciência. As vezes você monta a teoria, mas não tem como fazer a experiência. Por exemplo, quando Newton fez a Teoria da Gravitação Universal, ele falou "a gravitação está em todo lugar, não sei o que, não sei o que...". Tinha a teoria, mas você não tinha aparato tecnológico para provar aquilo, tinha limite aquela teoria. Por exemplo, você conseguia mostrar que os objetos caem... então batia quando era alguma coisa aqui pra Terra. Mas quando era de um corpo celeste, de um planeta para outro planeta, não conseguia explicar, não conseguia comprovar a teoria. E aí depois com o tempo, você conseguia mandar satélites, máquinas para o espaço etc. Isso é assim, a teoria vem antes da experiência, e existe o contrário, tem a experiência e não tem a teoria. Tá? Nesse caso aqui, me parece que é uma mistura das duas, uma hora você tem a experiência, você explica a experiência, né, e você tem a teoria. E tem uma hora que você tem a teoria...	Pergunta sobre dados	Retomar Problematizar	ED1
29:46 - 29:48	118	Vitória: E não tem a experiência.			

O vídeo demonstra o experimento proposto por Einstein, no qual ele comprova o caráter corpuscular da luz, refutando a teoria ondulatória da luz, vigente até então.

Com isso, o professor busca inserir uma problematização, evidenciando o caráter corpuscular da luz. Após o vídeo, o professor (T112) busca *explorar*, através de *pergunta sobre dados,* a visão dos estudantes e Vitória (T113 e T116) percebe que há uma divergência com a teoria Ondulatória, admitindo que a luz seja partícula. No entanto, o professor interrompe a discussão entre os estudantes ao *sintetizar* o assunto com a afirmação: “... me parece que é uma mistura das duas”. Caracterizamos nessas falas, da estudante Vitória, episódios de ED1 pois a estudante oferece ideias e hipóteses para a elaboração de um plano de trabalho.

Após a apresentação do vídeo, o professor pode auxiliar novamente os estudantes na retomada das ideias acerca da inconsistência das teorias para explicar a luz, problematização proposta no início da aula.

Quadro 31 – Trecho de falas da aula do professor Romero

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
29:48 - 31:13	119	Professor: E não tem a experiência. Então quer dizer que a experiência aqui, na época, talvez, você não tivesse uma experiência razoável para explicar a luz como partícula. Tá bom? Então aprece que a ideia é alguma coisa nesse sentido aí. E aí a experiência de Mach-Zehnder. A experiência de Mach-Zehnder ela foi feita no século 20, depois do Einstein. E aí ela te dá algumas dicas, algumas pistas se a luz é partícula ou se a luz é onda. Então aqui tem a simulação que vocês fizeram. [Professor mostra o experimento virtual de Mach-Zehnder, relembrando a atividade prática desenvolvida anteriormente pela classe] Aqui tem a simulação e aqui tem o real. [Inaudível] Tá? As experiências de interferência demonstram claramente as propriedades ondulatórias da luz. Então tem interferência, a crista da onda com a crista da onda, ou a parte de baixo da onda com, o vale com o vale, né? Ou o contrário, da crista com o vale. Podemos observar as franjas, você pode observar esses desenhos aí utilizando uma luz experimental... a experiência, o experimento do Mach-Zehnder. A experiência é essa daqui. Vocês mexeram na semana passada. Vocês tiveram dificuldades e tal, não foi nem um pouco fácil né? Então, é... vocês lembram disso aqui?	Pergunta sobre dados	Retomar Qualificar Sintetizar	ED1 ED2
31:14 - 31:20	120	Alunos: [Inaudível] Alguma coisa no meio.			
31:21 - 33:27	121	Professor: Então era essa experiência aqui. Olha o que acontece, a luz sai daqui, passa por aqui, isso aqui é um vidro semi-espelhado. Parte da luz vem e passa pra cá, parte da luz bate aqui e vem pra cá. Aqui é um espelho, então toda a luz que bater aqui vai ser refletida, a luz que bater aqui vem pra cá. Parte da luz vai vir pra cá, por essa parte aqui, né? Só que essa parte da luz que vier pra cá, opa desculpa, é isso mesmo. Então, essa luz que está aqui, que chegou aqui, parte vai vir pra cá nessa região e parte dela vai ser refletida pra cá. Ela não vem pra esse lado, eu falei errado. Voltando, a luz vem, bate aqui. Parte vem pra cá. Toda luz que bater aqui vem pra cá, né? Parte da luz que vier pra cá vai vir pra cá, pra essa região aqui que você não está enxergando. E a outra parte vai vir pra cá. Tá? A outra parte que vem daqui bate nesse espelho e esse vidrinho ele vem pra cá e pra cá. Tá? E essa luz que está vindo pra cá vai encontrar outra que está vindo desse lado de cá. E vai ter interferência. Ela vai interferir. Pra lá e pra cá. O que está acontecendo é isso daqui ó, basicamente. Então aqui é a fonte, é o laser. Quando a luz chega aqui, uma parte da luz vem pra cá e uma parte vem pra cá. Essa parte que veio pra cá vai ser toda refletida aqui. A parte que veio pra cá, vai ali, e essa parte que veio daqui vai encontrar com essa parte aqui e vai ter interferência. Essa daqui vai interferir com essa. Tá? E aqui eu tenho um anteparo. Que anteparo que é esse. Esse anteparo aqui é esse daqui ó. Tá? Então essa parte aqui é isso aqui.	Pergunta sobre dados	Retomar Sintetizar	
33:29 - 33:32	122	Vitória: Então a gente nunca ia conseguir montar... [Inaudível]			
33:32 - 33:33	123	Professor: O que?			
33:33 - 33:37	124	Vitória: Então pra gente montar igual tava... o senhor pediu a gente tinha que ter esses anteparos?			
33:38 - 33:40	125	Professor: Podia ser a camiseta. Você poderia colocar a camiseta.		Qualfiicar	

33:41 - 33:43	126	Vitória: Porque só a folha de caderno de nada adiantou.			
33:44 - 33:51	127	Professor: Então, pode ser por vários motivos. Um deles é o ângulo, pode ser o ângulo disso aqui ó, pode ser a altura.		Qualfiicar	
33:53 - 33:55	128	Vitória: Você montou alguma coisa? [Referindo-se ao Jaime]			
33:56 - 33:57	129	Jaime: Eu montei. [Inaudível]			
33:57 - 35:11	130	Professor: Então essa parte vem, bate aqui, ó, tá vendo. E tem a interferência da luz. Aqui tá o anteparo. Tá vendo que dá interferência? E aí você fala: ah legal, eu consigo explicar com o modelo ondulatório. Né? O problema é que quando você joga fótons, você joga partículas dá o mesmo efeito. Então você não consegue explicar isso usando o modelo de onda, porque onda tem interferência. Agora o problema é, como é que eu vou explicar esse negócio desse jeito usando partículas? Se eu jogar um fóton por vez, uma partícula de luz por vez, como é que a partícula de luz vai interferir com ela mesma? Porque ela tem crista, ela tem... essa é a pergunta. Né? Então nesse lado de cá você tem a luz se comportando como onda e aqui você tem a luz se comportando como partícula. Aqui você consegue explicar [Professor aponta para o experimento de Mach-Zehnder o comportamento ondulatório da luz]. Aqui você não consegue explicar. [Professor aponta para o experimento de Mach-Zehnder o comportamento corpuscular da luz] Só que o efeito é o mesmo. Tá vendo, o fenômeno é o mesmo. Tanto como partícula quanto como onda. O que seria legal fazer? Ó. Aqui é quando você tirou o... Sem interferência. Você tirou um dos espelhos e acontece isso.	Pergunta sobre dados	Retomar Sintertizar	
35:12 - 35:14	131	Jaime: Como tava aquele dia.			ED1 ED2
35:14 - 35:37	132	Professor: Oi? Como tava aquele dia. Bom. Isso é um problema. Tem um outro vídeo, deixa ver se eu acho aqui. Chama-se Doutor Próton. Porque o que é legal, legal é a gente pegar agora e fazer a experiência com o elétron. Porque elétron... elétron é partícula ou é onda?	Pergunta sobre dados	Qualfiicar Problematizar	
35:39 - 35:40	133	Vitória: Partícula.			
35:40 - 36:41	134	Professor: Elétron é partícula, né? Então, se a gente fizer a experiência com o elétron e no elétron não der interferência, porque partícula não tem crista né? Aí é legal. Deixa ver se eu consigo só... Tem um vídeo chamado efeito... Doutor Próton. Deixa ver se eu acho. Eu acho que não tá aqui... Esse vídeo do Doutor Próton é bem legal de mostrar. Tá? Antes de continuar com essa apresentação, eu gostaria que vocês fizessem umas questões pra responder, e depois eu vou mostrar pra vocês a finalização. Algumas explicações. Pode ser? Depois vai valer como nota pra vocês. Tá?		Qualificar Problematizar	

Este recorte é marcado por algumas características em particular. A primeira é o fato de apresentar falas extensas do professor Romero, sem oportunidades para a turma desenvolver suas explicações sobre os conceitos.

Outro fator importante é que, ao perceber a dificuldade da turma sobre os fenômenos de interferência, o professor busca *retomar* os conceitos de aulas passadas. No entanto, ao fazê-lo, ele não explora o entendimento dos estudantes acerca do assunto, não permitindo que o episódio de ED1 apresentado pela estudante Vitória se desenvolva.

Ao *sintetizar* o assunto sem o ter explorado antes junto aos estudantes, o professor impede que a sofisticação de ideias seja realizada pelos estudantes.

Em seguida, o professor *retoma* a problematização acerca da natureza da luz com a questão: “elétron é onda ou partícula” (T132), e a estudante Vitória, após assistir ao vídeo e perceber que a luz apresenta caráter corpuscular, responde que a luz é “partícula” (T132). Os níveis de EDP encontrados foram ED1 e ED2, pois os estudantes buscam respostas para os fenômenos observados, havendo proposições e análise de ideias.

Por fim, ele encerra o momento 2 no turno 134 confirmando a fala da estudante Vitória, de que o elétron é uma partícula. Em seguida, ele distribui as atividades sobre a natureza da luz, para que os estudantes a realizem.

4.2.3 Momento 3 da aula 10: as quatro interpretações da Mecânica Quântica para a natureza da luz

O momento 3 da aula caracteriza-se pela apresentação das quatro principais interpretações da Mecânica Quântica para a natureza da luz, propostas por Pessoa Jr (2013), e vai do turno 135 ao turno 179.

Quadro 32 – Trecho de falas da aula do professor Romero

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
36:43	135	[Professor levanta e distribui as atividades]			ED1
36:48 - 36:51	136	Professor: Aí eu pego e o que eu vou fazer... Vou fazer isso como nota.			
	137	[Alunos conversam e o professor os orientam no preenchimento das atividades]			
	138	[Alunos iniciam as atividades escritas]			
39:08 - 39:13	139	Vitória: Professor, o que que é complementaridade dualista-realista?			

Inicialmente, o professor distribui as atividades a serem realizadas pelos estudantes (T135), solicitando que eles emitam explicações sobre as quatro linhas interpretativas da Mecânica Quântica a respeito da natureza da luz.

Notamos a presença de apenas episódio de ED1, pois a estudante Vitória mostra-se empenhada na realização da tarefa proposta, buscando compreendê-la. Isso fica evidente no turno 139, no qual a estudante pergunta o que é Complementaridade dualista-realista.

Diante disso, o professor *sintetiza* as implicações de cada interpretação, conforme os turnos 140, 142 e 143. Essa ação, sem a exploração dos estudantes, faz com que o nível de engajamento diminua mais uma vez, caracterizando uma discussão sobre o tema – E1.

Quadro 33 – Trecho de falas da aula do professor Romero

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
39:13 - 39:43	140	Professor: Eu vou explicar depois... mas devo explicar antes. O negócio é o seguinte. Ele pergunta aí das quatro interpretações né? Aí você falou que pode ser uma coisa ou pode ser outra. Pode ser a mistura das duas. Como é que explica isso? A explicação é essa ó: primeira explicação pra luz, a luz ela pode ser onda.	Sintetiza	Sintetizar	
39:43 - 39:44	141	Vitória. Hum			
39:44 - 42:10	142	Professor: E aí como é que você explica a teoria lá da interferência né? O desenho com a bolinha cheio de... Que é vermelha, depois branca, depois vermelha. Se você considerar a luz como onda, então, vocês têm o seguinte: o fóton se divide em dois então ficam dois meios fótons, você pode imaginar isso. No primeiro semi-espelho do interferômetro, então os dois meio fótons se recombinam no segundo assim como ondas, produzindo o padrão de interferência observado. Então é como se fosse uma partícula que se divide em duas. Tá, e aí você vai ter a interferência. O modelo corpuscular. O fóton é uma partícula e nunca se divide. Assim o fóton segue um caminho único, bem determinado, no interior do interferômetro. No semi-espelho o fóton pode ser refletido ou transmitido com a mesma chance. A mesma probabilidade. A outra interpretação é essa daqui ó: o fóton é composto de duas partes. Uma partícula e uma onda. Então tem uma onda e uma partícula junto. Assim, a partícula é como um surfista, viajando sobre a onda. E só pode existir aonde estiver onda. É como se tivesse uma dentro da outra. A onda pode ser dividida e se recombinar nos semi-espelhos, produzindo interferência. Com isso, após o registro de muitos fótons o padrão de interferência pode ser observado na saída do interferômetro. A última interpretação é o da complementaridade. [Professor levanta para atender a porta] A última interpretação é o da complementaridade, ela diz o seguinte: o fóton se manifesta como onda ou como partícula. Então tem hora que ele é onda e tem hora que ele é partícula. Mas nunca como uma coisa e como	Sintetiza	Sintetizar	E1

		outra coisa. Tá? Então ele não pode ser uma e outra ao mesmo tempo. No caso da dualista ele pode ser uma e outra. Aqui não. Aqui ele é uma ou outra.			
42:11 - 42:40	143	Professor: O arranjo experimental é que determina a cara do fóton. Se a gente observa padrão de interferência, se você observa por exemplo que ele tá dando interferência a gente fala que é onda. Se a gente determina o caminho, a gente diz que ele é partícula. Então se eu digo assim ó: ele vai por esse caminho, a gente fala que é partícula. Porque a partícula você tá vendo ela, a onda não. Tá? Então pode... ser as quatro explicações que têm são essas daí.		Sintetizar	E1
42:41 - 42:44	144	Vitória: Aí na tabela a gente vai preencher somente as que a gente considera ou não?			
42:45 - 42:46	145	Professor: Como que tá a pergunta?			
42:47 - 42:54	146	Vitória: Aqui tá assim ó: preencha o quadro esquematizando as quatro interpretações para a natureza da luz.			
42:45 - 44:05	147	Professor: Então você vai explicar aí para cada uma delas o que você entendeu. Se por exemplo, a luz era onda, né, como é que você explica a interferência, a experiência? Deixa eu ver... Olha aqui ó, a interpretação ondulatória. Então a luz, como é que você explica a luz na interpretação ondulatória? Como é que você explica a luz na interpretação corpuscular? Na interpretação da complementaridade e na dualista-realista? Aí depois como é que você explica a luz... a experiência do interferômetro utilizando a interpretação ondulatória. Então usando a explicação de ondas, como é que você explica a experiência? Usando, sendo a luz um corpúsculo, como é que você explica a experiência? E assim por diante. Tá? Então essas são as questões pra vocês fazerem. Vocês querem, o ideal era deixar ali pra vocês olharem. Vocês querem que deixe ali para vocês? [Professor refere-se as explicações das interpretações da projeção]	Pergunta explanatória sobre processos	Explorar	
44:05 - 44:07	148	Vitória: Aham. Melhor.			
44:07 - 44:09	149	Professor: Então beleza.			
44:09 - 44:10	150	[Alunos iniciam as atividades escritas]			

Notamos, nos turnos acima, que não houve oportunidade para argumentação dos estudantes sobre as interpretações e o professor dispõe de um tempo de fala de quase 5 minutos *sintetizando* cada uma delas. Como mencionado anteriormente, caracterizamos episódio de E1 e também ED1, pois a estudante Vitória demonstra empenho na realização da tarefa solicitada pelo professor.

No turno 147, sem a problematização discutida, o professor Romero busca *explorar* a visão dos estudantes sobre as interpretações da Mecânica Quântica, sem sucesso.

Quadro 34 – Trecho de falas da aula do professor Romero

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
44:11 - 44:13	151	Alice: Eu não entendi ainda.			ED1
44:14 - 44:17	152	Professor: Ah. Qual parte foi que você não entendeu?			
44:17 - 44:25	153	Alice: Tudo. É sério. Mas eu não entendi... Você entendeu tudo? [Dirigindo-se ao Jaime]			
44:25 - 44:26	154	Jaime: Mais ou menos.			
44:27 - 44:28	155	Alice: Então me explica.			
44:29 - 44:30	156	Jaime: Pergunta pro professor.			
44:30 - 44:33	157	Professor: O que você não entendeu, Alice?			
44:34 - 44:35	158	Alice: A luz é o que?			
44:36 - 44:38	159	Professor: Ah, então, essa é a pergunta.		Problematizar	
44:38 - 44:39	160	Alice: Eu não sei.			
44:40 - 44:50	161	Professor: Essa é a pergunta dessa questão. Tá? O que que é a luz, como você entende a luz? Essa é a questão.	Pergunta explanatória sobre processos	Problematizar	
44:51 - 44:56	162	Alice: Só que você não nos deu um texto e falou que a luz era uma onda eletromagnética.			
44:56 - 44:57	163	Professor: Sim.		Qualificar	
44:59 - 45:13	164	Alice: Mas por que que dizem que ela é partícula? Só porque ela não explicou o nome do... o nome do fenômeno que explica a onda mas não explica a matéria.			
45:14 - 45:16	165	Professor: Partícula. Corpúsculo.		Qualificar	
45:20 - 45:22	166	Alice: O que que é esse efeito fotoelétrico?			
45:23 - 46:21	167	Professor: Efeito fotoelétrico é esse efeito aqui. É o do vídeo. É aquele do vídeo [Professor mostra o vídeo anterior] Quando você bate a luz no metal e sai elétrons. Só que o problema é o seguinte: deveria sair elétron para qualquer luz. Tanto para luz branca, vermelha, verde, azul, amarela e assim por diante. Tá? Mas quando você bate a luz ali, algumas luzes, algumas cores não sai. Porque aquela cor tá associada com uma frequência. Quando bate a luz verde ou a luz vermelha não sai elétron. Você pode colocar uma luz vermelha bem forte, bem forte mesmo, não vai sair nada. Agora, o modelo ondulatório deveria explicar, mas não explica. Você fala assim, poxa vida, devera sair. Porque você lembra aquele negócio da ponte? Se você joga um vento fraco, a ponte não treme? Mas se você joga um vento mais forte, o que acontece com a ponte?	Pergunta de problematização	Sintetizar Problematizar	
46:22 - 46:23	168	Alice: A ponte treme.			

46:23 - 47:08	169	Professor: A ponte treme mais e cai, não é? E é a mesma coisa, se você joga uma luz mais forte, deveria sair elétron e ele não sai. Agora depende da cor da luz, da frequência. Se você joga uma luz roxa, uma violeta, o elétron sai na hora. Pode ser uma luz violeta fraca ou forte. Se você joga uma luz forte, sai mais elétrons, se você joga uma luz fraquinha sai elétrons também. Agora como é que você explica isso? Por exemplo, o elétron sai com uma luz fraca, violeta, quando você joga violeta fraca ele sai. Quando você joga um vermelho forte ele não sai.	Pergunta de problematização	Qualificar Sintetizar Problematizar	
47:08 - 47:09	170	Alice: Por que?			
47:09 - 47:14	171	Professor: Então, essa é a pergunta. Essa era a pergunta do Einstein.		Problematizar	
47:18 - 47:21	172	Alice: Então a cor violeta deve ter alguma coisa.			ED1
47:21 - 48:10	173	Professor: Então, o que que ele fala. O Einstein diz o seguinte, ó: a única explicação é assim: na luz vermelha, a luz vermelha é formada por partículas, essas partículas estão associadas com uma frequência. Quando é a luz roxa também têm partículas associadas a uma outra frequência. Quando você pega uma bola de bilhar, se você joga uma bola de bilhar e bate na outra, a bola sofreu uma parada... a ideia é mais ou menos essa. Entendeu? Porque naquele metal não tem um monte de elétrons? Se eu jogo uma bola de bilhar ali, o que acontece com esse elétron?	Pergunta de problematização	Sintetizar Problematizar	
4813: - 48:15	174	Alice: O elétron vai sair.			
48:15 - 48:34	175	Professor: Exatamente. Sai. Essa é a ideia do Einstein. Então ele fala assim ó, existem algumas bolas de bilhar que seu jogo uma bolinha de gude pequenininha, a bola de metal não sai, e o fóton tem que ser bolas certinhas. É isso que ele fala.		Qualificar Sintetizar	
48:34 - 48:35	176	Alice: Ahh...			
48:38 - 48:40	177	Professor: Entendeu mais ou menos ou não entendeu?			
48:40 - 48:41	178	Alice: Entendi.			
48:42 – 49:47	179	[Alunos fazendo as atividades]			

No turno 151, a estudante Alice demonstra ainda não ter entendido a atividade proposta. E, na sequência, ela expressa a dúvida central da discussão: “A luz é o quê?”. Notamos que no turno 161, o professor Romero buscar *problematizar*, através de pergunta explanatória sobre processos, a questão central da aula: o que é a luz. Mesmo com *perguntas de problematização*, e com o professor buscando *sintetizar* os conteúdos, no recorte acima fica claro que os estudantes não compreenderam o que foi solicitado na atividade, e até então não houve a possibilidade de argumentação por parte deles. Ou seja, não houve entendimento de que as quatro interpretações contemplam as explicações para os fenômenos observados, uma vez que os estudantes não compreenderam o caminho percorrido pelo professor até chegar ao momento da realização da atividade proposta. Em

relação aos episódios de EDP, caracterizamos ED1 à medida que Alice busca responder às perguntas (de maneira direta) realizadas pelo professor, bem como discutir as ideias propostas por ele.

4.2.4 Momento 4 da aula 10: nova retomada do IMZ

Como ainda há dificuldade por parte dos estudantes acerca do tema, o professor Romero retoma a experiência do IMZ. O momento 4 vai do turno 180 ao turno 216.[5]

Quadro 35 – Trecho de falas da aula do professor Romero

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
49:48 - 49:50	180	Professor: Vocês querem que eu volte a experiência?		Retomar	ED1
49:57 - 49:59	181	Alice: É, volta na explicação.			
50:03 - 50:31	182	Professor: Então olha só. Pode voltar lá? A experiência é essa daqui. [Professor retoma o interferômetro de Mach-Zehnder] A experiência é exatamente essa. Então olha só o que acontece. Quando eu jogo a luz, aparece isso. Isso é o que eu não consigo explicar. Por que eu não consigo explicar. Por causa... a explicação é essa daí. A luz não se comporta como onda?	Pergunta sobre dados	Retomar Sintetizar	
50:31 - 50:32	183	Alice: Aham.			
50:32 - 50:52	184	Professor: Pá, pá. Vem aqui, tal, bate aqui, bate aqui. Essa luz que vem por esse caminho, ela tem dois caminhos, ela tem esse caminho. E esse caminho é o caminho um e esse é o dois. Quando essa daqui, essa, essa que to passando o ponteiro do mouse, encontra com essa daqui ó, no outro caminho, tá vendo a interferência aqui ó?	Pergunta sobre dados	Retomar Sintetizar	
50:52 - 50:53	185	Alice: Uhum.			
50:54 - 50:58	186	Professor: Tem uma onda que encosta na outra. Neste caso, ele é partícula ou onda?	Pergunta sobre dados	Explorar	
50:58 - 50:59	187	Alice: Onda.			
51:00 - 51:15	188	Professor: É onda. Como é a figura que forma? A figura que forma é essa daqui. É essa figura. Tá vendo? Então, tudo que eu expliquei pra vocês, eu acabei de mostrar, a figura que vai formar é essa. O modelo ondulatório consegue explicar?	Pergunta sobre dados	Explorar	
51:16 - 51:17	189	Alice: Sim.			

[5] Ressaltamos que do turno 200 para o turno 201, o tempo de aula começa novamente no zero, pois ocorreu uma troca de câmera.

51:17 - 51:28	190	Professor: Consegue. O modelo ondulatório explica tranquilo. Por quê? Porque tem a crista da onda, tem a crista da outra onda. Quando uma crista encontra com uma outra crista, não dá interferência?	Pergunta sobre dados	Retomar	
51:28 - 51:29	191	Alice: Dá.			
51:28 - 51:37	192	Professor: Tem a crista de uma onda, tem o vale da outra, quando uma encontra com a outra, não dá uma interferência também?	Pergunta sobre dados	Retomar	
51:37 - 51:38	193	Alice: Dá.			
51:38 - 52:02	194	Professor: Uma destrói a outra, né. Quando as duas são assim... Beleza. Então essa explicação aqui, essa daqui, você explica com a luz, tranquilo. A interferência luminosa. Agora o problema é: quando eu jogo elétrons ou quando eu jogo fótons, na verdade, eu vou jogar fótons, olha só. Isso aqui não é um muito parecido com isso? [Professor mostra na projeção o interferômetro]	Pergunta sobre dados	Retomar	
52:02 - 52:03	195	Alice: É.			ED1
52:03 - 52:41	196	Professor: Só que se eu estou jogando fótons, vocês fizeram essa experiência, não fizeram? No simulador? Tá aqui ó. Tem até aqui essa experiência. O problema é quando eu jogo fótons, como é que o fóton, deixa ver se eu, tá aqui ó. A experiência é essa. Vou até mostrar aqui ó, então ó, o laser, né, ligado, ó, tá vendo? [Professor mostra a experiência na projeção] Você consegue explicar isso por onda? Consegue.	Pergunta sobre dados	Retomar	
52:41 - 52:42	197	Alice: Sim.			

Esse episódio tem em seu total 19 turnos intercalados com falas do professor e falas da estudante Alice. Do tempo total de fala do episódio, apenas 10 segundos são falas de Alice, contendo respostas curtíssimas: “aham; dá; onda; uhum; sim; é”.

Um dado que nos chama a atenção é o fato do experimento com o IMZ, um dos aspectos centrais desta aula, ser retomado pelo professor apenas a partir do turno 180, passando mais de 50 minutos do início das discussões da aula e após os estudantes já terem iniciado a atividade em que devem discorrer sobre as quatro principais interpretações dadas à luz pela Mecânica Quântica. É através do experimento do IMZ (discutido nas aulas anteriores) que os estudantes devem reconhecer que existem diferentes interpretações sobre o comportamento da luz.

Nesse episódio, caracterizamos na fala dos estudantes a presença de indicadores ED1, pois, mesmo que de forma monossilábica, Alice procura responder às perguntas do professor. Os tipos de perguntas em sua totalidade eram sobre *dados*, e com o intuito de *retomar* e evidenciar novamente os conceitos explicitados pelo professor. Vemos aqui, novamente, o esforço do professor Romero em *retomar*

conceitos sobre os fenômenos discutidos nas aulas anteriores, para que possam aprofundar a discussão sobre as interpretações da Mecânica Quântica.

Quadro 36 – Trecho de falas da aula do professor Romero

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
52:43 - 52:48	198	Professor: Agora o problema é, vou jogar fóton. Tá vendo que eu estou jogando fótons?	Pergunta sobre dados	Problematizar	ED1
52:48 - 52:49	199	Alice: Sim.			
52:50 - 53:16	200	Professor: Olha lá. Se a gente tiver, daqui um tempo, olha o que vai acontecer daqui um tempo. O laser, olha o laser. Como é que você explica como um laser? Ó, vem o feixe, olha lá, tá vendo? Indo pelos dois caminhos? Você explica pelo laser da seguinte maneira: tá tendo uma interferência aqui e tem uma interferência aqui.	Pergunta sobre dados	Problematizar	
0:03 - 0:40	201	Professor: Como que é a interferência... O eu tá indo por esse caminho, e o que tá indo por esse caminho, interferem e dá essas duas figuras, não dá? Agora o problema é: o laser não vai pelos dois caminhos? Agora o problema é: quando eu jogo o fóton, a partícula. A partícula ela ou vai por esse caminho ou vai por esse. Por exemplo o ônibus, um ônibus vai pra Guarulhos, pro centro de Guarulhos. Ele vai ou pelo caminho da Tiradentes ou pelo caminho da Monteiro Lobato, não é?	Pergunta sobre dados	Problematizar	
0:40 - 0:41	202	Alice: É.			
0:41 - 0:45	203	Professor: Tem como um ônibus ir pelas duas avenidas ao mesmo tempo?	Pergunta sobre dados	Problematizar	
0:45 - 0:46	204	Alice: Nenhum.			
0:47 - 0:53	205	Professor: Olha só aqui. Tem como um ônibus ir por esse caminho e o ônibus ir por esse caminho?	Pergunta sobre dados	Problematizar	
0:54 - 0:55	206	Alice: Não.			
0:55 - 0:57	207	Professor: Agora o fóton, o laser.			
0:57 - 0:58	208	Alice: Vai dividir.			
0:58 - 0:59	209	Professor: O laser não divide?	Pergunta sobre dados	Problematizar	
0:59 - 1:00	210	Alice: Divide.			
1:00 - 1:08	211	Professor: A luz, a onda divide. Quando junta aqui. Não dá a interferência?	Pergunta sobre dados	Qualificar Sintetizar	
1:08 - 1:09	212	Alice: Dá.			
1:09 - 2:36	213	Professor: Dá a interferência. Dá a interferência. Porque a onda divide. Agora o fóton que é partícula não divide. Olha, tá vendo desse lado, onde tem a tabelinha? O que eu estava dizendo pra vocês né? Deixa... Não vai dar pra mostrar...Não tá dando. Então olha só o que acontece. Desse lado de cá, da tabela, tá escrito detector um, dois e três. Então aqui tá escrito assim: Anteparo um. Pelo anteparo um, que é esse daqui ó, estão batendo oitenta elétrons, oitenta fótons. E aqui está batendo oitenta também. Só que está saindo daqui	Pergunta sobre dados	Sinterizar	

		cento e sessenta. O que que está acontecendo? Uma parte está vindo pra cá... uma parte está vindo pra cá, mais ou menos a metade. Então o que acontece, de alguma maneira, eles estão fazendo aparecer essa figura aqui ó. Vou ir mais rápido só para você ver, tá vendo? Como é que aparece essa figura aqui ó? Essa figura não é uma figura de interferência?			
2:36 - 2:37	214	Alice: É.			
2:38 - 3:18	215	Professor: Porque olha, tá interferindo né? Como é que pode ter uma figura de interferência de um ônibus com outro ônibus? [Longa pausa]. Não tem problema, escreve do jeito que você imagina, do jeito que você explica não tem problema. Tá?	Pergunta sobre dados	Sinterizar	
3:18 - 3:34	216	[Alunos fazendo atividades]			

O episódio acima inicia com o professor (T198) *problematizando* a situação em que há apenas um fóton no IMZ: “Agora o problema é: vou jogar fóton. Tá vendo que eu estou jogando fótons?”. Logo após abordar o padrão de interferência, inferindo que a onda percorre os dois caminhos, ele aborda o caráter corpuscular da luz: “Agora o problema é: o laser não vai pelos dois caminhos? Agora o problema é: quando eu jogo o fóton, a partícula. A partícula ela ou vai por esse caminho ou vai por esse”.

Nesse momento, o professor realiza *pergunta sobre dados* e *problematiza*, utilizando o exemplo de um ônibus que não pode seguir ao mesmo tempo por dois caminhos. Mesmo através de perguntas simples e diretas, o professor busca uma nova problematização. Após as respostas diretas de Alice, no turno 207, o professor aborda o fóton e em seguida a estudante Alice (T208) *levanta hipótese* dizendo que o fóton iria se dividir.

O professor, após *qualificar* a ideia de Alice, *sintetiza* por que ocorre o padrão de interferência, não permitindo que ocorra discussão sobre o surgimento da interferência.

Em seguida (T215), o professor solicita aos estudantes que descrevam como é possível ocorrer o padrão de interferência se a luz se comportar como um corpúsculo: “Como é que pode ter uma figura de interferência de um ônibus com outro ônibus?”.

Como no episódio anterior, caracterizamos na fala da estudante a presença de indicadores ED1, pois Alice procura responder de forma direta às perguntas do professor.

Quadro 37 – Trecho de falas da aula do professor Romero

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
3:35 - 3:37	217	Vitória: Professor, como é que explica a complementaridade?			
3:37 - 3:38	218	Professor: Essa daqui?			
3:38 - 3:40	219	Vitória: É. Pra eu entender o que que é. [Professor mostra os slides das interpretações]			
4:31 - 4:33	220	Alice: Professor, que experiência é essa daqui...			
4:33 - 4:34	221	Professor: Oi?			
4:34 - 4:38	222	Vitória: Professor, que experiência é essa daqui do interferômetro?			
4:39 - 4:42	223	Professor: É aquela que vocês fizeram na semana passada. É essa daqui, ó. [Professor mostra o slide da experiência]		Retomar	
4:32 - 4:47	224	Vitória: Ah, tá. É tanto no fóton...			
4:48 - 5:08	225	Professor: Esse é o fóton, olha...[Inaudível] Não, deixa eu ver. Mostra pra mim.		Retomar	
5:09 - 5:16	226	Vitória: [Vitória aponta na folha a questão] Aqui então é onda e aqui é o fóton. Porque eu sei que é o fóton porque ele incita. Mas aqui... [Inaudível]... Qual experiência?			ED1
5:17 - 5:48	227	Professor: [Lendo a questão] A experiência... A explicação da experiência do interferômetro para um fóton. Não, na do meio você vai explicar a experiência. Pode ser com o fóton, ou pode ser com a onda. Pode ser com o modelo corpuscular ou com outro modelo. Você vai explicar. No de baixo você vai explicar só usando a ideia da partícula.		Retomar	
	228	[Alunos fazendo as atividades]			

Após o questionamento da aluna Vitória, o professor Romero utiliza do propósito epistêmico *retomar* para solucionar as dúvidas da estudante. Não identificamos os tipos de perguntas, pois no nosso entendimento não houve questionamentos por parte do professor Romero.

Quanto aos indicadores de EDP, mesmo respondendo de forma simples, podemos afirmar que houve a presença de ED1, na medida em que as estudantes estavam buscando hipóteses para o entendimento do comportamento do fóton, relacionando o padrão de interferência formado e seu caráter corpuscular.

4.2.5 Momento 5 da aula 10: explicações por parte dos estudantes sobre as quatro interpretações da Mecânica Quântica

O quinto momento da aula abrange os turnos 229 a 332. O momento 5 tem início a partir de uma dúvida expressa por uma estudante sobre a realização das tarefas.

Quadro 38 – Trecho de falas da aula do professor Romero

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
7:48 - 7:50	229	Alice: Professor, qual a experiência... [Inaudível]			ED1
7:50 - 7:52	230	Professor: O que tem, não entendi.			
7:52 - 7:53	231	Alice: Qual a experiência...			
7:54- 8:02	232	Professor: A do interferômetro? É aquela que tem a luz que vai por um lado ou por outro. É aquela experiência da semana passada. Você lembra do simulador?	Pergunta sobre dados	Retomar	
8:03 - 8:04	233	Alice: Sim.			
8:08 - 8:10	234	Débora: Não entendi essa daqui. [Aluna aponta para a folha]			
8:12 - 8:13	235	Professor: O da complementaridade?			
8:13 - 8:14	236	Débora: É.			
8:14 - 9:12	237	Professor: Uma delas é o seguinte, que a luz se comporta ou como uma coisa ou como outra. E na outra, a luz se comporta de um jeito e de outro. Então, é... A luz pode ser uma coisa e outra ou a luz pode ser uma coisa ou outra coisa. É isso o que ele tá perguntando. É assim ó: no primeiro caso, vamos supor que a luz seja uma onda, só onda, no segundo caso ele usa só partícula. Só partícula. No terceiro caso, deixa eu ver da complementaridade, no terceiro caso ela é uma coisa ou outra coisa. Não, desculpa, no terceiro caso ela é uma coisa e outra coisa. Ela é as duas juntas. No quarto caso ela é uma coisa ou outra. Tem hora que ela é uma coisa, tem hora que ela é outra, mas nunca as duas juntas.		Retomar Sintetizar	
9:12 - 9:13	238	Débora: Entendi.			
9:20 - 9:39	239	Professor: Tá? Então no primeiro ela é só onda, no segundo ela é só partícula, no terceiro ela é uma e outra e no quarto ela ou é uma ou é outra. [Apontando e perguntando para o Jaime] O que é luz pra você?	Pergunta explanatória sobre processos	Sintetizar Explorar	

As estudantes Alice e Débora ainda não compreenderam as interpretações e seguem com dúvidas. Porém, elas demonstram interesse na tentativa de responder às questões propostas pelo professor na atividade, caracterizando episódio de ED1. Novamente não ocorre debate para a construção de conhecimento acerca do tema,

e o professor sintetiza a dúvida da estudante, conforme observamos no turno 237, no qual o professor *retoma* e *sintetiza* a informação.

Em seguida, no turno 239, por meio de *pergunta exploratória sobre o processo*, o professor aponta para o estudante Jaime e o questiona: “O que é luz pra você?” com o intuito de *problematizar* o tema.

No entanto, tal discussão não se concretiza, como podemos constatar no diálogo presente no quadro 39. Nesse momento, o professor percebe o desinteresse de Jaime pela discussão e busca instigá-lo ao debate, através de *perguntas exploratórias sobre o processo*.

Quadro 39 – Trecho de falas da aula do professor Romero

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
9:40 - 9:42	240	Jaime: É essa daqui. [Apontando para a luminária do teto]			
9:43 - 9:44	241	Professor: Como é que você explica isso.	Pergunta exploratória sobre processos	Explorar	
9:44 - 9:48	242	Jaime: Sei lá... Hã?			
9:48 - 9:51	243	Professor: Se uma menina do terceiro colegial perguntar o que é luz, o que você fala?	Pergunta exploratória sobre processos		
9:52 - 9:55	244	Jaime: Eu falo assim: pergunta para o professor Xavier.			
9:56 - 9:58	245	Professor: Sério, o que você fala?			
9:59 - 10:01	246	Jaime: Eu falo que eu não sei, professor.			
10:00 - 10:02	247	Professor: E aí fala por que que você não sabe?		Explorar	
10:03 - 10:04	248	Jaime: Porque eu não sei, ué.			
10:04 - 10:05	249	Professor: O que você sabe de luz?	Pergunta sobre dados	Explorar	
10:06 - 10:07	250	Jaime: Depende.			
10:08 - 10:09	251	Professor: Depende do que?			
10:10 - 10:12	252	Jaime: Ah, deixa eu terminar aqui que eu falo. [Risos]			
10:35 - 10:37	253	Professor: Bom, então tá no terceiro ano e não sabe o que é luz.			
10:37 - 10:39	254	Jaime: Eu não sei não, professor.			
10:41 - 10:42	255	Professor: Você acha que merece passar?			
10:43 - 10:44	256	Jaime: É claro!			
10:58 - 11:00	257	Professor: Beleza, então me explica o que é luz e eu te passo.			
11:01 - 11:02	258	Jaime: Ah, para professor...			

11:10 - 11:14	259	Professor: Tá bom, agora me explica aí, o que é luz? O que você acha?	Pergunta exploratória sobre processos	Explorar	
11:14 - 11:18	260	Jaime: Eu tenho vergonha, eu sou tímido.			
11:20 - 11:23	261	Professor: Eu vou até arrumar uma namorada pra você hein, mas primeiro você me fala o que é luz.			
11:23 - 11:24	262	Jaime: Não precisa não.			
11:24 - 11:26	263	Professor: Não quer uma namorada? [Risos. Inaudível]			
	264	[Alunos fazendo as atividades]			
0:00 - 0:00	265	[Professor atende a porta]			

No trecho abaixo, ocorrem discussões interessantes. A estudante Débora lamenta não entender o que está ocorrendo (T268) e o estudante Fábio busca uma explicação para a interpretação da natureza da luz (T269). A partir daí, o professor Romero busca *explorar* essa ideia, inserindo a estudante Alice na discussão.

Quadro 40 – Trecho de falas da aula do professor Romero

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
0:07 - 0:09	266	Débora: [Perguntando ao professor] Professor, é assim... [Inaudível]			ED1 ED2 ED3 EDP1 EDP2
0:11 - 0:16	267	Professor: O que esse negócio da luz tem a ver com a caixinha, você lembra? O problema...	Pergunta sobre dados	Retomar	
0:17 - 0:21	268	Débora: Eu lembro. Mas eu não consigo... Entender.			
0:21 - 0:26	269	Fábio: É assim, ela é formada por... Pelos dois, pra mim professor.			
0:27 - 0:30	270	Professor: [Dirigindo-se para Fábio] Você também acha que ela é formada pelos dois? Por onda e por partícula?	Pergunta explanatória sobre processos	Explorar	
0:32 - 0:41	271	Fábio: [Balançando a cabeça, concordando que sim] Ah professor, porque a partícula, ela se une a...a outra partícula e forma um... Tipo uma matéria.			
0:42 - 0:44	272	Professor: [Dirigindo-se a Alice] Você acha que é uma onda o uma partícula?	Pergunta explanatória sobre processos	Explorar	
0:44- 0:48	273	Alice: [Inaudível] Eu fico em dúvida do que é. Eu quero que alguém me prove, que me prove.			
0:48 - 0:51	274	Professor: Então, mas como é que você explica o efeito fotoelétrico, por exemplo?	Pergunta explanatória sobre processos	Explorar	
0:52 - 0:54	275	Alice: Então me prove, me prove pra "mim" acreditar em você.			

0:55 - 1:06	276	Professor: Beleza, a luz é uma onda, né? É assim, se é uma onda, quando ela bate lá no metal, o vermelho, o vermelho bem forte deveria sair o elétron. Mas por que não sai?	Pergunta sobre dados	Retomar	
1:08 - 1:16	277	Alice: Porque Deus quis. Porque Deus não quis. Deus não quis que saísse com a luz vermelha. Pronto. Já era. Resolvi [Risos]			ED1 ED2 ED3 EDP1 EDP2
1:18 - 1:21	278	Professor: [Dirigindo-se a Juliana] E você, o que você acha? Ela é uma partícula ou é uma onda? Ou é as duas?	Pergunta explanatória sobre processos	Explorar	
1:21 - 1:28	279	Juliana: Eu acho que ela é uma partícula e onda, só que não ao mesmo tempo. Ela pode aparecer das duas formas, só que não ao mesmo tempo.			
1:28 - 1:29	280	Professor: Ela é uma coisa...		Explorar	
1:29 - 1:31	281	Juliana: E outra, só que não ao mesmo tempo.			
1:31 - 1:32	282	Professor: Tá, então...		Sintetizar	
1:32 - 1:33	283	Juliana: Isso.			
1:33 - 1:35	284	Professor: Ela é uma coisa ou é outra.		Qualificar	
1:35 - 1:36	285	Alice: Mas ela pode se mudar?			
1:37 - 1:48	286	Professor: [Dirigindo-se a Juliana] Então você tá achando que é dualista-realista? E ela tá achando que é a complementar [Apontando para a Débora]. Vocês duas estão achando que a luz é onda ou...	Pergunta explanatória sobre processos	Explorar	
1:49 - 1:54	287	Débora: Não, a luz é onda. Mas com isso ela se divide em partículas.			
1:54 - 1:56	288	Professor: Então ela é as duas coisas ao mesmo tempo.		Qualificar	
1:56 - 1:57	289	Débora: É.			
1:57 - 2:00	290	Professor: [Dirigindo-se a Juliana] Você tá achando que ela é uma coisa ou outra.	Pergunta explanatória sobre processos	Qualificar	
2:00 - 2:05	291	Juliana: Ela pode ser porque ela tem as duas formas, só que não ao mesmo tempo, como nas experiências.			
2:05 - 2:07	292	Professor: Tá, mas não ao mesmo tempo?	Pergunta explanatória sobre processos		
2:07 - 2:17	293	Juliana: Isso. Nas experiências, tinha uma que mostrava a luz em partículas e a outra... Que... Em ondas.			
2:17 - 2:34	294	Alice: Tá, tudo bem... eu vou pelo raciocínio dela [Apontando para a Juliana] Que é lógico. As duas não podem ser ao mesmo tempo porque seria estranho. Uma nova... Não tem lógica deixar os dois ao mesmo tempo. Os dois, dois... Pode ser. [Apontando para a Juliana] Ou uma ou outra.			
2:34 - 2:36	295	Professor: Por que você mudou de ideia? [Referindo-se a Alice]	Pergunta explanatória sobre processos	Explorar	

2:37 - 3:13	296	Alice: Porque. Porque professor... Você falou do efeito fotoelétrico. Tá tudo bem. Eu não consigo explicar porque eu não sei. Mas agora com o da partícula, a gente, você me explicou também, que dá pra é... que vai sair, tem que ser uma bolinha que tem que acertar pra mover. Tá. Se eu pensasse nas duas como uma só fica estranho, não faz muito sentido. Como se pode ter uma coisa só? Agora uma pode ser e a outra depois mudar. Uma ou outra. Não é? Então me fala professor, o que significa.			ED1 ED2 ED3 EDP1 EDP2
3:14 - 3:18	297	Professor: Pode ser uma coisa ou pode ser outra... exatamente. Pode não ser também.		Qualificar	
3:19 - 3:20	298	Alice: Isso é cruel.			
3:20 - 3:24	299	Professor: Então, mas aí é uma opinião sua, o que você gostaria de saber.			
3:24 - 3:25	300	Alice: Eu vou pesquisar na internet.			
3:26 - 3:29	301	Professor: Não. Você, ó. Você tá no terceiro colegial, tem que se formar e saber o que é luz.			
3:30 - 3:33	302	Alice: Então, vou lá na internet e procuro o que que é luz.			
3:35 - 3:40	303	Professor: Se você fosse criar um site na internet, você concorda que alguém escreveu algo na internet?			
3:40 - 3:41	304	Alice: Uhum.			
3:41 - 3:45	305	Professor: Alguém tem que escrever. Tá lá. Se fosse pra você escrever, o que você escreveria?			
3:46 - 3:52	306	Alice: Ah, eu ia colocar que são as duas só que não ao mesmo tempo.			
3:52 - 3:54	307	Professor: As duas só que não ao mesmo tempo?	Pergunta explanatória sobre processos	Explorar	
5:54 - 3:58	308	Alice: É. Só que outras pessoas devem ter opinião diferente da minha.			
3:59 - 4:01	309	Professor: Legal, elas duas tem opinião diferente de você. [Professor aponta para as Juliana e Débora]		Qualificar	
4:02 - 4:06	310	Alice: Ah, tudo bem. Então o que que você vai me dizer, se é ou não é?			

Ao perceber que a estudante Débora busca encontrar respostas para a resolução das atividades, o professor Romero realiza *pergunta sobre dados* e *retoma* a discussão. Débora (turno 268) e Fábio (turno 269) participam da discussão e Fábio emite a sua conclusão. Ao perceber, o professor Romero, dessa vez, passa a *explorar* a visão de Fábio, através de *perguntas exploratórias sobre processos* e insere a estudante Alice na discussão. Em seguida, ele insere outra estudante no debate, Juliana, para *explorar* a visão dela sobre a luz. Evidenciamos nesse episódio os indicadores de ED1 e ED2, pois além da construção de relações explicativas e,

em conjunto, há a presença de características emocionais relacionadas às ações para a resolução do problema (turno 275).

Notamos aqui que a estudante Alice parece incomodada com a situação e fornece uma resposta fora do contexto da explicação científica, conforme turno 277: “Porque Deus quis. Porque Deus não quis. Deus não quis que saísse com a luz vermelha. Pronto. Já era. Resolvi [Risos]”. Nesse turno específico, entendemos que, após não obter respostas sobre o fenômeno, Alice está irritada com a situação, caracterizando a presença de características emocionais relacionadas às ações para a resolução do problema (ED3).

O turno 279 é importante, pois a estudante Juliana emite sua opinião e oferece uma explicação acerca da natureza da luz: “Eu acho que ela é uma partícula e onda, só que não ao mesmo tempo. Ela pode aparecer das duas formas, só que não ao mesmo tempo.”.

O professor continua com *perguntas explanatórias sobre o processo*, com o intuito de explorar mais essa explanação feita por Juliana. Por meio dessas ações, o professor Romero garante uma discussão sobre a natureza da luz, fazendo com que diversos estudantes emitam suas conclusões e discutam sobre a sofisticação de ideias e construção de relações explicativas para os fenômenos estudados. No turno 291, a estudante percebe essa inconsistência da interpretação dualista para a natureza da luz. Esse raciocínio faz com que sua colega Alice acabe mudando de ideia, conforme vemos no turno 296.

Caracterizamos aqui episódios de EDP1 e EDP2, pois há trabalho colaborativo entre as estudantes Juliana e Alice na construção da explicação e reconhecimento de limites nas suas aplicações. Entretanto, essa discussão acerca da natureza da luz não se prolonga, como podemos identificar no quadro abaixo.

Quadro 41 – Trecho de falas da aula do professor Romero

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
4:07 - 4:18	311	Professor: Quem vai te dizer é o problema da caixinha. Vou fazer uma outra pergunta: como você imagina que é um elétron? O que seja um elétron.	Pergunta de problematização	Retomar	ED1 ED2
4:18 - 4:19	312	Alice: Não sei.			
4:20 - 4:22	313	Professor: Como é que um professor de Química desenha um elétron na lousa?	Pergunta de problematização	Retomar	

4:23 - 4:26	314	Alice: Desenha uma bolinha assim, um negócio assim... [Desenhando na carteira]			ED1 ED2
4:27 - 4:30	315	Professor: Então... Eu não poderia desenha o elétron como se fosse um cachorrinho?	Pergunta de problematização	Retomar	
4:32 - 4:33	316	Alice: Não.			
4:33 - 4:34	317	Professor: Por que não?	Pergunta de problematização	Retomar	
4:34 - 4:36	318	Alice: Por que é desse jeito. [Apontando para a carteira]			
4:37 - 4:38	319	Professor: Alguém já viu um elétron?	Pergunta de problematização	Retomar	
4:38 - 4:39	320	Alice: Não.			
4:44 - 4:47	321	Juliana: Boa pergunta. Por que ninguém sabe que é desse jeito se ninguém nunca viu?			
4:47 - 4:50	322	Professor: Não, então essa é a pergunta. Deixa eu ver se outro professor está vindo. [Dirigindo-se até a porta da sala]			
4:58 - 5:03	323	Alice: Então tudo que me ensinaram é uma mentira?? Tudo que me ensinaram é uma mentira!!			
5:03 - 5:11	324	Professor: Então... Essa é a pergunta. Como é que você faz para... O aluno nunca viu o elétron. Por que o professor coloca a fórmula na lousa?	Pergunta de problematização	Retomar	
5:12 - 5:13	325	Alice: Ele imagina?			
5:13 - 5:14	326	Professor: Oi?			
5:14 - 5:15	327	Alice: Ele imagina.			
5:15 - 5:25	328	Professor: Mas no livro de Química também está uma bolinha, não tá? Então essa é a pergunta, como é que você fala que a luz é uma coisa ou é outra? Se ninguém nunca...	Pergunta de problematização	Retomar	
5:30 - 5:37	329	Alice: Ah... Eu cheguei a essa conclusão através das experiências. Porque uma mostra a luz de um jeito e outra mostra a luz de outro jeito.			
5:37 - 5:38	330	Professor: Como que você chegou?	Pergunta explanatória sobre processos	Explorar	
5:38 - 5:59	331	Juliana: As experiências. Tem uma experiência que mostra a luz como partícula e outra como onda, só que nenhuma delas demonstra as duas ao mesmo tempo, porque não tem lógica, não tem sentido. E eu vou continuar acreditando nisso até que alguém me prove o contrário. Ao mesmo tempo? Como?			
6:00 - 6:05	332	Alice: [Balançando a cabeça, concordando com a Juliana] A não ser que a gente tivesse uma experiência em que desse pra mostrar as duas. As duas.			

Na discussão citada acima, o debate sobre as interpretações é interrompido, pois o professor *retoma problematizando* a existência do elétron (turno 311). A partir daí, não ocorre o aprofundamento do EDP, ocorrendo apenas episódios de ED1 e

ED2, conforme a tentativa das estudantes de construir uma explicação acerca da natureza da luz, presente no debate sobre ideias e hipóteses, bem como a construção de um plano de trabalho colaborativo.

4.2.6 Momento 6 da aula 10: sistematização das quatro interpretações através do "sentido das coisas"

No momento 6, o professor Romero busca a sistematização da aula para o comportamento do fóton no IMZ, contudo ele não o faz por meio das Interpretações da Mecânica Quântica, mas sim propondo um exercício mental (explicado a seguir). Esse período da aula está relacionado com a aula 11 da SEI, denominada O SENTIDO DAS COISAS, que visa discutir com os estudantes a natureza da Ciência e da realidade física, e vai do turno 333 ao turno 356.

Quadro 42 – Trecho de falas da aula do professor Romero

Tempo	Turno	Falas transcritas	Tipos de pergunta	Propósitos epistêmicos	Indicadores de EDP
6:07 - 6:19	333	Professor: Vou mudar a pergunta. A pergunta que eu vou fazer é outra. Imagina que esse espaço tem uma floresta, uma floresta desabitada.		Problematizar	ED1
6:19 - 6:20	334	Alice: Hum			
6:21 - 6:37	335	Professor: Tem árvore, tal, riozinho bonitinho... Aí lá no meio da floresta uma das árvores, tem várias árvores, algumas são mais jovens, e algumas árvores são mais velhas. Aí de repente, só que não mora ninguém lá perto. De repente uma árvore cai. Consegue imaginar isso?	Pergunta de problematização	Problematizar	
6:37 - 6:38	336	Classe: Sim			
6:39 - 6:41	337	Professor: Então eu vou fazer uma pergunta. Posso fazer a pergunta?			
6:41- 6:42	338	Alice: Pode.			
6:42 - 6:46	339	Professor: Essa árvore que caiu, ela faz barulho? Ela emite som?	Pergunta de problematização	Problematizar	
6:47 - 6:48	340	Juliana: Emite			
6:48 - 6:49	341	Professor: Oi? Emite?			
6:49 - 6:50	342	Juliana: Emite sim.			
6:51 - 6:53	343	Professor: Como é que você sabe, que ela emite som?	Pergunta de problematização	Problematizar	
6:55 - 6:57	344	Alice: Porque ela caiu no chão.			

6:57 - 6:58	345	Professor: Você a ouviu?	Pergunta de problematização	Problematizar	
6:59 - 7:07	346	Alice: Não. Mas eu sei que vai emitir, porque se for em um lugar na terra, igual aqui e cair uma árvore vai fazer barulho.			ED1
7:09 - 7:12	347	Professor: Como é que você sabe que ela fez barulho se você não ouviu?	Pergunta de problematização	Problematizar	
7:14 - 7:16	348	Alice: Se for uma árvore grande...			
7:15 - 7:17	349	Fábio: Porque a gente imagina, professor.			
7:16 - 7:17	350	Professor: [Apontando para Fábio] Oi?			
7:17 - 7:19	351	Fábio: Porque a gente imagina.			
7:19 - 7:22	352	Professor: Como é que você sabe que o elétron é uma bolinha se você nunca viu?	Pergunta de problematização	Problematizar	
7:23 - 7:30	353	Fábio: Porque desde sempre todos passaram que é isso então a gente acabou acreditando que é isso, mas não tem...			
7:30 - 7:38	354	Professor: Vocês estão entendendo? A luz é uma onda ou uma partícula?	Perguntas de sistematização		
7:38 - 7:40	355	Alice: Não... Eu ainda não caí do cavalo.			
7:40 - 7:41	356	Professor: Beleza... Vamos parar...			
		[Final da aula]			

O professor Romero utiliza o experimento mental, descrito no livro do Prof. Osvaldo Pessoa Jr., sobre como podemos perceber a realidade da natureza através de uma árvore que cai em uma floresta, conforme observamos na discussão acima.

Basicamente, o professor faz uso de *perguntas de problematização* e a sua intenção é fazer com que os estudantes correlacionem o experimento mental com as interpretações da Mecânica Quântica, entretanto ele não obtém sucesso, pois não houve tempo de aula para continuar a discussão.

Notamos nos turnos acima que os estudantes respondem de forma curta e objetiva às perguntas feitas pelo professor. Como foi proposto um novo problema para os estudantes, a discussão anterior é encerrada e os estudantes levantam novas hipóteses e discutem sobre um novo plano de construção de trabalho, surgindo episódios de ED1.

4.2.7 Breves comentários acerca da aula 10 ministrada pelo professor Romero

O professor Romero inicia a aula *retomando* o conceito de alguns fenômenos ópticos e propondo um problema: o efeito fotoelétrico não é explicado pelo modelo ondulatório, ou seja, há necessidade de comprovar esse caráter dual da natureza da luz. Ao iniciar essa investigação, ele busca fazer a analogia com uma nova problematização: a existência do elétron. Com isso ele procura, através de *pergunta explanatória sobre processos*, investigar com os estudantes o caráter dual da luz.

Identificamos no último episódio do momento 1 casos de ED1 e ED2, pois há discussão sobre ideias e hipóteses para a construção de um plano de trabalho e há trabalho colaborativo para concretização de ações, proposições e/ou análise de ideias.

Entretanto essa investigação é interrompida no turno 62 pelo professor, pois ele conduz a discussão utilizando o exemplo binário homem/mulher. Essa discussão prolonga-se até o turno 110. Isso faz com o os indicadores de EDP evidenciados sejam E1 e E2. O final do momento 1 encerra-se com a apresentação de um vídeo sobre o efeito fotoelétrico.

O segundo momento da aula é caracterizado inicialmente com o professor realizando *pergunta sobre dados*, com o intuito de *retomar*, através do experimento do IMZ, o problema da interferência para um único fóton no interferômetro**,** baseando-se na apresentação do vídeo. Notamos que novamente surgem casos de ED1 e ED2 à medida que os estudantes participam da discussão. Ao final desse momento, por meio de *pergunta explanatória sobre processo*, o professor solicita que os estudantes emitam suas conclusões sobre os fenômenos, como podemos perceber em sua fala: “Antes de continuar com essa apresentação, eu gostaria que vocês fizessem umas questões pra responder, e depois eu vou mostrar pra vocês a finalização. Algumas explicações. Pode ser? Depois vai valer como nota pra vocês. Tá?”.

Observamos aqui que o professor não explorou o entendimento dos estudantes sobre os padrões de interferência e as figuras formadas, pois eles apenas assistiram ao vídeo sem debater as ideias e conceitos presentes nele, pois apesar da longa retomada do professor acerca da natureza da luz, não houve um aprofundamento, portanto, a incorporação do conceito.

Com isso, o momento 3 tem início com os estudantes sem compreenderem as interpretações da Mecânica Quântica, pois não foi discutido com eles, como observado na pergunta de um estudante: “Professor, o que que é complementaridade dualista-realista?”. Aqui percebemos o surgimento de episódios de apenas ED, pois os estudantes parecem não ter compreendido a atividade proposta pelo professor, uma vez que os fenômenos de interferência ainda não faziam sentido para eles, não sendo possível debater um novo problema.

O professor, ao perceber a dificuldade dos estudantes mediante as interpretações da Mecânica Quântica, *sintetiza-as* em uma longa explanação, não propiciando oportunidade para discussão com os estudantes. Novamente uma estudante demonstra que não ter entendido a atividade proposta, então o professor volta a *problematizar* a questão do efeito fotoelétrico. Ao perceber que os estudantes apresentam dificuldades para resolução das atividades, o professor busca *retomar* a experiência do IMZ. Entretanto, percebemos que as *perguntas sobre dados* que o professor faz, já possuem repostas direcionadas, como por exemplo: “Quando uma crista encontra com uma outra crista, não dá interferência? Tem a crista de uma onda, tem o vale da outra, quando uma encontra com a outra, não dá uma interferência também?”.

Com o avanço da discussão sobre o problema da interferência para um único fóton, notamos que não ocorre aprofundamento da discussão por parte dos estudantes, logo os episódios de EDP são apenas de ED1, isto é, discussões sobre ideias.

O momento 4 tem início com a fala de uma estudante que busca ainda compreender as explicações das quatro linhas interpretativas. O professor *retoma* os conceitos discutidos de interferência para garantir que os estudantes compreendam os fenômenos estudados para assim poder emitir explicações utilizando as quatro interpretações.

No momento 5, também começado por uma estudante, o professor busca *explorar* mais a visão dos estudantes acerca do caráter dual da luz: “Você também acha que ela é formada pelos dois? Por onda e por partícula?” Notamos aqui que ocorre uma interessante discussão por parte dos estudantes, como mencionado na análise do momento 5. Com isso novamente evidenciamos casos em sua maioria de ED1 e ED2, pois há discussão sobre ideias e hipóteses para a construção de um

plano de trabalho e há trabalho colaborativo para concretização de ações, proposições e/ou análise de ideias.

Os episódios de EDP surgiram quando o professor Romero buscou *problematizar* novamente a interferência para um fóton no IMZ, ao *retomar* os conceitos no momento 4. Com a retomada de conceitos sobre fenômenos corpusculares e ondulatórios no início da aula e discussão da experiência do IMZ, os estudantes parecem ter percebido existir incoerência nas teorias para explicar o caráter dual da luz e foram em busca de novas explicações, ocorrendo uma maior discussão sobre o tema. Nesse momento da aula, com o problema proposto, Romero *explora* mais a visão dos estudantes, utilizando *perguntas explanatórias sobre processos*, surgindo casos de EDP1 e EDP2 como observado na construção conjunta das explicações acerca dos fenômenos estudados.

No momento 6, o professor busca a *sistematização*, esperando que os estudantes correlacionem as interpretações na MQ com a natureza da ciência e da realidade física, através do experimento da árvore na floresta. Como um novo problema estava proposto aos estudantes, o nível de engajamento diminui para ED1, não sendo possível o seu desenvolvimento devido ao término da aula.

5 ENSAIO SOBRE AS AÇÕES OBSERVADAS E O ENGAJAMENTO DOS ESTUDANTES

Tendo em mente o Ensino por Investigação como abordagem didática defendida por Sasseron (2015), cabe aqui a retomada de alguns temas discutidos anteriormente.

O primeiro tema a ser abordado diz respeito aos aspectos relevantes presentes em uma SEI, apontados por Carvalho (2011), tais como:

- participação ativa do estudante;
- a importância da interação aluno-aluno;
- o papel do professor como elaborador de problemas;
- a criação de um ambiente encorajador,
- o conteúdo como algo significativo para o aluno.

Também se faz necessário retomar os quatro princípios norteadores que favorecem a criação de ambientes de aprendizagem que auxiliam na promoção do EDP.

- conceder autoridade aos estudantes;
- conceder aos estudantes responsabilidade para com os outros e com as normas disciplinares;
- prover os estudantes de recursos relevantes;
- problematizar o conteúdo.

Para facilitar a análise, recortamos cada aula em 6 momentos. “Dentro” destes momentos, fizemos recortes menores com o intuito de investigar os níveis de engajamento dos estudantes. Na grande maioria dos recortes, de ambas as aulas, o menor nível de engajamento encontrado foi o ED1 e o ED2, havendo raros episódios de E1, E2 e E3. Isso nos leva a imaginar que aulas de caráter investigativo possibilitam aos alunos, no mínimo, estarem engajados disciplinarmente com a aula.

Mesmo com ações diferentes para alcançar o objetivo da aula, podemos afirmar que ambos os professores concederam autoridade aos estudantes e criaram um ambiente que estimulava os estudantes a participarem da resolução do problema, ocorrendo uma maior interação aluno-aluno. Isso foi possível por meio da

utilização de tipos de perguntas como *pergunta de problematização e pergunta explanatória sobre processos* e dos propósitos epistêmicos *problematizar* e *explorar*.

Para utilizar um exemplo disso, os momentos 4 e 5 da aula do professor Romero começam com falas de estudantes que, mediante dúvida sobre a questão central sobre a luz (luz é onda ou partícula), sentiram-se confortáveis para dizer que não estavam entendendo o assunto.

Isto posto, vamos agora buscar entender como ocorreu o “aprofundamento do engajamento” dos estudantes. Segundo a análise, ambos os professores realizaram, basicamente, os mesmos tipos de ações: *tipos de perguntas* e *propósitos epistêmicos*. Em ambas as aulas, estão presentes todos os *tipos de perguntas* e *propósitos epistêmicos*. No entanto se os dois professores utilizaram os mesmos tipos de perguntas, os mesmos propósitos epistêmicos, por que na aula do professor Vicente ocorreram mais casos de EDP do que na aula do professor Romero?

Cremos que a resposta esteja na metodologia empregada pelo professor em sala de aula no que concerne à utilização das ferramentas analíticas (tipos de perguntas, propósitos epistêmicos e engajamento disciplinar produtivo) bem como nos momentos de uso de tais ferramentas, e não apenas na ação específica realizada pelo professor.

O que queremos dizer é que, através da nossa pesquisa, não vamos criar uma receita para que o professor, ao seguir, gere imediatamente casos de EDP em suas aulas.

Sabemos que o Ensino por Investigação permite que se desenvolva uma situação investigativa, auxiliando o estudante na construção do conhecimento científico por meio de um problema a ser resolvido. No entanto, somente a problematização do conteúdo não garante o surgimento de casos de EDP e sim se os estudantes realmente compreenderam o problema proposto em sala de aula.

Após a identificação dos casos de engajamento, realizada por meio da utilização das ferramentas de análise *propósitos epistêmicos* e *tipos de perguntas* evidenciamos que casos de EDP só foram possíveis porque os professores proveram os estudantes de recursos relevantes, através do propósito epistêmico *retomar* associado com *pergunta sobre dados*. Com isso, os professores, por meio de *perguntas de problematização* associadas ao propósito epistêmico *explorar*, buscaram explicações por parte dos estudantes. Após o problema compreendido por

todos, por meio de *perguntas explanatórias sobre o processo*, e sempre com o propósito epistêmico *explorar*, surgiram os episódios de EDP.

Como vimos, o Ensino por Investigação (EporI) como abordagem didática, e suas Sequências de Ensino Investigativa (SEI) possibilitam ao professor realizar a mediação entre os alunos e a construção do entendimento do conhecimento científico. Quando o professor concede autoridade, explora a visão dos estudantes, fornece subsídios teóricos a eles, elucida de forma clara o problema a ser investigado e realiza questionamentos, surgem casos de EDP.

Dessa forma, na tentativa de elucidar a pergunta realizada no início desse trabalho, a saber, “como se relacionam as ações realizadas pelos professores e o engajamento dos estudantes em uma aula investigativa de Física?” podemos afirmar que as ações e práticas docentes possuem uma relação direta no surgimento de episódios de EDP, dentro do processo de construção do entendimento do conhecimento científico presente em aulas investigativas.

Esperamos que a presente dissertação contribua no estudo e divulgação de novas propostas para o ensino de Ciências na Educação Básica, sobretudo o ensino de Física Moderna, assunto de extrema importância, não obstante ser pouco abordado no Ensino Médio.

REFERÊNCIAS

ABD-EL-KHALICK, F. et al. **Inquiry in Science Education: International Perspectives. Science Education**, v. 88, n. 3, p. 397-419, 2004.

ARAÚJO, Angélica Oliveira de. **O uso do tempo e das práticas epistêmicas em aulas práticas de química.** Dissertação (mestrado em Educação). Faculdade de Educação – UFMG, Minas Gerais, 2008.

BARRELO, J. R. N. **A argumentação no discurso oral e escrito de alunos do ensino médio em uma sequência didática de física moderna.** 2010. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (USP), 2010.

BRASIL. Ministério da Educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais gerais da Educação Básica.** Brasília: MEC, SEB, DICEI, 2013.

BROCKINGTON, G. **A realidade escondida: A dualidade onda-partícula para estudantes do ensino médio.** 2005. Dissertação (mestrado) – Instituto de Física e Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (USP), 2005.

BULGRAEN, Vanessa Cristina; O Papel do Professor e Sua Mediação nos Processos de Elaboração do Conhecimento. **Revista Conteúdo**, Capivari, v.1, n.4, ago./dez. 2010.

CARVALHO, A. M. P. (org.) **O Ensino de Ciências por Investigação**. **Condições para implementação em sala de aula.** São Paulo: Cengage Learning, 2013.

_____,. **Ensino de Ciências.** São Paulo: Cengage Learning, 2011.

CAZDEN, C. B. **Classroom discourse: the language of teaching and learning.** 2. ed. Portsmouth: Heinemann, 2001.

COLOMBO JUNIOR, P. D.; LOURENÇO, A. B.; SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Ensino de Física nos Anos Iniciais: Análise da Argumentação na Resolução de uma Atividade de Conhecimento Físico. **Investigações em Ensino de Ciências,** v. 17, p. 489-507, 2012.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos.** 4. ed. São Paulo: Cortez editora, 2011.

DUSCHL, R**.** Science Education in Three-Part Harmony: Balancing Conceptual, Epistemic and Social Learning Goals. **Review of Research in Education.** V. 32, p. 268-291, 2008.

DUSCHL, R.; SASSERON, L.H. Ensino de Ciências e as práticas epistêmicas: o papel de professor e o engajamento dos estudantes. In: **Investigações em Ensino de Ciências.** V21(2), p. 52-67, ago/2016.

ENGLE, R. A.; CONANT, F. R.. Guiding principles for fostering productive disciplinary engagement: explaining an emergent argument in a community of learners classroom. In: **Cognition and Instruction***,* v. 20, p. 399–484, 2002.

FERRAZ, A. T. **Propósitos epistêmicos para a promoção da argumentação em aulas investigativas de física**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

FERREIRA, D. A. Percursos para a construção da Teoria da Relatividade restrita nas abordagens dos livros didáticos de Física. **Trabalho de conclusão de curso** - Centro de Ciências e Tecnologia, departamento de Física, Universidade estadual da Paraíba, Campina Grande/PB, 2013.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa***.* 26. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FREIRE, F. A.; SILVA, A. C. T. ; BORGES, D. R. ; NASCIMENTO, E. D. O. Atividades Investigativas: um olhar sobre as práticas epistêmicas. In: GALIETA, T; GIRALDI, P. M. (Org.). **Linguagens e Discursos na Educação em Ciências**. 1ed. Rio de Janeiro: Editora Multifoco, p. 408- 421, 2014.

GIORDAN, M. **Computadores e linguagens nas aulas de ciências.** Ijuí: Ed. Unijuí, 2008.

GIORDAN, M. O computador na educação em ciências: breve revisão crítica de algumas formas de utilização. **Ciência & Educação**, 11, 2, 279-304, 2008.

GIORDAN, M., GUIMARÃES, Y. A. F., MASSI, L. Uma análise das abordagens investigativas de trabalhos sobre sequências didáticas: tendências no Ensino de Ciências. **VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências,** 2012.

HURD, P. D. Scientific Literacy: New Minds for a Changing World. **Science Education**, *82*(3), p. 407-416, 1998.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; BROCOS, P. Desafios metodológicos na pesquisa da argumentação em ensino de ciências. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. especial, p. 139-159, 2015.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P., Bugallo Rodríguez, A. e Duschl, R. A., ""Doing the Lesson" or "Doing Science": Argument in High School Genetics", **Science Education**, v.84, 757-792, 2000.

KELLY, G. J. Scientific literacy, Discourse and Epistemic Practices. In **Exploring the Landscape of Scientific Literacy;** Linder, C., Östaman, L., Roberts, D.,Wickman, P.-O., Erickson, G., Mackinnon, A., Eds.; Routledge: New York, NY, USA, p. 61–73, 2011.

KELLY. G. J. Inquire Learning and Teaching in Science Education, **ResearchGate**, p.1-6, jan. 2016.

KELLY, G.J.; Licona, P. Epistemic practices and science education, In Matthews, M. (Ed.), **HPS&ST anthology**, 2017.

KERLIN, S. C., SCOTT, P. M., J. KELLY, G. J.. Complexity of secondary scientific data sources and students' argumentative discourse. In: **International Journal of Science Education**, 2010, p.1207-1225.

KRASILCHIK, M. Reformas e Realidade: o caso do ensino de ciências. In: **São Paulo em Perspectiva**, 2000, n.14, v.1.

LEITÃO, S. O lugar da argumentação na construção do conhecimento em sala de aula. In: LEITÃO, S.; DAMIANOVIC J. (Orgs.). **Argumentação na escola: o conhecimento em construção**. Campinas, S.P: Pontes Editores. p. 13-46, 2011.

LEMKE, J. L. **Investigar para el futuro de la educación científica: nuevas formas de aprender, nuevas formas de vivir.** Enseñanza de Las Ciencias. Barcelona, v. 24, n.1, p. 5-12, mar 2006.

LEMKE, J. L. **Talking science: Language, learning, and values**. Norwood: Ablex Publishing Corporation, 1990.

LIBÂNEO, José C. **Didática**. São Paulo: Cortez , 1994.

LOCH, J.; GARCIA, N. M. D. A presença da Física Moderna e Contemporânea na organização de planos de trabalho docente. In: **XX Simpósio Nacional de Ensino de Física**, São Paulo/SP: 2013.

MACHADO, V. F. S. **A importância da pergunta na promoção da alfabetização científica dos alunos em aulas investigativas de Física**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MACHADO, V. F.; SASSERON, L. H. As perguntas em aulas investigativas de Ciências: a construção teórica de categorias. **Revista Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências**, v. 12, n.2, 2012.

MARTINS, L. M. de; RIBEIRO, J. L. D. Engajamento do estudante no ensino superior como indicador de avaliação. **Avaliação (Campinas)**, Sorocaba , v. 22, n. 1, p. 223-247, Apr. 2017 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141440772017000100223&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 28 Jun. 2018.

MEHAN, H. **Learning Lessons: social organization in the classroom.** Cambridge: Harvard University Press, 1979.

MERCER, N. **Construccion Guiada del Conocimiento.** Buenos Aires: Ediciones Paidós Ibérica, 1998

MORTMER, E. F.; SCOTT, P. H. Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. In: **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 283-306, 2002.

NOBRE, E. F.; JÚNIOR, M. C. S.; FONTELES, F. S. M.; SANTOS, J. O.; SALGADO, A. C. B. Como a Física Moderna está inserida no Ensino Médio? Disponível em <www.cienciamao.usp.br>. Acesso em: 29 novembro/2017.

OSBORNE, J. Defining a knowledge base for reasoning in Science: the role of procedural and epistemic knowledge. In Duschl, R. A., & Bismarck, A.S. (eds.) **Reconceptualizing STEM Education: the central role of practice**. New York, NY: Routledge, 2016.

PESSOA JR. O. **Conceitos de Física Quântica.** São Paulo: Livraria da Física, 2013.
POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o Ensino de Ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico.** 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

SASSERON, L. H. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. ***Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências****, v. 17, n. especial, p. 49-67, 2015.*

SASSERON, L. H. **Alfabetização científica no ensino fundamental**: estrutura e indicadores deste processo em sala de aula. 2008. 261f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SASSERON, L. H., CARVALHO, A. M. P. Construindo argumentação na sala de aula: a presença do ciclo argumentativo, os indicadores de alfabetização científica e o padrão de Toulmin. In: **Ciência e Educação.** Bauru: v. 17, n. 1, p. 97-114, 2011.

SASSERON, L. H., CARVALHO, A. M. P., Alfabetização científica: Uma revisão bibliográfica. In: **Investigações em Ensino de Ciências.** V.16, n. 1, p. 59-77, 2011.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Uma análise de referenciais teóricos sobre a estrutura do argumento para estudos de argumentação no ensino de ciências. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências***.* Belo Horizonte, v. 13, n. 3, p. 243-262, 2011.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Alfabetização científica desde as primeiras séries do ensino fundamental – em busca de indicadores para a viabilidade da proposta. In: **Atas Eletrônica do XVII SNEF***.* Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Luiz, p.1-10, 2007.

SCARPA, D. L. O papel da argumentação no ensino de Ciências: lições de um workshop. **Revista Ensaio**, v. 17, n. especial, p. 15-30, nov. 2015.
SILVA, A. C. T. Interações discursivas e práticas epistêmicas em sala de aula de ciências. In: **Revista Ensaio**. Belo Horizonte, v.17, n. especial, p. 69-96, nov., 2015.

_____. **Estratégias enunciativas em salas de aula de Química: contrastando professores de estilos diferentes.** Tese (Doutorado em Educação), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SILVA, A. C. T., MORTIMER, E. F. As estratégias enunciativas de uma professora de química e o engajamento disciplinar produtivo dos alunos em atividades investigativas. In: **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências.** São Paulo, v. 11, n. 2, p. 117-138, 2011.

SILVA, A.C.T. Interações discursivas e práticas epistêmicas em salas de aula de ciências. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. especial, p. 69-96, 2015.

SILVA, A.C.T. **Estratégias enunciativas em salas de aula de Química: contrastando professores de estilos diferentes***.* Tese de doutorado. Belo Horizonte, maio de 2008.

SOUZA, T. N. **Engajamento disciplinar produtivo e o ensino por investigação: estudo de caso em aulas de física no ensino médio.** Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

STROUPE, D. Describing “Science Practice” in Learning Settings. **Science Education**, v. 99, n. 6, p. 1033–1040, 2015.

TOULMIN, S. E. **Os usos do argumento.** São Paulo: Martins Fontes, 2. Ed., 2006

VIEIRA, F. A. C. **Ensino por Investigação e Aprendizagem Significativa Crítica: análise fenomenológica do potencial de uma proposta de ensino.** Tese (Doutorado em Educação para a Ciência), Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2012.

VIEIRA, R. D.; NASCIMENTO, S.S. **Argumentação no ensino de ciências:** tendências, ráticas e metodologia de análise. Curitiba: Appris, 2013.

VIGOTSKI, L.S. **Psicologia Pedagógica**. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

WINDSCHITL, M.; THOMPSON, M. B.; BRAATEN, M. Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. **Science Education,** v. 92, n. 5, p. 941-967, 2008.

ZÔMPERO, A. F., LABURÚ, C. E. Atividades investigativas no ensino de ciências: Aspectos históricos e diferentes abordagens. In: **Ensaio – Pesquisa e Educação em Ciências,** v. 13, n. 3, p. 67-80, 2011.

ANEXO A – A proposta de trabalho para o bloco de dualidade onda-partícula com alterações efetuadas

Do real clássico ao ideal quântico: Uma sequência de aulas para introduzir o tema dualidade onda-partícula no ensino médio. Informações gerais sobre a sequência de aulas (11 aulas)

A sequência se inicia com uma revisão das noções básicas de óptica clássica e de diferentes modelos para a luz (raio luminoso, modelo corpuscular e ondulatório). Após construir e ajustar o Interferômetro de Mach-Zehnder (IMZ); discutimos o comportamento da luz no interferômetro e seguimos explorando o interferômetro como experimento de pensamento com fótons únicos. Visamos assim estudar a dualidade onda-partícula, o princípio da complementaridade e a noção de superposição de estados quânticos contemplando a dimensão epistemológica do conhecimento físico.

Objetivos:

1) Incentivar o aluno a refletir:

- sobre a natureza do fenômeno quântico considerando-o a partir de uma abordagem relacional, ou seja, partindo de diferentes pontos de vista: do objeto observado, do instrumento de medida e do papel observador.
- sobre as implicações filosóficas da física quântica para o desenvolvimento do conhecimento físico.
- sobre o conhecimento físico e tecnológico como construção humana e a noção de realidade.

2) Desenvolver no aluno competências que deverão manifestar-se em suas habilidades para racionar matematicamente (formal), empregar conceitos adequadamente (conceitual) e observar e descrever objetivamente fenômenos físicos (fenomenológica).

3) Estimular o aluno a pensar e a argumentar criticamente desenvolvendo sua capacidade de trabalhar em grupo, socializar seu conhecimento, contrapor opiniões diferentes e expressar-se de maneira clara e direta.

Conteúdo Físico (11 aulas)

Conceitos de óptica geométrica: reflexão, refração, transmissão e propagação da luz Modelos para o comportamento da luz: raio, corpuscular e ondulatório Funcionamento do interferômetro. Interferência Laser, Fóton, Dualidade onda-partícula Interpretações de Mecânica Quântica.

Metodologia

- realização de aulas expositivas, demonstrações (professor).
- simulações experimentais (alunos)
- realização de atividades experimentais (trabalho em grupo)
- discussões em sala de aula
- uso de textos de apoio e de vídeos e DVDs educacionais.

Aula 1 : O universo físico

Objetivos:

▪ Apresentação da proposta de aulas para os alunos.

▪ Levantar as concepções dos alunos sobre as seguintes questões (questionário para responder em classe):

1. Como você explicaria o que é “física” para alguém que nunca estudou física?
2. O que é física quântica para você?
3. Você gostaria de aprender algo sobre física quântica? O quê? Por quê?

▪ Motivar os alunos a refletirem sobre o tema “a natureza do conhecimento físico”.

Conteúdos:

▪ O universo físico (o que existe no universo? O que existe no universo físico? Qual a diferença entre esses dois universos?).

▪ Trabalhar conceito de trajetória e caracterizar os “objetos tipo partícula” contrapondo- os aos “objetos tipo onda”.

▪ A natureza do conhecimento físico (como a física “funciona”? Qual o papel da observação, dos modelos, das leis gerais, da matemática, das representações

gráficas, etc.?)

Materiais e recursos:

- Apresentação da sequência didática (apresentação data-show: conhecimento físico).
- Questionário.
- Material para atividade do tatuzinho (tatuzinhos, tubos de mangueira transparente, réguas, papel milimetrado, cronômetro, etc.).

Momentos:

- O professor apresenta em linhas gerais os objetivos e o conteúdo das aulas da sequência de aulas.
- O professor apresenta o esquema do vetor epistemológico (apresentação data-show) discutindo brevemente o processo de construção do conhecimento científico e relacionando essa discussão com a construção do fenômeno quântico que será estudado ao longo dos quatro episódios epistemológicos.
- Os alunos respondem o questionário proposto pelo professor.

O professor propõe a atividade do tatuzinho:

- O professor fornece as instruções e o material necessário para a realização da atividade do tatuzinho.
- Os alunos trabalham em grupos na atividade do tatuzinho.
- O professor propõe e estimula uma discussão sobre a natureza do conhecimento físico baseado na atividade do tatuzinho de modo a levantar as concepções dos alunos sobre o que é relevante/irrelevante para o estudo do comportamento do tatuzinho do ponto de vista da física (ex. relevante: perceber a relação entre a distância percorrida e o tempo; irrelevante: considerar o estado emocional do tatuzinho).
- O professor sistematiza as ideias dos alunos sobre o que pertence ao universo e ao universo físico sistematizando a discussão sobre o conhecimento físico a exemplo da atividade do tatuzinho (ex. discute com os alunos o que essa atividade poderia significar para um biólogo, um físico, um psicólogo, um trabalhador rural, uma pessoa que não frequentou a escola etc.).

Aula 2: O nascimento da física quântica

Objetivos:

▪ Contextualizar o nascimento da física quântica (problema prático ligado a questão da radiação do corpo negro e da necessidade de adaptação da teoria aos dados experimentais).

Conteúdos:

▪ História da física antes de 1900 (modelo ondulatório bem estabelecido).

▪ História da física por volta de 1900 (problema: determinar a melhor fonte de luz para iluminar as cidades europeias: iluminação a gás ou iluminação elétrica recém descoberta; necessidade de comprar fontes luminosas diferentes: corpo negro como fonte de luz ideal, quantização da radiação por Planck: nascimento da física quântica).

Materiais e recursos:

▪ Apresentação data-show (o nascimento da física quântica).

▪ Textos de apoio para os alunos.

▪ Fontes luminosas diferentes (lampião de gás e luz elétrica comum).

Momentos:

▪ O professor apresenta em linhas gerais o modelo corpuscular de Newton e o modelo ondulatório salientando que esses dois modelos são contraditórios.

▪ O professor chama a atenção para o fato de que no final do século XIX, período que antecede o nascimento da mecânica quântica, o modelo ondulatório era o modelo aceito pela comunidade científica.

▪ O professor mostra as duas fontes luminosas (gás e eletricidade) e pede para que os alunos as comparem e determinem qual é que mais ilumina, qual consome mais energia, etc. (o professor salienta a dificuldade de uma avaliação subjetiva e a necessidade de realizar medidas mais precisas para comparar diferentes fontes luminosas).

▪ O professor apresenta e contextualiza o momento histórico de nascimento da mecânica quântica (problema prático era comparar duas fontes de luz diferentes e daí a necessidade de se utilizar uma fonte padrão de comparação, a fundação do instituto de física do reino em Berlim, as medidas dos espectros etc.).

Bloco Temático: Trabalhando com os componentes ópticos do interferômetro de Mach-Zehnder

Informações gerais sobre o bloco:

No primeiro episódio temático o tema central das aulas baseia-se na observação do comportamento de um feixe luminoso emitido por uma fonte laser ao interagir com espelhos planos, semiespelhos, lentes e anteparos opacos (componentes ópticos básicos para a construção de um interferômetro de Mach-Zehnder clássico).

Nesse bloco os alunos devem “experimentar” com objetos reais e concretos (espelhos, semiespelhos etc.) paralelamente com objetos de pensamento (modelos propostos para explicar o comportamento da luz como, por exemplo, o raio luminoso, o modelo corpuscular de Newton e o modelo ondulatório) e, assim, perceberem a diferença entre essas classes de objetos.

Aula 3: (trabalhar propriedades de reflexão, refração e propagação da luz e a idéia de raio como modelo para a luz)

Objetivos:

- Os alunos devem observar o comportamento do feixe luminoso ao se propagar no espaço e serem capazes de perceber que: a luz se propaga em linha reta, o feixe de laser sofre uma dispersão pequena ao longo de seu percurso até atingir um anteparo opaco e que, ao atingir o anteparo, o raio luminoso produz uma mancha clara praticamente homogênea sobre o mesmo.
- Os alunos devem observar o comportamento da luz ao interagir com o espelho e serem capazes de perceber e expressar oralmente (de forma qualitativa) a lei da reflexão: o ângulo de incidência é igual o ângulo de reflexão.
- Os alunos devem observar o comportamento da luz ao interagir com o semiespelho e serem capazes de perceber e expressar oralmente o fato de que o feixe luminoso ao interagir com o semiespelho é dividido em dois feixes de intensidades aproximadamente iguais sendo que: o feixe que atravessa o semiespelho (feixe transmitido) sofre um desvio na sua direção de propagação e abandona o semiespelho numa direção de propagação paralela à da incidência inicial e o feixe refletido obedece a lei da reflexão.

▪ Os alunos devem utilizar o modelo de raio luminoso para esquematizar em um desenho o comportamento da luz ao interagir com o espelho e com os semiespelho.

▪ Os alunos devem ser capazes de diferenciar feixe e raio luminoso (feixe: algo real ligado a nossa percepção sensorial e raio: objeto construído mentalmente, sem dimensão).

Conteúdos:

▪ Reflexão, refração, transmissão e propagação do feixe de luz.

▪ Conceitos de feixe e raio luminoso.

Materiais e recursos:

▪ Componentes ópticos necessários para a construção de um interferômetro de Mach- Zehnder (fonte de laser, dois espelhos planos, dois semiespelhos, dois anteparos opacos).

▪ Talco ou pó de giz para refletir o feixe de laser.

Dicas para o professor:

▪ As atividades propostas no presente episódio temático devem, se possível, ser realizadas em uma sala escura.

▪ Se não houver material suficiente para que os alunos realizem as atividades propostas em grupos, o professor pode realizá-las como demonstração. Neste caso, se possível, usar uma câmera de vídeo para captar a imagem dos experimentos feitos pelo professor e projetá-la em uma tela para que todos os alunos possam observar e interagir com as ações do professor durante as demonstrações experimentais.

▪ ATENÇÃO: alertar os alunos para os perigos da utilização do laser (nunca olhar diretamente para o feixe!).

Momentos:

1) O professor propõe que os alunos realizem em grupos de aproximadamente 5 componentes:

▪ Projetar o feixe de laser sobre o espelho variando o ângulo de incidência.

OBS: para visualizar a trajetória do feixe pode-se espalhar um pouco de talco ou pó de giz na região.

▪ Observar o comportamento do feixe refletido buscando estabelecer uma relação entre o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão.

▪ Desenhar numa folha de papel o que foi observado.

▪ Repetir o procedimento descrito anteriormente utilizando um semiespelho (iniciar com ângulo de incidência de aproximadamente 45º) buscando estabelecer uma relação entre o feixe incidente e os feixes transmitidos e refletidos.

2) O professor faz as seguintes demonstrações em sala de aula (ou propõe que os alunos as realizem em grupos):

▪ Projetar o feixe de laser sobre um anteparo opaco colocado a aproximadamente 5 m da fonte.

▪ Comparar o diâmetro do feixe próximo a fonte com o diâmetro do feixe sobre o anteparo.

OBS: o laser não deve apresentar uma dispersão grande.

▪ Desenhar o que foi observado.

OBS: A intenção é que os alunos percebam que a noção de feixe se diferencia da noção de raio. Numa experiência de pensamento podemos reduzir a espessura do feixe de modo a obter um feixe tão estreito, que somente pode existir como uma construção geométrica. Esse não seria mais um feixe, mas sim um raio! A ideia é chamar a atenção dos alunos para o processo de modelagem do feixe transformando-o em raio e, então, estender essa discussão para o espelho, o semiespelho, os anteparos etc. O que é um espelho ideal? (não tem dimensão, não há perda de energia etc.).

Aula 4: (modelo corpuscular de Newton X modelo ondulatório)

Objetivos:

▪ Os alunos devem conhecer diferentes modelos para a luz: raio, o modelo corpuscular e o modelo ondulatório.

▪ Os alunos devem reconhecer as diferenças entre os modelos e perceber as limitações e os domínios de aplicação de cada modelo.

Conteúdos:

▪ Modelo corpuscular de Newton.

▪ Modelo odulatório.

Materiais e recursos:

OBS: os alunos devem trazer como tarefa realizada extraclasse uma pequena pesquisa sobre o tema: modelo corpuscular e modelo ondulatório.

▪ Laser e um anteparo com duas fendas (experimento simples de dupla fenda).

▪ Uma lata de tinta spray e um anteparo com duas fendas (analogia ao experimento de dupla fenda).

Momentos:

▪ O professor retoma os resultados da aula anterior solicitando que os alunos consultem as anotações que fizeram quando observaram o comportamento da luz no espelho, no semiespelho e no anteparo opaco e consultem também a pesquisa que realizaram em casa.

▪ O professor divide a classe em dois grupos: “grupo onda” e “grupo partícula” e promove um debate entre os dois grupos propondo que: o grupo ondas tente explicar os fenômenos observados na aula anterior com o modelo ondulatório e o grupo partícula com o modelo corpuscular.

OBS: é essencial que os alunos tenham feito anteriormente em casa uma pesquisa sobre o modelo ondulatório e o modelo corpuscular.

▪ O professor sistematiza as discussões na lousa e mostra que o modelo corpuscular (de Newton) apresenta limitações para explicar o fenômeno de refração e de interferência.

▪ O professor mostra o comportamento das partículas de tinta no experimento análogo de dupla fenda realizado com tinta spray e contrapõe esse ao experimento de dupla fenda com laser (aparecimento de um padrão de interferência) salientando que o fenômeno de interferência não pode ser explicado com o modelo corpuscular.

OBS: como alternativa ao experimento com o spray pode-se utilizar também um tabuleiro de Galton com duas fendas.

Bloco temático: Montando e ajustando o interferômetro de Mach-Zehnder Informações gerais sobre o bloco:

No segundo episódio temático o conteúdo central das aulas é a montagem, ajuste e observação do interferômetro de Mach-Zehnder.

Neste bloco de aulas os alunos devem perceber que as observações em física são imediatas. Fazemos hipóteses a priori.

Aulas 5 e 6: (observar o interferômetro de Mach-Zehnder clássico e real)

Objetivos:

▪ Montar o interferômetro de Mach-Zehnder.

▪ Observar os padrões de interferência (complementares).

▪ Adquirir habilidade experimental (ajuste no interferômetro). Conteúdos:

▪ O interferômetro de Mach-Zehnder (trabalhar dois grupos: MZ real clássico e simulação do MZ).

Materiais e recursos:

▪ Apresentação (nascimento do interferômetro de MZ).

▪ KIT interferômetro de Mach-Zehnder real clássico.

▪ Simulação do interferômetro de MZ.

Momentos:

▪ O professor apresenta brevemente o interferômetro de MZ e conta um pouco de sua história e de origem (a partir de um arranja experimental do interferômetro de Jamin).

▪ O professor divide a classe em dois grupos: um grupo vai trabalhar com o interferômetro real clássico e o outro com o interferômetro virtual (no laboratório de informática).

Para o grupo que vai trabalhar com o interferômetro real clássico:

▪ O professor apresenta o interferômetro de MZ real clássico e salienta a formação de padrões de interferência complementares chamando a atenção para a validade do modelo ondulatório como modelo adequado para explicar o comportamento da luz.

▪ O professor desmonta o interferômetro e propõe que os alunos em grupo montem e ajustem o aparelho de modo a obterem padrões de interferência semelhantes aos observados anteriormente.

▪ O professor pede que os alunos desenhem o esquema do interferômetro numa folha de papel e proponham uma explicação para o aparecimento de interferência baseada no modelo ondulatório.

Para o grupo que vai trabalhar com o interferômetro virtual:

▪ Simulação do interferômetro (software livre).

Bloco temático: Transformando o interferômetro de Mach-Zehnder real clássico em um interferômetro ideal

Aula 7: (modelando o interferômetro de MZ)

Objetivos:

▪ Os alunos devem ser capazes de perceber e listar os fatores que devem ser desconsiderados e os que precisam ser considerados no processo de modelagem do interferômetro de MZ (transformação do interferômetro real clássico em um interferômetro ideal).

Conteúdos:

▪ Modelagem do interferômetro de MZ

▪ Laser

Materiais e recursos:

▪ KIT interferômetro de MZ real clássico.

▪ Apresentação data-show (esquema do interferômetro de MZ ideal clássico).

• Guia para relatório.

Momentos:

▪ O professor apresenta novamente o interferômetro real e o interferômetro esquematizado e propõe uma discussão entre os alunos visando levantar suas argumentações sobre o processo de modelagem do interferômetro (o que é espelho, semi-espelho ideal, o que significa que o interferômetro está ajustado, a necessidade de uma fonte laser, etc.).

▪ Os alunos trabalham em grupos completando o guia para o relatório.

Aula 8: (a matemática do interferômetro de MZ)

Objetivos:

▪ Os alunos devem compreender o funcionamento do interferômetro de MZ e do modelo ondulatório para a luz a partir de uma modelagem matemática do fenômeno.

Conteúdos:

▪ Modelagem matemática do interferômetro de MZ. Materiais e recursos:

▪ Apresentação data-show (como funciona o interferômetro de MZ).

▪ Roteiro de trabalho (como funciona o interferômetro de MZ). Momentos:

▪ O professor apresenta a modelagem matemática do interferômetro.

▪ Os alunos trabalham em grupos completando a folha de trabalho.

Bloco temático: Transformando o interferômetro de Mach-Zehnder clássico em um interferômetro quântico

Aula 9: (construindo um interferômetro quântico)

Objetivos:

▪ Os alunos devem ser capazes de perceber e listar os fatores que devem ser desconsiderados e os que precisam ser considerados no processo de transformação do interferômetro ideal clássico em um interferômetro ideal quântico (exemplificando: o feixe luminoso deve ser tênue o suficiente para que somente um único fóton de cada vez percorra o interferômetro, os anteparos devem ser substituídos por detectores sensíveis o suficiente para registrar o fóton, etc.).

Conteúdos:

▪ Interferômetro de MZ quântico.

▪ Dualidade onda-partícula.

Materiais e recursos:

▪ Apresentação data-show (como funciona o interferômetro de MZ quântico).

▪ Roteiro de trabalho (como funciona o interferômetro de MZ quântico). Momentos:

▪ O professor retoma o esquema do interferômetro de MZ ideal clássico e discute com os alunos a transformação do interferômetro clássico em interferômetro quântico.

▪ O professor incentiva os alunos a perceberem o comportamento “estranho” do fóton e a problemática da dualidade onda-partícula.

▪ Os alunos trabalham em grupos completando o roteiro de trabalho.

Aula 10: (interpretações da mecânica quântica)

Objetivos:

▪ Os alunos devem conhecer quatro interpretações para o comportamento do

fóton no interferômetro de MZ.

▪ Os alunos devem perceber que nenhuma das quatro interpretações explica o comportamento do fóton de forma completamente satisfatória.

▪ Os alunos devem reconhecer que, embora não exista uma interpretação completamente satisfatória para o comportamento dual dos objetos quânticos, a teoria quântica é a teoria física mais bem-sucedida desenvolvida até hoje pelos físicos e que essa teoria não só fornece previsões experimentais corretas como também possui aplicações práticas.

Conteúdos:

▪ Interpretações para o comportamento do fóton no interferômetro de MZ (interpretação corpuscular, ondulatória, dualista-realista, complementaridade).

Materiais e recursos:

▪ Apresentação data-show.

Momentos:

▪ O professor apresenta as diferentes interpretações.

▪ O professor promove um debate entre os alunos. Os alunos trabalham em grupos e cada grupo deve defender uma das quatro interpretações apresentadas.

▪ O professor sistematiza a aula, salientando que nenhuma das interpretações é totalmente satisfatória para explicar completamente o comportamento do fóton no interferômetro.

Aula 11: O sentido das coisas

Objetivos:

▪ Discutir a natureza da ciência e da realidade física (nova visão de mundo da física quântica).

Conteúdos:

▪ Natureza da ciência e noção de realidade na física.

Materiais e recursos: questionário da sequência proposta por Brockington (recurso de ensino 3)

Momentos:

▪ O professor promove o debate, iniciando a discussão a partir das hipóteses dos alunos a respeito do que observaram na sala.

▪ O professor sistematiza a sequência de aulas, retomando a discussão da

primeira aula (o universo físico).

ANEXO B – Transcrição integral das falas ocorridas na aula 10 ministrada pelo professor Vicente

Tempo	Turno	Falas transcritas
0:01 - 0:02	1	Lucas: Professor.
0:04 - 3:30	2	Professor: Mais alguém não me entregou ainda a atividade da última aula? Bom pessoal, presta atenção. Vocês tão recebendo uma folhinha e a gente vai agora tentar sintetizar as discussões que a fez ao longo do ano e tentar interpretar um pouquinho o que ta acontecendo de fato, ta? Pra isso a gente vai continuar explorando o nosso interferômetro, certo? Pra isso nós vamos combinar o seguinte, nós vamos tentar fazer dessa forma, vocês viram que eu tirei aí do campinho, não é avaliação, ta certo? Não é prova, nem nada, é apenas um questionário que a gente vai tentar então sintetizar as ideias. A gente vai tentar fazer da seguinte maneira, a gente vai começar a discutir e a medida que a discussão for avançando, eu vou dando um tempinho pra que vocês respondam, preencham o quadro, ta? E aí no finalzinho da aula as três últimas questões, ta legal? Se não tiver dando certo isso, a gente faz toda a discussão e depois a gente completa a atividade. Não é pra copiar o que ta... O que vai aparecer no quadro, porque se não, não faz sentido. A gente vai conversar sobre e depois eu tiro da tela e a gente conversa, ta? Bom, na aula passada, nessa aula de hoje a gente começou a discutir um pouquinho o que a gente viu no interferômetro real e o que a gente viu na simulação. A gente vai explorar um pouquinho mais esse nosso interferômetro. Aí eu separei um pouquinho algumas imagens do nosso interferômetro [faz referência a apresentação PowerPoint ®]. Então, já ta identificado. Então, os semiespelho [aponta para a imagem do IMZ, fig. 1], que na verdade são vidros, né? A gente pode imaginar o semiespelho como sendo quando a gente olha pela janela ao entardecer ou então quando a gente olha pela manhã a gente, às vezes a gente enxerga nosso reflexo no espelho, mas também a gente enxerga o que ta lá do outro lado, ta? Tudo bem? Então, os dois semiespelhos e os dois espelhos. Foi esse o arranjo que a gente tem. Agora tem aí a imagem do que a gente... Ta bom, se fechar tudo fica muito escuro e a gente não consegue ver. Bom, aí eu separei então duas imagens, uma do interferômetro real e a outra do simulador [aponta para a imagem projetada, ver fig. 2], certo? Foi isso que a gente observou, certo? Foi isso que você viu, Bia?
3:31 - 3:32	3	Beatriz: Não.
3:34 - 3:37	4	Professor: Alguém enxergou uma figura parecida com essa do real?
3:39 - 3:40	5	Priscila: Não.
3:40 - 3:41	6	Professor: Ninguém?
3:41 - 3:42	7	Alunos: Não.
3:42 - 3:48	8	Professor: Nem naquela outra experiência que a gente usou só um laser e um tecido como rede de difração?
3:48 - 3:49	9	Aline: Sim. Eu.
3:49 - 3:52	10	Professor: Que a gente projetou lá na parede ou no quadro?
3:56 - 3:59	11	André: Era assim, desse jeito. [mostra a mão indicando forma de círculos de diferentes tamanhos com os dedos, indicador e polegar direito]
4:00 - 4:08	12	Professor: Era assim que tava? Ah, tirei. Não, é que eu ia apresentar pra vocês tinha uma outra imagem. Fala, André.
4:09 - 4:12	13	André: Era tipo... Um monte. Um monte não, não sei...
4:12 - 4:14	14	Professor: Uma do lado da outra, não é isso?
4:14 - 4:15	15	André: É.

4:15 - 5:38	16	Professor: É que eu tirei a foto daqui agora, ta no outro computador. A outra possibilidade, tinha uma outra foto, ao invés da gente enxergar dessa forma, a gente enxergava mais ou menos isso aqui [aponta para uma imagem semelhante ao resultado obtido pela simulação, fig. 2], como disse o André. Também a gente tinha essa observação... Bom, aí lá na nossa experiência, pedi pra que vocês identificassem. Era essa identificação que a gente tinha. E foi pedido pra vocês desenharem aí como é que era o caminho que tava sendo percorrido pela luz [dentro do IMZ]. E aí a simulação mostrava pra vocês como duas frentes de onda, certo? Aí a pergunta feita, não tá no textinho, não tá no roteiro, a gente colocou um anteparo aqui [aponta para um ponto entre o espelho E1 e o semiespelho S2, ver fig. 1], certo? Se a gente colocasse o anteparo aqui, deste outro lado [aponta para um ponto entre o espelho E2 e o semiespelho S2, ver fig. 1], o que a gente deveria ver? Qual a relação com essas duas figuras?
5:38 - 5:39	17	Bruna: Complementar
5:39 - 5:40	18	Professor: Como assim?
5:41 - 5:56	19	Bruna: Por exemplo, seria assim, numa o centro seria claro e teria as listras e na outra é ao contrário, o centro preto e as listras ao contrário.
5:57 - 6:01	20	Professor: Como que é, Vitor? Fala alto pra classe ouvir.
6:01 - 6:15	21	Vitor: Se a gente colocasse o anteparo aqui [aponta para um ponto entre o espelho E2 e o semiespelho S2, ver fig. 1] e não aqui [aponta para um ponto entre o espelho E1 e o semiespelho S2, ver fig. 1], seria o inverso do que a gente viu.
6:15 - 6:19	22	Alunos: Como assim? [inaudível]
6:19 - 6:26	23	Vitor: Seria o inverso do que a gente viu.
6:30 - 7:25	24	Professor: Todo mundo acha que é isso? Todo mundo acha que é a mesma coisa? E alguém sabe explicar por quê? Então olha, vamos imaginar... O que vocês tão me dizendo é isso, num anteparo a gente observa alguma coisa parecida com isso [mostra uma imagem semelhante a interferência da fig. 2], certo? No outro, a gente vai enxergar o contrário, não é isso? Elas seriam complementares porque se a gente juntasse as figuras, veria o quê?
7:28 - 7:29	25	Pedro: Um círculo
7:32 - 7:50	26	Professor: É isso. Ao invés de ver várias figuras, veria um círculo. Aí, agora a pergunta... Ronaldo! Alguém consegue me explicar porque isso? [inaudível] Mas por quê? Dá pra explicar por quê
7:51 - 7:54	27	Pedro: [inaudível] Eu consigo explicar o que é, mas porquê eu não sei.
7:55 - 7:57	28	Professor: Não, nós não chegamos neste ponto ainda.
7:58 - 8:13	29	Lucas: [quase inaudível, tentando explicar o que está acontecendo] É igual aquela experiência que a gente batia o dedo na água e fazia umas ondas, elas se aumentavam, aumentava não, elas ficavam juntas [entrelaça os dedos das mãos] só que eu esqueci o nome do fenômeno.
8:13 - 8:15	30	Professor: Interferência de ondas?
8:16 - 8:18	31	Lucas: É, acho que é. Só que faz mile e anos, tá ligado.
8:20 - 9:00	32	Professor: Pessoal, a gente tá dizendo aqui oh... A gente tá observando nesse ponto [aponta para o a imagem obtida no resultado experimento detector D1 de uma ilustração semelhante a da fig. 2] a interferência das ondas, certo? E a gente enxerga aqueles pontos coloridos [refere-se aos setores coloridos das imagens] quando a interferência é construtiva. O que significa isso? As duas frentes de onda que estão se encontrando, estão na mesma fase, então elas se somam e você vê o ponto claro. Quando elas estão em fases opostas, a gente vê o que? A interferência é destrutiva, elas se anulam, não é isso? O que acontece desse ponto pra esse é uma inversão dessas fases, tá?
9:00 - 9:04	33	Bruna: O que você tá falando é a explicação do preto, é isso?
9:04 - 9:05	34	Professor: Ahn?
9:05 - 9:12	35	Bruna: Tem inversão de fase, porque a parte que reflete no semiespelho tá...
9:13 - 9:14	36	Professor: Tá numa fase...

9:14 - 9:16	37	Bruna: Numa fase diferente da que parte que passou direto.
9:16 - 9:56	38	Professor: Isso. E aí o que vai tá acontecendo? Vamos supor que a fase 1 tá vindo pra cá e a 2 pra cá, certo? Nesse caso aqui, eu vou pegar a 1 deste, né? E vai interferir com a outra que tá aqui, não é isso? Então o que tá acontecendo é que ela tá pegando os lados simétricos, tudo bem? Bom, aí a gente mudou pra fóton. Como vocês bem responderam na última aula, o que acontece com o padrão da figura? O resultado.
9:56 - 9:58	39	Lucas: Igual, mas pontinhos.
9:59 - 10:36	40	Professor: É o mesmo, não é? O que ta acontecendo só é que a gente aqui vai... Quando a gente manda com o laser forma imagem instantaneamente, não é isso? Todo o fóton... Ele vai se distribuindo, né? E dependendo da quantidade que a gente tem aí a gente vai acabar observando a linha, certo? Até aqui nenhuma novidade, né? Tudo bem aí, Guilherme? Explica essas duas figuras aí pra mim, por favor [aponta para as imagens da fig 3]. Fala aí, Daniel.
10:38 - 10:40	41	Daniel: O canto de lá é...
10:41 - 10:43	42	Professor: O canto de lá você diz a direita de quem tá olhando?
10:44 - 10:48	43	Daniel: Isso... Não, a esquerda de quem tá olhando.
10:49 - 10:58	44	Alunos: Inaudível
10:58 - 11:00	45	Professor: Vamos chamar esse de 1 e esse de 2.
11:00 - 11:05	46	Daniel: Tá. O 2 é de fóton e o de cá onda.
11:05 - 11:07	47	Professor: O que eles têm de semelhante?
11:07 - 11:11	48	Daniel: O... A interferência. A imagem.
11:13 - 11:18	49	Professor: A imagem? Tá, e o que vai ter de diferente?
11:18 - 11:20	50	Daniel: É como se forma.
11:22 - 11:23	51	Professor: É o que?
11:23 - 11:27	52	Lucas: Gradativamente, professor, conforme os fótons vão chegando.
11:28 - 11:37	53	Professor: Dessa maneira [aponta para a imagem da fig 3 – a], a formação, ela é instantânea, né? E nessa aqui, [aponta apara imagem da fig 3 – b] ele vai se formando conforme vai acontecendo a chegada das partículas.
11:39 - 11:43	54	Daniel: No laser os fótons estão todos juntinhos?
11:44 - 12:00	55	Professor: Não, laser a gente tem que pensar na luz sendo onda. Na verdade, ora como onda, ora como partícula. Bom, e aqui? Beatriz, compare essas duas figuras. [aponta para as imagens da fig. 4]
12:02 - 12:10	56	Beatriz: Na primeira, são circunferências concêntricas e na segunda são conjuntos de pontinhos...
12:11 - 12:13	57	Professor: E? Por quê?
12:13 - 12:14	58	Beatriz: Por que...
12:14 - 12:18	59	Professor: Qual a relação? Por que forma essa figura aqui e não aqui? [aponta para as imagens da fig.4]
12:19 - 12:21	60	Beatriz: Porque na primeira tem interferência.
12:21 - 12:22	61	Lucas: Professor.

12:23 - 12:28	62	Alunos: [inaudível]
12:28 - 12:29	63	Professor: Fala, Lucas.
12:29 - 12:37	64	Lucas: Então, nos primeiros círculos as duas se encontram, os dois raios estão juntos.
12:37 - 12:38	65	Professor: Pessoal.
12:39 - 12:59	66	Lucas: Enquanto que na outra figura [fig 4 - b] como tem um detector ele impede a passagem de um dos caminhos de chegar no anteparo, então só tem um caminho que o fóton pode passar. Por isso, ele não forma a figura.
13:02 - 13:25	67	Professor: Tá. Então, nesse caso [aponta fig. 4-b], não tem interferência, e aqui [aponta a fig. 4-a] a gente tem interferência, não é isso? Bom, agora o seguinte, o que a gente veio conversando ao longo do ano inteirinho é que a física pode explicar as coisas de duas maneiras, ou como onda ou como partícula.
13:26 - 13:27	68	Beatriz: A luz.
13:27 - 14:18	69	Professor: Não, as coisas, no geral. Pra luz, em particular, nós chegamos numa encruzilhada. Nós chegamos numa encruzilhada agora. A Bia, se eu não me engano na aula passada, no finalzinho da aula, colocou exatamente qual era o nosso problema. Como é que eu explico, se eu pensar que a luz é uma partícula e o fóton é uma partícula, como é que eu explico a interferência pra um único fóton? Então, é isso que a mecânica quântica vai tentar conversar com a gente.
14:19 - 14:21	70	Vitor: Explicar como eles passam.
14:21 - 15:11	71	Professor: Não, um único. Como é que um fóton interfere com ele mesmo. [inaudível, vários alunos falam ao mesmo tempo] Não, não, peraí. Pessoal, diferente do que eles tão dizendo aqui, não é quando a gente tem assim, ah, eu tenho a luz interagindo com outra coisa, aí você tá aumentando as variáveis. Nós estamos pensando assim, olha... Foi isso que a Bia discutiu aqui na ultima aula. Como é que eu explico interferência para um único fóton? Ele com ele mesmo. Na nossa figurinha lá, se eu lançar apenas um único fóton, entendeu? Diferente do que a gente tinha no real, que a gente manda um feixe, a gente tá mandando milhões ao mesmo tempo e aí eu posso continuar pensando em bolinhas colidindo uma com a outra, né? Agora não, eu tenho um único e nesse único eu continuo tendo interferência.
15:11 - 15:13	72	Beatriz: Ele se dividiu ao meio.
15:15 - 15:19	73	Professor: Quando ele passa lá no semiespelho ele se divide em duas partes?
15:19 - 15:20	74	Beatriz: É...
15:21 - 15:26	75	Professor: Mas duas partes do que? De partícula? Duas partes de onda? Uma parte partícula outra parte onda?
15:25 - 15:29	76	Beatriz: Acho que as duas partes partícula.
15:30 - 15:37	77	Professor: Mas aí se ele se dividir ao meio, eu deixo de ter um fóton e tenho dois. Dois meio fótons...
15:37 - 15:39	78	Beatriz: Aí depois eles se juntam.
15:40 - 15:41	79	Professor: Junta aqui embaixo de novo?
15:41 - 15:42	80	Beatriz: É, os dois lados.
15:42 - 16:11	81	Professor: Mas como é que com eles juntos eu posso ter no anteparo dos dois lados? Aqui... Olha, a Bia ta dizendo o seguinte, aqui ele se divide, certo? Aí vem pra cá e vem pra cá. Quando chega aqui, se eles se juntam, como a Bia ta falando, eu teria que ter observação em um único anteparo, mas eu consigo medir nos dois ao mesmo tempo.
16:12 - 16:19	82	Bruna: Eu estava pensando que ali no meio eles se dividem de novo...
16:23 - 16:24	83	Professor: Meninos, por favor!
16:26 - 16:30	84	Bruna: Vai passar uma parte ali e a outra vai por ali, ó [aponta a figura].

16:33 - 16:35	85	Professor: Dois que vem pra cá e dois que vem pra cá?
16:35 - 16:37	86	Bruna: Não sei, mas foi o que pensei.
16:38 - 17:05	87	Professor: Pode ser isso, gente? Bom, aqui ele se divide em dois, metade vem pra cá e a outra metade vem pra cá. Quando chega aqui... Ou tenho quatro ou tenho dois de novo, né? Porque eu posso pegar assim, metade desse que vem pra cá com a metade desse que forma um. Aí metade vem pra cá... Eu posso ter quatro partes, mas elas são agrupadas duas aqui, duas aqui? Pode ser isso?
17:05 - 17:07	88	Pedro: Inaudível.
17:08 - 17:12	89	Professor: Continua tendo colisão. Então pode ser o que, Pedro?
17:12 - 17:13	90	Pedro: Não sei.
17:14 - 17:17	91	Professor: Eu não to dizendo que não pode, eu só to perguntando.
17:18 - 17:20	92	Pedro: Vai um pra cada lado.
17:22 - 17:23	93	Professor: E aí?
17:23 - 17:24	94	Beatriz: [Inaudível]
17:24 - 17:25	95	Pedro: Um espermatozoide
17:26 - 17:28	96	Beatriz: Não é uma célula.
17:31 - 17:40	97	Professor: E aí? Como é que fica a situação? Bom, olhando pro nosso quadrinho... Oi.
17:40 - 17:49	98	Beatriz: Tinha... [inaudível]
17:49 - 18:23	99	Professor: Tinha também. Vamos pensar o seguinte, olhando aí pro quadrinho de vocês [faz referência a folha da atividade de sistematização que os alunos tem em mãos], tá? Existem várias interpretações pra essa situação, tá? A mecânica quântica apresenta quatro em particular. Elas são as quatro mais discutidas. Quatro possíveis pensamentos pra gente tentar entender a natureza da luz.
18:23 - 18:24	100	Beatriz: Existem outras?
18:25 - 18:34	101	Professor: Existem, mas assim, as quatro principais são essas aqui. Não é pra copiar.
18:35 - 18:36	102	Bruna: Ta.
18:36 - 18:38	103	Professor: Tá, né? Porque eu pedi.
18:38 - 18:39	104	Bruna: Eu já parei.
18:39 - 18:54	105	Professor: Já tava com a caneta pronta... Vamos pensar antes da gente olhar lá o que tá escrito. A gente tem uma interpretação que recebe o nome de ondulatória. Segundo essa interpretação a luz é?
18:54 - 18:55	106	Alunos: Onda.
18:56 - 18:59	107	Professor: A gente tem uma interpretação que é a corpuscular.
19:00 - 19:03	108	Lucas: Partícula. São os fótons!
19:04 - 19:14	109	Professor: São fótons. Fóton é uma partícula de luz! Existe uma interpretação... Vou pular pra ultima... Dualista.
19:15 - 19:17	110	Bruna: Ora como onda e como partícula.

19:18 - 19:19	111	Beatriz: Onda e Partícula.
19:19 - 19:21	112	Lucas: É onda e partícula?
19:22 - 19:28	113	Professor: Que ela pode ser as duas coisas ao mesmo tempo. É uma partícula que é associada com uma onda ou uma onda com uma partícula...
19:26 - 19:28	114	Alunos: Inaudível.
19:28 - 19:32	115	Pedro: Você falou que não tem como, que não pode ser onda e partícula ao mesmo tempo.
19:33 - 19:36	116	Professor: Então, aí cai nessa situação que o Pedro ta falando, né?
19:38 - 19:40	117	Beatriz: Ela é uma coisa e outra.
19:40 - 19:44	118	Professor: É... Pra mecânica clássica isso não é possível.
19:45 - 19:46	119	Beatriz: Mas e em Quântica...
19:46 - 19:47	120	Pedro: Acho que é.
19:47 - 19:56	121	Professor: Mas em física moderna a gente vai ter que arrumar uma nova explicação. E essa nova explicação, então, pode ser que ela seja as duas coisas ao mesmo tempo?
19:57 - 19:58	122	Beatriz: Acho que sim.
20:01 - 20:03	123	Professor: E complementaridade?
20:04 - 20:06	124	Pedro: As duas se complementam.
20:07 - 20:09	125	Bruna: Uma completa a outra.
20:09 - 20:10	126	Professor: Então, segundo a Beatriz...
20:11 - 20:13	127	Pedro: São partículas de onda.
20:13 - 20:14	128	Bruna: Pedro, para!
20:16 - 20:23	129	Professor: Não, mas essa ideia que o Pedro ta falando tem mais a ver com a dualista, né? Num é?
20:23 - 20:24	130	Pedro: É...
20:25 - 20:29	131	Lucas: Professor, e se eu disser que a luz é partícula...
20:29 - 20:33	132	Professor: Silêncio, eu não estou ouvindo o Lucas que tá quase do meu lado. Fala, Lucas.
20:34 - 20:42	133	Lucas: E se eu falar que a luz é partícula com fatores ondulatórios ou é onda com fator de partícula?
20:43 - 20:46	134	Professor: Aí nesse caso, você acha que vai ta dentro de qual dessas interpretações?
20:46 - 20:54	135	Lucas: Então, mas assim, no meu raciocínio ela segue um caminho, mas só que o que complementa ela é o outro.
20:57 - 21:01	136	Professor: Dá pra encaixar, não dá? Dentro de uma dessas interpretações. Fala aí, Karina.
21:01 - 21:02	137	Karina: Não sei.

21:02 - 21:03	138	Vitor: Posso tentar?
21:03 - 21:04	139	Professor: Pode.
21:05 - 21:18	140	Vitor: Tipo, microscopicamente é uma partícula, macroscopicamente ela é uma onda.
21:20 - 21:33	141	Professor: Ta. Segundo o Vitor, se a gente olhar lá no microscópio... Microscópio não, se olhar no mundo dos micro, né? Se for pensar nela lá, enquanto natureza mesmo, na sua formação ela é?
21:33 - 21:34	142	Vitor: Partícula.
21:34 - 21:46	143	Professor: Partícula. Mas se a gente observar de fora, no macroscópico, é isso? Aí ela é onda. Pode ser isso?
21:47 - 21:49	144	Alunos: [inaudível]
21:50 - 21:52	145	Professor: Pra você isso é complementaridade?
21:52 - 21:53	146	Beatriz: É
21:53 - 21:54	147	Vitor: Sim.
21:55 - 21:57	148	Bruna: Pra mim não é.
21:57 - 21:58	149	Professor: Pra você é o que isso?
22:00 - 0:06	150	Bruna: Porque aí ela tá sendo duas coisas ao mesmo tempo. Complementaridade é quando ela tá sendo ora uma coisa ora outra.
22:06 - 22:07	151	Vitor: Então...
22:08 - 22:29	152	Bruna: Não. Porque o que eu to falando... No micro... Olha, no mesmo momento quando você analisa no micro ela é partícula e no macro ela é onda. Você tá pensando no mesmo momento, então na mesma coisa ela tá sendo duas coisas ao mesmo tempo. Mas pra ser complementar no momento “x” ela tá sendo uma coisa e no momento “y” ela tá sendo outra, entendeu?
22:28 - 22:29	153	Vitor: Depende da perspectiva...
22:30 - 22:33	154	Alunos: Inaudível.
22:33 - 22:40	155	Professor: Vamos falar um por vez, gente. Ta boa a discussão, mas vamos falar um por vez.
22:40 - 22:49	156	Alunos: [Inaudível]
22:49 - 22:52	157	Lucas: Então, mas não pode ser só a energia que tá passando de uma partícula pra outra?
22:53 - 22:56	158	Professor: Não, a onda... Mas não é energia, é perturbação. A onda carrega energia.
22:57 - 22:59	159	Lucas: A onda carrega energia?
23:01 - 23:13	160	Aline: Eu não sei... Eu acho que é que nem ele falou. Uma hora ela se comporta de uma forma, como onda e outra hora como partícula.
23:14 - 23:17	161	Professor: Mas aí se ela se comporta ora de um jeito, ora de outro ela é o que?
23:18 - 23:19	162	Aline: Complementaridade...
23:19 - 23:32	163	Professor: Não, ela é o que? Olha, pra primeira vocês falaram assim é uma onda. Pra segunda vocês falaram assim é uma partícula. Pra uítima vocês tão falando que é as duas coisas ao mesmo tempo. E na complementaridade ela é o que?

23:33 - 23:34	164	Aline: Não sei...
23:35 - 24:07	165	Lucas: Ah... Depois de tantos experimentos pra ver se é onda, onda mesmo ou se é partícula, partícula mesmo... Mas o que aconteceu, acabou ocorrendo fatores que defendiam 100% que é onda enquanto que outro defendia 100% que era partícula. Então, aí eu pensei, através disso, a onda pensando num só ele recebe complemento de ambas as partes. Ela não pode ser definida só como onda, nem só como partícula.
24:10 - 24:12	166	Professor: Então a gente não tem definição pra esse caso?
24:12 - 24:13	167	Rafaela: Não.
24:13 - 24:16	168	Professor: Não sei. Tô falando pelo Lucas.
24:16 - 24:18	169	Rafaela: Vamos passar pra próxima.
24:19 - 24:21	170	Professor: Vamos deixar em branco por enquanto?
24:21 - 24:22	171	Rafaela: Vamos.
24:23 - 24:24	172	Lucas: Não.
24:24 - 24:25	173	Bruna: Não.
24:25 - 24:28	174	Lucas: [Inaudível]
24:28 - 24:57	175	Professor: Vamos pra linha de baixo. Pra cada uma dessas interpretações, como é que a gente, como é que a gente explica a experiência do interferômetro? Supondo que a gente... Vamos explicar o interferômetro ideal, já que nem todo mundo conseguiu ver no real. Como é que a gente explica a figura? Essa figura 1 que ta ali [aponta para o resultado obtido por meio do IMZ virtual, conforme a fig. 2]. Se é uma onda, como é que a gente pode explicar a interferência?
24:27 - 24:59	176	Bruna: Inaudível.
24:59 - 25:00	177	Professor: Fala alto.
25:01 - 25:04	178	Bruna: Inaudível.
25:04 - 25:05	179	Professor: Não entendi.
25:06 - 25:09	180	Beatriz: Aquele negócio de ondas destrutivas e construtivas.
25:10 - 25:12	181	Professor: Ah, aquele negócio de ondas construtivas e destrutivas, foi isso que você falou?
25:12 - 25:13	182	Bruna: É.
25:13 - 25:32	183	Professor: Ainda bem que tem um amplificador. Tá, é assim que todo mundo acha? Eu consigo explicar a interferência como sendo duas ondas... Fase igual constrói, fases diferentes elas se anulam, é isso? Alguém tem outra ideia pra explicar isso?
25:33 - 25:38	184	Alunos: Inaudível.
25:39 - 26:35	185	Bruna: É... Pra ter interferência tem que ter duas ondas. Quando elas tão na mesma fase, você vai ter a interferência construtiva que vai aumentar. Agora quando tá tendo... De um lado você tá tendo a voltinha assim e do outro ao contrário vai ser destrutiva, então vai diminuir. Se forem iguais os valores vai acabar com a onda. Isso se forem ondas, agora se for complementar aí eu não sei explicar.
26:37 - 26:53	186	Professor: E como partícula? Como é que a gente explica isso? Alguém que não falou ainda... Felipe, Priscila, Talita, John... Como é que eu explico essa interferência se for partícula?
26:55 - 26:57	187	Felipe: Parte é onda e parte é partícula...

26:58 - 27:00	188	Alunos: Mas como se só tem fótons... [Inaudível]
27:01 - 27:03	189	Professor: Calma, deixa o rapaz pensar.
27:10 - 27:11	190	Beatriz: A da complementaridade...
27:17 - 28:19	191	Professor: Você tá pulando a pergunta Beatriz. Se a gente juntasse a ideia que o Felipe tá lançando com o que a Bia tinha dito a pouco, a ideia da divisão, será que daria pra explicar? E vamos falar baixo pra não acordar a Zineck. E aí? Dá pra explicar como... Será que dá? Eu pego a partícula, quando ela passa ali [aponta para o semiespelho S1, conforme ilustrado na figura 1], ela se divide, depois na hora que elas se encontram elas vão colidir, se juntam um pouco, tal... O que a gente tava discutindo antes, aí junta o que o Felipe Tava conversando. Pode ser um caminho? Pessoas? Fala aí, Carlos! Sem comentários?
28:20 - 28:21	192	Carlos: Isso aí.
28:22 - 28:26	193	Professor: Fala aí Bia, o que você queria explicar então da... Como é que você explica o interferômetro?
28:27 - 28:33	194	Alunos: Inaudível.
28:34 - 28:35	195	Professor: Fala, Bia.
28:35 - 28:51	196	Beatriz: Ele tá falando aqui... [Inaudível]
28:52 - 28:54	197	Professor: Não, mas como é que você explica interferência?
28:54 - 28:55	198	Beatriz: Ah...
28:55 - 28:57	199	Professor: Pensando na complementaridade.
28:58 - 29:04	200	Beatriz: Não sei... [Inaudível]
29:05 - 29:06	201	Professor: Falem mais. [inaudível]
29:16 - 29:17	202	Alunos: Estamos tentando...
29:18 - 27:28	203	Professor: E aí? Tá bom, vamos pro último então. Dualista-realista. Vocês disseram que... Nossa!
29:29 - 29:36	204	Alunos: [Inaudível]
29:37 - 30:09	205	Professor: É... Dualista-realista vocês falaram que a luz era as duas coisas ao mesmo tempo. A interferência acaba sendo o que? Como é que eu explico a interferência na dualista? E aí, pessoal? Pra última interpretação vocês disseram que a luz era as duas coisas ao mesmo tempo, onda e partícula.
30:09 - 30:10	206	Bruna: [Inaudível]
30:10 - 30:12	207	Professor: Nós pulamos a complementaridade.
30:12 - 30:14	208	Bruna: [Inaudível]
30:14 - 30:20	209	Professor: Falou. A gente juntou a ideia do Felipe com o que a Bia tinha dito antes da ideia de dividir o fóton no meio e tal...
30:22 - 30:24	210	Bruna: Fóton se dividindo.
30:25 - 30:26	211	Professor: Com o que?
30:26 - 30:28	212	Bruna: Fóton se dividindo.

30:28 - 30:46	213	Professor: Isso. E depois a colisão deles foi o que o Felipe tinha dito àquela hora. E aí? Se ela é as duas coisas ao mesmo tempo na quarta interpretação como é que eu explico a interferência? Ela vai se comportar como o que?
30:47 - 30:48	214	Vitor: Os dois.
30:49 - 30:52	215	Professor: Mas a gente não falou que interferência só acontece quando tem onda?
30:52 - 30:54	216	Bruna: [Inaudível]
30:55 - 32:29	217	Professor: Não, antes, quando a gente teve aquele problema da interferência. Que não dava pra explicar como sendo partícula simplesmente. Aqui só falou que é uma partícula diferente, não é a mesma partícula, não dá pra pensar a partícula como a gente pensava antes da bolinha, com a massa, se for pensar nessa partícula tem algo que não tá certo. Tem que ser uma outra partícula diferente. Mas agora neste caso aqui ele tá dizendo que ela é onda e partícula ao mesmo tempo. Fica em branco ainda? Vamos... Agora não anotem, por favor. Eu vou apresentar pra vocês essas quatro interpretações. E aí tá dizendo o seguinte... Se a gente interpretar a luz como sendo onda, a gente vai explicar a interferência, que essa onda se divide em dois meio fótons no primeiro semiespelho, ta certo? E eles vão se recombinar lá no segundo como se fosse uma onda, né? Produzindo a interferência que a gente observa lá, certo? Essa interpretação que a Bia e o Felipe estavam colocando agora pouco é a interpretação pra onda. Se a gente ta pensando como...
32:29 - 32:32	218	Beatriz: Foi o que eu falei, o fóton é onda.
32:32 - 32:00	219	Professor: O fóton como sendo uma onda, certo? O fóton é uma onda e aí você tem o quê? Você divide ao meio no primeiro semiespelho, quando ele chega no segundo semiespelho ele se junta novamente e aí a gente tem a interferência. Agora, na segunda interpretação o fóton é uma partícula e aí ela não se divide nunca, ta certo?
32:55 - 32:58	220	Beatriz: Por que uma partícula não se divide?
32:58 - 33:11	221	Professor: Não. É a menor porção que a gente pode ter. E aí neste caso, qual o único fóton... Ah... Como é que eu vou explicar a interferência?
33:12 - 33:14	222	Lucas: Um único fóton é uma única partícula...
33:14 - 33:15	223	Professor: Ahn?
33:15 - 33:16	224	Lucas: Pra um só fóton...
33:17 - 33:18	225	Professor: Pra um único fóton.
33:18 - 33:22	226	Lucas: Pra um fóton é só um caminho, mas pra vários você pode ter mais de um.
33:23 - 33:24	227	Professor: Não entendi.
33:25 - 33:29	228	Lucas: Então, mas tem a possibilidade de ter mais de um caminho, porque tem mais de um...
33:29 - 33:31	229	Professor: Então, um único fóton segue...
33:31 - 33:32	230	Lucas: Um caminho...
33:32 - 33:37	231	Professor: Um caminho. Pra um único fóton o que acontece? Como é que eu enxergo? Como é que eu consigo ver a interferência?
33:38 - 33:40	232	Lucas: Não vê, só segue um caminho.
33:40 - 33:41	233	Alunos: [inaudível]
33:41 - 33:51	234	Professor: Ele vai seguir um único caminho, ele vai tá lá e o que a gente vai tá observando, a gente vai ter mais um. Aí ele pode ser refletido ou transmitido passando por lá, tá? Mas a gente não vai ter...
33:51 - 33:52	235	Lucas: Professor.

33:52 - 33:53	236	Professor: Oi.
33:54 - 33:57	237	Lucas: Colocando aí mais de um fóton como partícula.
33:58 - 35:09	238	Professor: Então, mais aí pra mais de um a gente pode explicar como onda ou como partícula. Tem vários ali, aí eu posso pegar o raciocínio que eles fizeram lá das colisões, tá? Dualista realista, o fóton ele tem duas partes. É como se a gente tivesse, pensando lá na analogia que você tava fazendo agora pouco com a Biologia, vamos pensar num espermatozoide. Então você tem lá uma particulazinha e um rabinho lá que é a onda que tá associada, tá? Na interpretação dualista realista, a gente tem, então, a partícula é um surfista que tá viajando numa onda. Então tem uma partícula que tá caminhando numa onda, certo? Então neste caso a gente tem, né? A luz, ela é duas coisas ao mesmo tempo, que era a previsão de vocês dois, certo? E aí como é que eu vou explicar a interferência? A onda pode se separar lá no semiespelho, e aí a gente vai ter... Ela vai recombinar depois lá na frente. Eu consigo explicar com a parte onda, né? Do fóton...
35:10 - 35:12	239	Bruna: O fóton segue como onda.
30:55 - 32:30	240	Professor: Não, antes, quando a gente teve aquele problema da interferência. Que não dava pra explicar como sendo partícula simplesmente. Aqui só falou que é uma partícula diferente, não é a mesma partícula, não dá pra pensar a partícula como a gente pensava antes da bolinha, com a massa, se for pensar nessa partícula tem algo que não tá certo. Tem que ser uma outra partícula diferente. Mas agora neste caso aqui ele tá dizendo que ela é onda e partícula ao mesmo tempo. Fica em branco ainda? Vamos... Agora não anotem, por favor. Eu vou apresentar pra vocês essas quatro interpretações. E aí tá dizendo o seguinte... Se a gente interpretar a luz como sendo onda, a gente vai explicar a interferência, que essa onda se divide em dois meio fótons no primeiro semiespelho, ta certo? E eles vão se recombinar lá no segundo como se fosse uma onda, né? Produzindo a interferência que a gente observa lá, certo? Essa interpretação que a Bia e o Felipe estavam colocando agora pouco é a interpretação pra onda. Se a gente ta pensando como...
35:26 - 35:27	241	Carlos: Não ouvi, professor.
35:27 - 35:32	242	Professor: Pra variar, né? Nas últimas cinco aulas isso tem acontecido.
35:32 - 35:33	243	Carlos: [Inaudível]
35:33 - 35:50	244	Professor: Quer que eu lembre? Minha memória tá bem. No LIEA você ficou conversando no cantinho lá. Na aula passada eu chamei sua atenção e da Karina que vocês tavam conversando, você tava fazendo um desenho, até entregou pra Bia, tá certo? Essa é a terceira aula, quer mais duas pra trás? Eu lembro.
35:50 - 35:52	245	Carlos: Não, tá bom só.
35:53 - 35:55	246	Alunos: [Inaudível]
35:56 - 38:12	247	Professor: Gente, interpretação da complementaridade, tá certo? Voltamos às discussões que estavam acontecendo agora pouco, tá? O fóton ora vai se manifestar como onda, ora como partícula, tá certo? Mais nunca ao mesmo tempo. Essa é a diferença que a gente encontra entre os dois. Na dualista realista o fóton é onda e partícula ao mesmo tempo. Eu tenho uma partícula com uma onda associada. Na interpretação da complementaridade, ora é de um jeito, ora de outro. E aí, vocês dois na hora que estavam comentando, né? Fizeram essa discussão. E aí o arranjo que a gente tem ali, a gente tem observação como? Como o que? Como onda e quando a gente põe o detector o que acontece? Ele ta interpretando como partícula, deixa de ter interferência. Na hora que a gente tava fazendo lá a simulação, quando a gente ta observando a interferência, qual é o comportamento que eu to eu to vendo ali da complementaridade? Como onda, certo? Agora, quando eu ponho o detector lá, o que acontece? Vai interagir o detector com o fóton que ta passando. Aquele fóton ali vai ter um comportamento de partícula e aí ele é absorvido ali e a gente não tem mais a interferência. Agora vocês têm que completar aí o quadro e tentar encaixar essas quatro afirmações pra cada uma dessas interpretações. Olha, “precisando de uma nova lógica”. Essa interpretação, essa frase, se adéqua a qual dessas interpretações? Ondulatória, corpuscular, complementaridade... “Quando o fóton se divide, quando o fóton decide se é onda ou partícula, só podemos falar na natureza da luz depois que a gente fizer a medição.” Essa afirmação é corpuscular, é dualista...
38:12 - 38:13	248	Bruna: É complementaridade.
38:13 - 38:21	249	Professor: Ahn? Não, isso vocês só vão responder pra mim. No papel vocês vão colocar só essas questões que tão. Agora aqui...

38:22 - 38:24	250	Beatriz: A segunda é complementaridade.
38:26 - 38:29	251	Professor: Todo mundo concorda que a segunda é complementaridade?
38:29 - 38:30	252	Felipe: Sim.
38:30 - 38:32	253	Professor: Eu só posso falar da natureza da luz depois que eu fizer a medição?
38:32 - 38:33	254	Beatriz: Essa é a terceira.
38:34 - 38:37	255	Alunos: [Inaudível]
38:37 - 38:40	256	Professor: “Nunca um meio fóton foi detectado.” Isso é a terceira?
38:41 - 38:43	257	Vitor: Ele tá perguntando.
38:45 - 38:57	258	Professor: Oh, nós temos quatro interpretações, cada uma dessas afirmações se refere a uma dessas interpretações. Eu quero que vocês associem essas frases a essas interpretações.
38:57 - 38:59	259	Aline: A última é dualista.
38:59 - 39:08	260	Felipe: Meio fóton é ondulaória. [Inaudível}
39:10 - 39:12	261	Aline: A última é dualista.
39:20 - 39:23	262	Professor: A que se referem cada uma delas, vamos lá?
39:24 - 39:30	263	Lucas: A 1 é ondulatória. É uma diferente da outra, professor.
39:30 - 39:32	264	Professor: Não, eu quero saber a que se refere, não to falando que é.
39:33 - 39:34	265	Lucas: Ah sim.
39:34 - 39:38	266	Professor: Eu to falando assim a quais interpretações essas afirmações se referem.
39:38 - 39:39	267	Lucas: Entendi.
39:46 - 39:50	268	Professor: Um, dois, três, quatro, certo? Então a gente tem interpretação...
39:50 - 39:52	269	Alunos: Interpretação... dualista... [longa pausa]
40:26 - 40:29	270	Professor: Quais dessas afirmações dizem respeito...
40:32 - 40:35	271	Aline: A última é dualista realista.
40:35 - 40:36	272	Professor: A quarta é dualista realista? É isso?
40:37 - 40:38	273	Aline: É.
40:39 - 40:40	274	Alunos: É
40:40 - 40:43	275	Professor: Mas tem mais alguém aqui que ta dizendo que a primeira também é.
40:50 - 41:02	276	Bruna: [Inaudível]

41:02 - 41:07	277	Professor: É... Qual delas fala sobre, né? Onda e partícula juntas?
41:08 - 41:09	278	Aline: Dualista.
41:10 - 41:15	279	Professor: É, que ele fala que tem então uma partícula surfando numa onda. Qual que fala sobre isso?
41:16 - 41:28	280	Alunos: [Inaudível] A última.
41:29 - 41:31	281	Professor: Como é que é? A dois?
41:32 - 41:34	282	Felipe: A dois é complementaridade.
41:34 - 41:40	283	Alunos: A três é ondulatória e a um é dualidade.
41:41 - 42:56	284	Professor: É isso? É isso, povo? Vamos conferir? “Nunca um meio fóton foi detectado”, ta certo? Pensando na gente dividir a onda em duas partes, ta certo? Na teoria corpuscular a gente não consegue explicar então a gente precisa de uma lógica nova, não é isso? Pensando como sendo partícula, que ela é invisível esse tipo de coisa, então eu preciso de uma nova lógica pra explicar a partícula, pra explicar essa interferência, ta? Pra um único fóton a gente não conseguiu dar explicação. Onda vazia caminhando, né? Numa partícula... A partícula caminhando nessa onda é dualista realista. E esse aqui é complementar por quê? Porque eu só vou ter informação da natureza da luz depois de medir. Quando eu to vendo a luz eu não sei se ela é onda ou se ela é partícula. Se eu observo interferência eu to me referindo a quê?
42:56 - 42:57	285	Beatriz: Onda.
42:57 - 43:00	286	Professor: À onda. Se eu observo efeito fotoelétrico?
43:01 - 43:02	287	Beatriz: Partícula.
43:02 - 43:05	288	Bruna: Mas como que ele explica o... [inaudível]
43:06 - 43:17	289	Professor: Não explica. O que vai dizer pra essa interpretação é que eu não sei qual é a natureza, eu só consigo obter informação disso depois te der feito a medida.
35:56 - 38:13	290	Professor: Gente, interpretação da complementaridade, tá certo? Voltamos às discussões que estavam acontecendo agora pouco, tá? O fóton ora vai se manifestar como onda, ora como partícula, tá certo? Mais nunca ao mesmo tempo. Essa é a diferença que a gente encontra entre os dois. Na dualista realista o fóton é onda e partícula ao mesmo tempo. Eu tenho uma partícula com uma onda associada. Na interpretação da complementaridade, ora é de um jeito, ora de outro. E aí, vocês dois na hora que estavam comentando, né? Fizeram essa discussão. E aí o arranjo que a gente tem ali, a gente tem observação como? Como o que? Como onda e quando a gente põe o detector o que acontece? Ele ta interpretando como partícula, deixa de ter interferência. Na hora que a gente tava fazendo lá a simulação, quando a gente ta observando a interferência, qual é o comportamento que eu to eu to vendo ali da complementaridade? Como onda, certo? Agora, quando eu ponho o detector lá, o que acontece? Vai interagir o detector com o fóton que ta passando. Aquele fóton ali vai ter um comportamento de partícula e aí ele é absorvido ali e a gente não tem mais a interferência. Agora vocês têm que completar aí o quadro e tentar encaixar essas quatro afirmações pra cada uma dessas interpretações. Olha, “precisando de uma nova lógica”. Essa interpretação, essa frase, se adéqua a qual dessas interpretações? Ondulatória, corpuscular, complementaridade... “Quando o fóton se divide, quando o fóton decide se é onda ou partícula, só podemos falar na natureza da luz depois que a gente fizer a medição.” Essa afirmação é corpuscular, é dualista...
38:12 - 38:14	291	Bruna: É complementaridade.
38:13 - 38:22	292	Professor: Ahn? Não, isso vocês só vão responder pra mim. No papel vocês vão colocar só essas questões que tão. Agora aqui...
38:22 - 38:25	293	Beatriz: A segunda é complementaridade.
38:26 - 38:30	294	Professor: Todo mundo concorda que a segunda é complementaridade?

38:29 - 38:31	295	Felipe: Sim.
43:52 - 43:53	296	Beatriz: Passa as notas.
43:54 - 43:55	297	Karina: Vamos fazer juntos.
43:55 - 43:57	298	Alunos: [Inaudível]
43:56 - 43:58	299	Professor: Agora é a hora de vocês anotarem.
43:58 - 44:00	300	Aluno: E as notas? [Inaudível]
44:01 - 44:06	301	Professor: Vou falando as notas enquanto isso? Eu não tenho as notas do estudo do meio ainda.
44:07 - 44:09	302	Alunos: [Inaudível]
44:10 - 44:18	303	Professor: Tem recuperação amanhã, é o ultimo dia de recuperação amanhã, para aqueles que estão de recuperação ainda. A prova de recuperação é amanhã.
44:19 - 44:23	304	Alunos: [Inaudível]
44:24 - 44:30	305	Professor: Eu falo e o que vai acontecer... A condição pra eu falar é vocês entregarem essafolha aí e tirar PS, certo?
44:31 - 44:32	306	Lucas: Ta bom.
44:40 - 44:55	307	Professor: Dois, quatro, seis... Olha pessoal, a informação que eu consigo passar pra vocês é com nove de doze conceitos, ta? Faltam as atividades do estudo do meio ainda pra passar pra vocês.

ANEXO C – Transcrição integral das falas ocorridas na aula 10 ministrada pelo professor Romero

Tempo	Turno	Falas transcritas
0:00 - 3:12	1	Professor: [...] da Teoria Ondulatória da Luz. É, então, tinha uma teoria pra luz. Essa teoria dizia que a luz se comportava como uma onda e a partir da experiência do efeito fotoelétrico, da explicação do efeito fotoelétrico por Einstein, essa teoria sobre as ondas, da luz se comportando como onda, ela foi questionada. Poxa, mas se o efeito fotoelétrico é assim, é explicado assim, na teoria da luz como onda deve ter algum problema ou então a experiência tem problema. Como não se encontrou problema na experiência, a experiência até aquele momento estava correta, o problema deveria estar na teoria. Bom, e aí qual que é a diferença entre uma coisa que é onda e partícula? Porque existiram físicos e filósofos, uns defendiam que a luz era partícula e outros defendiam que a luz era onda. Então qual a diferença básica entre uma e a outra? A onda consegue transportar energia sem o transporte de matéria. (interrupção para o professor assinar uma docuentação) A partícula transporta energia e transporta matéria. Quando você manda uma carta, o que é a carta em si? O papel é a matéria e se você considerar o transporte da matéria seria a carta, agora se você quer transportar a energia, a energia é a informação que está contida na carta. Tá? Você não consegue pegar na mão, segurar a informação. Então está escrito lá: Eu te amo, você foi embora de casa, não sei o quê, não sei o quê... né? Então essa informação o carteiro não consegue levar. O que ele consegue levar é a matéria. Outra coisa, a transferência, você consegue localizar razoavelmente bem as partículas. Então quando eu falo assim: a partícula está na rua tal, número tal, a onda não. A onda você não consegue localizar. Não consegue dizer com certeza aonde ela está. É... então alguns fenômenos podem ser explicados pelo modelo ondulatório e pelo modelo corpuscular. Tá? Outros fenômenos não podem ser explicados e aí tem essa tabela que eu já tinha mostrado.
3:12 - 5:37	2	Professor: Então por exemplo, cinco fenômenos: o fenômeno da reflexão, da refração, interferência, difração e efeito fotoelétrico. O primeiro fenômeno da reflexão o modelo ondulatório explica e o corpuscular explica. Então se só existisse a reflexão, você poderia dizer que a onda é luz, desculpa, que a luz é uma onda ou que a luz é um corpúsculo, Tá? O fenômeno da refração, que é o segundo embaixo da reflexão, o modelo ondulatório explica e o corpuscular explica. Então se tivesse só o fenômeno da refração e da reflexão, você não saberia dizer se a luz é onda ou se a luz é partícula. Tanto faz uma ou outra pra explicar. Agora a interferência. O modelo ondulatório explica a interferência. O corpuscular não explica. Então como a gente conhece a interferência da luz, você já não consegue utilizar o modelo corpuscular. Nesse caso aqui, o que você tem que fazer, você tem que pegar e falar: bom, como as partículas não conseguem explicar, obviamente, eu quero acreditar que a onda, que a luz é uma onda. Outro fenômeno é o da difração. Então um modelo ondulatório explica a difração luminosa, da luz. O modelo corpuscular não explica. Se a gente considerasse só esses quatro fenômenos (reflexão, refração, interferência e difração) nós seríamos levados a acreditar qual a luz é uma onda. Tá. Por quê? Todos esses fenômenos, o modelo ondulatório explica. O modelo corpuscular explica os dois primeiros e não explica os dois últimos. Né, então a interferência e a difração não explica. Aí veio o Albert Einstein e fez a experiência e que que se percebe, se percebe que o efeito fotoelétrico não é explicado pelo modelo ondulatório. Mas é explicado pelo modelo corpuscular. E aí tem um problema. O problema é o seguinte: a partir de então, a partir do Einstein, a luz é uma onda, explica bastante coisa, só que não explica esse, ou a luz é uma partícula? Né, porque se for partícula, ela tem que explicar tudo, se for onda, tem que explicar tudo também.
5:37 - 5:39	3	Vitória: Tá, então não é uma nem outra.
5:39 - 5:40	4	Professor: Por que?
5:40 - 5:42	5	Vitória: Porque nenhuma das duas explica completamente.
5:43 - 5:53	6	Professor: Então, pode ser, você tem toda razão, pode não ser uma e pode não ser outra também. Vocês lembram daquela brincadeira da caixinha? [O professor remete a atividades anteriores].
5:53 - 5:54	7	Turma: Uhum.
5:56 - 6:07	8	Professor: Na aula de Química, vocês já ouviram falar do átomo... do elétron etc. [Pausa] Vocês acham que o elétron existe? [pausa]

6:12 - 6:14	9	Alice: Deve existir, só que eu nunca vi.
6:14 - 6:15	10	Professor: Então...
6:15 - 6:20	11	Alice: Nos livros de Química falam...
6:20 - 6:22	12	Professor: Por que vocês acham que o elétron existe?
6:23 - 6:27	13	Alice: Porque nos... Encontraram... Nos ensinaram
6:27 -6:30	14	Vitória: Os estudos mostram uma teoria sobre ele. Que é aceitável.
6:31 - 6:43	15	Professor: Eu vou mudar a pergunta. Vocês fizeram a caixinha, vocês brincaram com a caixinha. Lá na caixinha, alguém chegou a ver a parte de dentro da caixinha? Só a parte interna?
6:43- 6:44	16	Vitória: Não
6:44 - 6:50	17	Professor: [Apontando para o Caio] Você abriu, você deve ter aberto né? Você é meio malandrinho, deve ter aberto a caixinha. [Risos]
6:50 - 6:56	18	Jaime: O pessoal daqui tentou...
6:57 - 7:00	19	Professor: Então, mas como é que você sabe o que tem lá dentro?
7:00 - 7:02	20	Jaime: Eu tentei descobrir, ué. A Débora...
7:03 - 7:05	21	Professor: Mas você viu o que tinha lá dentro?
7:05 - 7:06	22	Vitória e Jaime: Não.
7:06 - 7:12	23	Professor: Como é que você chega e fala assim ó: aqui dentro tem isso, isso, isso. Sem olhar?
7:12 -7:14	24	Vitória: Em teoria sim.
7:16 - 7:20	25	Jaime: Malandrinho, olha as ideias. [Inaudível]
7:20 - 7:45	26	Professor: Então, vocês não queriam uma ideia sobre aquilo? Agora olha o que é, mostra o dedinho seu pra sala. [Professor solicita ao Jaime e este mostra]. Agora mostra a pontinha do dedinho pra sala. [Jaime segura a ponta do dedo]. Agora mostra o biquinho do dedinho. Agora mostra cinco células aí.
7:46 - 7:47	27	Jaime: Não dá professor.
7:47 - 7:48	28	Professor: Por que não dá?
7:48 - 7:49	29	Jaime: Porque eu não consigo ver.
7:49 - 7:52	30	Professor: Agora mostra um átomo que ta dentro dessa célula.
7:52 - 7:53	31	Jaime: Nossa.
7:55 - 7:58	32	Professor: A ideia é essa. Como é eu você explica uma coisa que você não tá vendo?
8:00 - 8:01	33	Jaime: Não sei.
8:02 - 8:05	34	Professor: Como é que você explica a parte de dentro da caixinha?
8:05 - 8:08	35	Jaime: Ah, eu meio que eu deduzi né?
8:08 - 8:10	36	Professor: Você deduziu.
8:09 - 8:12	37	Jaime: O que eu achei que tinha.
8:13 - 8:16	38	Professor: Então a pergunta é: como é que você sabe se a luz é uma onda ou é uma partícula?
8:18 - 8:22	39	Jaime: Eu não sei. Eles dizem por teoria deles.

8:22 - 8:23	40	Professor: Eles quem?
8:24 - 8:26	41	Jaime: Os cientistas.
8:27 - 8:30	42	Professor: Então, mas pra chegar na teoria como é que eles fazem? Como é que eles constroem essa teoria?
8:31 - 8:32	43	Alice: Por experiência.
8:33 - 9:03	44	Professor: Essa teoria... Exatamente. Uma das coisas é a experiência. Né? Por que se você não tem acesso, como é que você vai ver. Então é uma caixa preta isso daí na verdade. E é uma caixa que como se fosse a caixinha que você faz um monte de experiência e acredita que deve ser isso ou aquilo, mas você não vê. Né? E aí é o que a Vitória fala: ou é uma coisa ou é outra. Ou não é nenhuma das duas.
9:03 - 9:05	45	Vitória: Pelo que eu deduzo não é nenhuma.
9:05 - 9:12	46	Professor: Então, o que vocês imaginam que possa ser? Vocês conseguem imaginar alguma coisa? Tem que explicar tudo.
9:12 - 9:14	47	Jaime: Então não é nem uma nem outra.
9:14 - 9:15	48	Professor: Então, mas aí...
9:15 - 9:27	49	Vitória: Não... ou ela pode ter um pouco de cada. Porque que igual o sistema ondulatório eu acredito que ela tenha a capacidade de se transpassar por ondas, porém a sua característica pode ser em partículas.
9:27 - 9:34	50	Jaime: Então você teria o efeito ondulatório? Porque tem explicações que os...
9:35 - 10:08	51	Professor: É, olha, pode ser. Pode ser o ondulatório porque explica mais do que o outro. Só que se for onda tem que explicar também o efeito fotoelétrico. Agora olha o que a Vitória está falando, não sei se você entendeu. Ela falou o seguinte: pode ser [Inaudível] ou pode ser homem. Ou pode ser homem ou pode ser mulher. Ou pode ser [Inaudível] e pode ser... O que ela tá falando é isso, se eu entendi. Então é assim, pode ser onda e pode ser partícula. Pode ser que uma hora seja uma coisa e outra hora seja outra, não é isso que você falou?
10:08 - 0:20	52	Vitória: É mais ou menos isso porque num certo ponto ela tem partículas, mas ela também tem as características de onda. Então é uma espécie de uma mistura né, para se formar um conjunto e emitir o que ela emite.
10:21 - 10:22	53	Professor: Você entendeu? [Referindo-se ao Jaime]
10:23 - 10:25	54	Jaime: Entendi mais ou menos, explica aí de novo pra mim. [Referindo-se a Vitória]
10:26 - 10:52	55	Vitória: Tipo assim, é... As ondas, elas explicam uma certa parte. Então quer dizer que ela pode ser até certa parte ela pode ser onda, porém ela pode conter partículas para poder se... Que nem a luz, para gente poder ter essa quantidade de luminância, ela pode ter uma mistura entre as ondas pra luz se emitir, porém partículas.
10:54 - 10:55	56	Alice: Isso é possível?
10:56 - 10:57	57	Professor: Você entendeu? [Referindo-se à Alice]
10:58 - 11:05	58	Alice: Sim mas será que isso é possível? Uma coisa deixar de ser outra por um tempo, e ser duas coisas numa coisa só?
11:05 - 11:07	59	Jaime: Como se fosse uma fusão né?
11:07 - 11:32	60	Vitória: Porque é a mesma coisa quando você coloca um copo d´água limpa, você coloca sal e água, eles não se juntam... E viram um só? Então é a mesma coisa. Eles podem se juntar e virar um só. Muda que nem, no caso do sal, açúcar e água, se juntam e vira uma espécie de soro caseiro. A mesma coisa da luz, se a gente misturar pode ser a luz que a gente obtém.
11:33 - 11:37	61	Jaime: Então, mas se misturar ele pode formar outra coisa.

11:38 - 2:49	62	Professor: Então, ela já existe essa outra coisa. O problema é que a gente cria teorias acreditando que é daquele jeito. Pra demonstrar o que já existe. Bom, você fez a experiência, eu digo os cientistas, não são vocês. Os cientistas fizeram experiências que falaram ó: a reflexão dá pra explicar pelos dois, a refração etc. Então nesse caso o modelo, a luz é um modelo ondulatório, né? E aqui quando o Albert Einstein fez a experiência do efeito fotoelétrico ele também acreditava que era o modelo ondulatório. Aí ele percebeu que aquele modelo não explicava e tentou explicar com o outro. Né? O que que é legal aqui, é legal a gente pegar, o que o Einstein sugere? Ele sugere o seguinte: então a luz na verdade ela aqui pode ser onda e pode ser partícula. Né? Nesse caso. Quer dizer, ela pode ser as duas coisas e pode não ser nada. É que nem uma pessoa, tem gente que não sei se vocês já perceberam, quando você olha pra pessoa, tem cara que anda com o cabelo grande, não sei se vocês já viu isso daí, Débora?
12:50 - 12:51	63	Débora: Um homem?
12:51 - 13:17	64	Professor: É, homem. Seria, eu não sei se é do sexo masculino seria, não sei se é do masculino ou feminino. E quantas vezes lá no shopping, não se se vocês já foram para o shopping. [Inaudível] Tem cara que você sabe que é metaleiro. Mas tem uns caras, mas as vezes você olha um cara de longe e aí você não sabe definir direito.
13:17 - 13:19	65	Caio: Perigoso, hein professor? [Risos]
13:20 - 13:30	66	Professor: É perigoso. Aí você pega e olha o cara e ele entra no banheiro dos homens. O que você imagina que seja? [Apontando para o Caio]
13:31 - 13:32	67	Caio: Um homem.
13:33 - 13:35	68	Jaime: Depende, e se for...
13:35 - 13:49	69	Professor: Aí você pega e vai na lanchonete e você vê um outro cara parecido com aquele, muito parecido, não é o mesmo, mas é parecido. Cabelo longo e tal, aí entra no banheiro das mulheres. O que que você...
13:50 - 13:51	70	Caio: Uma mulher.
13:51 - 13:52	71	Jaime: Indeciso
13:52 - 13:54	72	Vitória: Não entra no banheiro das mulheres.
13:55 - 14:02	73	Professor: Aí quando saí você percebe que aquele cara que saiu do banheiro das mulheres tem um "voluminho", o que você acha? [Apontando para o Caio]
14:03 - 14:04	74	Caio: É complicado. [Risos]
14:09 - 14:13	75	Professor: Aí você fala: aquele cara é homem ou mulher? Como é que você faz pra saber?
14:13 - 14:14	76	Vitória: Nenhum dos dois.
14:15 - 14:16	77	Jaime: Pode ser hermafrodita.
14:17 - 14:34	78	Professor: Pode ser. Ou pode ser também, se você ficar um pouco mais atento você fala assim: cara, mas não é possível. Aí você vai lá olhar e percebe que o banheiro dos homens está fechado. Fechado para balanço. O que que você imagina? O cara é homem ou mulher?
14:35 - 14:37	79	Jaime: Então necessitamos de algo aí.
14:38 - 14:40	80	Professor: Nesse caso é homem ou mulher?
14:40 - 14:41	81	Vitória: Homem.
14:41 - 14:58	82	Professor: Se o cara anterior, o outro, que também tinha cabelo, você não sabia se era homem ou se era mulher. Aí você vai lá, se você fizesse a mesma coisa antes e você percebesse que o banheiro das mulheres estivesse fechado, o anterior seria homem ou mulher? O primeiro que eu dei o exemplo?
14:58 - 14:59	83	Vitória: Mulher.

14:59 - 16:23	84	Professor: Mulher né? Porque o banheiro das mulheres estaria fechado. Vocês estão entendendo como que é o negócio, você imagina o que ele é, pelo comportamento que ele tem. A mesma coisa aqui para a luz. [Professor aponta para a fig - 2] você imagina que é onda, pelo comportamento, pelo fenômeno, ou você imagina que é corpúsculo pelo comportamento. Até uma hora que você não consegue mais explicar. Essa é a ideia. Então o que você faz: você faz outras experiências, então você pega lá, por exemplo, chama o Fábio, e fala assim: Fábio, a gente não consegue saber se aquele cara é homem ou mulher. A gente não consegue nem chegar no banheiro. Se a gente percebe que o banheiro está fechado, legal, o cara deve ser homem, mas você não consegue descobrir isso, só consegue descobrir depois. Mas vamos supor, Fábio, que você está de costas, e está o seu sobrinho pequenininho, coleguinha seu, filho da sua namorada, aí fala "nossa papai, aquele homem entrou no banheiro das mulheres, o senhor não pode descobrir se ele é homem ou mulher?" Você não pode, você não que enxergar, "ah, pede pra ele vir aqui". Seu filho, o cara que você vai adotar, aí você fala: "faz favor, venha aqui". Quando o cara chegar, você quer saber se ele é homem ou mulher sem olhar, como é que você faz?
16:23 - 16:24	85	Jaime: Olho pro pé. [risos]
16:25 - 16:31	86	Professor: Sem olhar, você não vai olhar. Qual é o sentido que você usa? O cara chegou do seu lado.
16:31 - 16:32	87	Vitória: A voz.
16:32 - 16:34	88	Professor: A voz é uma coisa.
16:34 - 16:35	89	Jaime: A Audição.
16:35 - 16:39	90	Professor: Exatamente. Qual é o outro? Para descobrir se é homem ou se é mulher?
16:43 - 16:46	91	Jaime: Passo a mão no rosto para ver se tem barba.
16:46 - 16:48	92	Professor: Beleza. Aí o cara é meio hermafrodita.
16:49 - 16:51	93	Jaime: Ah, eu não ponho a mão não. [risos]
16:54 - 16:57	94	Professor: Mas você não faz uma experiência?
16:57 - 16:58	95	Jaime: É.
16:57 - 17:00	96	Professor: Uma delas é a voz. O outro qual que é? Que você está usando?
17:02 - 17:03	97	Jaime: O tato.
17:03 - 17:04	98	Professor: O tato.
17:04 - 17:05	99	Juliana: É.
17:06 - 17:08	100	Professor: Você vai por a mão no cara né? [inaudível].
17:10 - 17:12	101	Alice: O que é hermafrodita?
17:12 - 17:14	102	Vitória: Pessoas que tem os dois sexos.
17:13 - 17:14	103	Professor: Tem os dois sexos.
17:14 - 17:15	104	Alice: Como assim?
17:15 - 17:23	105	Professor: Tem o nariz e orelha juntos. [risos] Ó, beleza. Então o negócio é fazer as duas experiências. Eu vou mostrar aqui...
17:21 - 17:22	106	Alice: Como?
17:22 - 17:25	107	Vitória: Os dois órgãos reprodutores. Pronto.
17:25 - 17:26	108	Alice: Como?
17:27 - 17:29	109	Vitória: Nascendo né? Se eles nasceram, acabou.

17:30 - 17:36	110	Professor: Depois no final a gente volta pra isso daí. Eu vou mostrar aqui um vídeo que fala sobre o efeito fotoelétrico.
17:39 - 26:48	111	[Início do vídeo - https://www.youtube.com/watch?v=2vyOWsz_R-g]
26:49 - 26:57	112	Professor: Bom, na verdade vocês já sabem então da onde começa a Mecânica Quântica. Tem alguma coincidência do que vocês falaram aí que apareceu no vídeo?
26:58 - 27:02	113	Vitória: Tem sim, a mistura das duas. Da onda...
27:02 - 27:07	114	Caio: [Inaudível]
27:07 - 27:09	115	Professor: Tem alguma coincidência ou não?
27:10 - 27:18	116	Vitória: Sim, entre as ondas e as partículas. Ele não disse particularmente em partículas, mas ele disse na forma de elétrons.
27:20 - 29:46	117	Professor: O pacote né? [Professor procura programa para exibir] Deixa ver se é esse. É esse aqui ó. Tem experiência, o que que acontece? Uma coisa... Uma coisa é o seguinte: você está com essa dúvida aqui, então o modelo ondulatório e o corpuscular, você não consegue explicar esse, só o que você tem que fazer agora, você tem que refazer essa experiência aqui e essa aqui, e tem que explicar essas duas usando o corpúsculo. Ué, como é que o corpúsculo, como é que a partícula vai explicar isso, tem que explicar. Vamos refazer a experiência pra ver se explica. E a Ciência tem um problema, um problema não, um fato que é recorrente na Ciência. As vezes você monta a teoria, mas não tem como fazer a experiência. Por exemplo, quando Newton fez a Teoria da Gravitação Universal, ele falou "a gravitação está em todo lugar, não sei o que, não sei o que...". Tinha a teoria, mas você não tinha aparato tecnológico para provar aquilo, tinha limite aquela teoria. Por exemplo, você conseguia mostrar que os objetos caem... então batia quando era alguma coisa aqui pra Terra. Mas quando era de um corpo celeste, de um planeta para outro planeta, não conseguia explicar, não conseguia comprovar a teoria. E aí depois com o tempo, você conseguia mandar satélites, máquinas para o espaço etc. Isso é assim, a teoria vem antes da experiência, e existe o contrário, tem a experiência e não tem a teoria. Tá? Nesse caso aqui, me parece que é uma mistura das duas, uma hora você tem a experiência, você explica a experiência, né, e você tem a teoria. E tem uma hora que você tem a teoria...
29:46 - 29:48	118	Vitória: E não tem a experiência.
29:48 - 31:13	119	Professor: E não tem a experiência. Então quer dizer que a experiência aqui, na época, talvez, você não tivesse uma experiência razoável para explicar a luz como partícula. Tá bom? Então aprece que a ideia é alguma coisa nesse sentido aí. E aí a experiência de Mach-Zehnder. A experiência de Mach-Zehnder ela foi feita no século 20, depois do Einstein. E aí ela te dá algumas dicas, algumas pistas se a luz é partícula ou se a luz é onda. Então aqui tem a simulação que vocês fizeram. [Professor mostra o experimento virtual de Mach-Zehnder, relembrando a atividade prática desenvolvida anteriormente pela classe] Aqui tem a simulação e aqui tem o real. [Inaudível] Tá? As experiências de interferência demonstram claramente as propriedades ondulatórias da luz. Então tem interferência, a crista da onda com a crista da onda, ou a parte de baixo da onda com, o vale com o vale, né? Ou o contrário, da crista com o vale. Podemos observar as franjas, você pode observar esses desenhos aí utilizando uma luz experimental... a experiência, o experimento do Mach-Zehnder. A experiência é essa daqui. Vocês mexeram na semana passada. Vocês tiveram dificuldades e tal, não foi nem um pouco fácil né? Então, é... vocês lembram disso aqui?
31:14 - 31:20	120	Alunos: [Inaudível] Alguma coisa no meio.

31:21 - 33:27	121	Professor: Então era essa experiência aqui. Olha o que acontece, a luz sai daqui, passa por aqui, isso aqui é um vidro semi-espelhado. Parte da luz vem e passa pra cá, parte da luz bate aqui e vem pra cá. Aqui é um espelho, então toda a luz que bater aqui vai ser refletida, a luz que bater aqui vem pra cá. Parte da luz vai vir pra cá, por essa parte aqui, né? Só que essa parte da luz que vier pra cá, opa desculpa, é isso mesmo. Então, essa luz que está aqui, que chegou aqui, parte vai vir pra cá nessa região e parte dela vai ser refletida pra cá. Ela não vem pra esse lado, eu falei errado. Voltando, a luz vem, bate aqui. Parte vem pra cá. Toda luz que bater aqui vem pra cá, né? Parte da luz que vier pra cá vai vir pra cá, pra essa região aqui que você não está enxergando. E a outra parte vai vir pra cá. Tá? A outra parte que vem daqui bate nesse espelho e esse vidrinho ele vem pra cá e pra cá. Tá? E essa luz que está vindo pra cá vai encontrar outra que está vindo desse lado de cá. E vai ter interferência. Ela vai interferir. Pra lá e pra cá. O que está acontecendo é isso daqui ó, basicamente. Então aqui é a fonte, é o laser. Quando a luz chega aqui, uma parte da luz vem pra cá e uma parte vem pra cá. Essa parte que veio pra cá vai ser toda refletida aqui. A parte que veio pra cá, vai ali, e essa parte que veio daqui vai encontrar com essa parte aqui e vai ter interferência. Essa daqui vai interferir com essa. Tá? E aqui eu tenho um anteparo. Que anteparo que é esse. Esse anteparo aqui é esse daqui ó. Tá? Então essa parte aqui é isso aqui.
33:29 - 33:32	122	Vitória: Então a gente nunca ia conseguir montar... [Inaudível]
33:32 - 33:33	123	Professor: O que?
33:33 - 33:37	124	Vitória: Então pra gente montar igual tava... o senhor pediu a gente tinha que ter esses anteparos?
33:38 - 33:40	125	Professor: Podia ser a camiseta. Você poderia colocar a camiseta.
33:41 - 33:43	126	Vitória: Porque só a folha de caderno de nada adiantou.
33:44 - 33:51	127	Professor: Então, pode ser por vários motivos. Um deles é o ângulo, pode ser o ângulo disso aqui ó, pode ser a altura.
33:53 - 33:55	128	Vitória: Você montou alguma coisa? [Referindo-se ao Jaime]
33:56 - 33:57	129	Jaime: Eu montei. [Inaudível]
33:57 - 35:11	130	Professor: Então essa parte vem, bate aqui, ó, tá vendo. E tem a interferência da luz. Aqui tá o anteparo. Tá vendo que dá interferência? E aí você fala: ah legal, eu consigo explicar com o modelo ondulatório. Né? O problema é que quando você joga fótons, você joga partículas dá o mesmo efeito. Então você não consegue explicar isso usando o modelo de onda, porque onda tem interferência. Agora o problema é, como é que eu vou explicar esse negócio desse jeito usando partículas? Se eu jogar um fóton por vez, uma partícula de luz por vez, como é que a partícula de luz vai interferir com ela mesma? Porque ela tem crista, ela tem... essa é a pergunta. Né? Então nesse lado de cá você tem a luz se comportando como onda e aqui você tem a luz se comportando como partícula. Aqui você consegue explicar [Professor aponta para o experimento de Mach-Zehnder o comportamento ondulatório da luz]. Aqui você não consegue explicar. [Professor aponta para o experimento de Mach-Zehnder o comportamento corpuscular da luz] Só que o efeito é o mesmo. Tá vendo, o fenômeno é o mesmo. Tanto como partícula quanto como onda. O que seria legal fazer? Ó. Aqui é quando você tirou o... Sem interferência. Você tirou um dos espelhos e acontece isso.
35:12 - 35:14	131	Jaime: Como tava aquele dia.
35:14 - 35:37	132	Professor: Oi? Como tava aquele dia. Bom. Isso é um problema. Tem um outro vídeo, deixa ver se eu acho aqui. Chama-se Doutor Próton. Porque o que é legal, legal é a gente pegar agora e fazer a experiência com o elétron. Porque elétron... elétron é partícula ou é onda?
35:39 - 35:40	133	Vitória: Partícula.
35:40 - 36:41	134	Professor: Elétron é partícula, né? Então, se a gente fizer a experiência com o elétron e no elétron não der interferência, porque partícula não tem crista né? Aí é legal. Deixa ver s eu consigo só... Tem um vídeo chamado efeito... Doutor Próton. Deixa ver se eu acho. Eu acho que não tá aqui... Esse vídeo do Doutor Próton é bem legal de mostrar. Tá? Antes de continuar com essa apresentação, eu gostaria que vocês fizessem umas questões pra responder, e depois eu vou mostrar pra vocês a finalização. Algumas explicações. Pode ser? Depois vai valer como nota pra vocês. Tá?
36:43	135	[Professor levanta e distribui as atividades]

36:48 - 36:51	136	Professor: Aí eu pego e o que eu vou fazer... Vou fazer isso como nota.
	137	[Alunos conversam e o professor os orientam no preenchimento das atividades]
	138	[Alunos iniciam as atividades escritas]
39:08 - 39:13	139	Vitória: Professor, o que que é complementaridade dualista-realista?
39:13 - 39:43	140	Professor: Eu vou explicar depois... mas devo explicar antes. O negócio é o seguinte. Ele pergunta aí das quatro interpretações né? Aí você falou que pode ser uma coisa ou pode ser outra. Pode ser a mistura das duas. Como é que explica isso? A explicação é essa ó: primeira explicação pra luz, a luz ela pode ser onda.
39:43 - 39:44	141	Vitória: Hum
39:44 - 42:10	142	Professor: E aí como é que você explica a teoria lá da interferência né? O desenho com a bolinha cheio de... Que é vermelha, depois branca, depois vermelha. Se você considerar a luz como onda, então, vocês têm o seguinte: o fóton se divide em dois então ficam dois meios fótons, você pode imaginar isso. No primeiro semi-espelho do interferômetro, então os dois meio fótons se recombinam no segundo assim como ondas, produzindo o padrão de interferência observado. Então é como se fosse uma partícula que se divide em duas. Tá, e aí você vai ter a interferência. O modelo corpuscular. O fóton é uma partícula e nunca se divide. Assim o fóton segue um caminho único, bem determinado, no interior do interferômetro. No semi-espelho o fóton pode ser refletido ou transmitido com a mesma chance. A mesma probabilidade. A outra interpretação é essa daqui ó: o fóton é composto de duas partes. Uma partícula e uma onda. Então tem uma onda e uma partícula junto. Assim, a partícula é como um surfista, viajando sobre a onda. E só pode existir aonde estiver onda. É como se tivesse uma dentro da outra. A onda pode ser dividida e se recombinar nos semi-espelhos, produzindo interferência. Com isso, após o registro de muitos fótons o padrão de interferência pode ser observado na saída do interferômetro. A última interpretação é o da complementaridade. [Professor levanta para atender a porta] A última interpretação é o da complementaridade, ela diz o seguinte: o fóton se manifesta como onda ou como partícula. Então tem hora que ele é onda e tem hora que ele é partícula. Mas nunca como uma coisa e como outra coisa. Tá? Então ele não pode ser uma e outra ao mesmo tempo. No caso da dualista ele pode ser uma e outra. Aqui não. Aqui ele é uma ou outra.
42:11 - 42:40	143	Professor: O arranjo experimental é que determina a cara do fóton. Se a gente observa padrão de interferência, se você observa por exemplo que ele tá dando interferência a gente fala que é onda. Se a gente determina o caminho, a gente diz que ele é partícula. Então se eu digo assim ó: ele vai por esse caminho, a gente fala que é partícula. Porque a partícula você tá vendo ela, a onda não. Tá? Então pode... ser as quatro explicações que têm são essas daí.
42:41 - 42:44	144	Vitória: Aí na tabela a gente vai preencher somente as que a gente considera ou não?
42:45 - 42:46	145	Professor: Como que tá a pergunta?
42:47 - 42:54	146	Vitória: Aqui tá assim ó: preencha o quadro esquematizando as quatro interpretações para a natureza da luz.
42:45 - 44:05	147	Professor: Então você vai explicar aí para cada uma delas o que você entendeu. Se por exemplo, a luz era onda, né, como é que você explica a interferência, a experiência? Deixa eu ver... Olha aqui ó, a interpretação ondulatória. Então a luz, como é que você explica a luz na interpretação ondulatória? Como é que você explica a luz na interpretação corpuscular? Na interpretação da complementaridade e na dualista-realista? Aí depois como é que você explica a luz... a experiência do interferômetro utilizando a interpretação ondulatória. Então usando a explicação de ondas, como é que você explica a experiência? Usando, sendo a luz um corpúsculo, como é que você explica a experiência? E assim por diante. Tá? Então essas são as questões pra vocês fazerem. Vocês querem, o ideal era deixar ali pra vocês olharem. Vocês querem que deixe ali para vocês? [Professor refere-se as explicações das interpretações da projeção]
44:05 - 44:07	148	Vitória: Aham. Melhor.
44:07 - 44:09	149	Professor: Então beleza.
	150	[Alunos iniciam as atividades escritas]
44:11 - 44:13	151	Vitória: Eu não entendi ainda.
44:14 - 44:17	152	Professor: Ah. Qual parte foi que você não entendeu?

44:17 - 44:25	153	Vitória: Tudo. É sério. Mas eu não entendi... Você entendeu tudo? [Dirigindo-se ao Jaime]
44:25 - 44:26	154	Jaime: Mais ou menos.
44:27 - 44:28	155	Alice: Então me explica.
44:29 - 44:30	156	Jaime: Pergunta pro professor.
44:30 - 44:33	157	Professor: O que você não entendeu, Aluna 2?
44:34 - 44:35	158	Alice A luz é o que?
44:36 - 44:38	159	Professor: Ah, então, essa é a pergunta.
44:38 - 44:39	160	Alice: Eu não sei.
44:40 - 44:50	161	Professor: Essa é a pergunta dessa questão. Tá? O que que é a luz, como você entende a luz? Essa é a questão.
44:51 - 44:56	162	Alice: Só que você não nos deu um texto e falou que a luz era uma onda eletromagnética.
44:56 - 44:57	163	Professor: Sim.
44:59 - 45:13	164	Alice: Mas por que que dizem que ela é partícula? Só porque ela não explicou o nome do... o nome do fenômeno que explica a onda mas não explica a matéria.
45:14 - 45:16	165	Professor: Partícula. Corpúsculo.
45:20 - 45:22	166	Alice: O que que é esse efeito fotoelétrico?
45:23 - 46:21	167	Professor: Efeito fotoelétrico é esse efeito aqui. É o do vídeo. É aquele do vídeo [Professor mostra o vídeo anterior] Quando você bate a luz no metal e sai elétrons. Só que o problema é o seguinte: deveria sair elétron para qualquer luz. Tanto para luz branca, vermelha, verde, azul, amarela e assim por diante. Tá? Mas quando você bate a luz ali, algumas luzes, algumas cores não sai. Porque aquela cor tá associada com uma frequência. Quando bate a luz verde ou a luz vermelha não sai elétron. Você pode colocar uma luz vermelha bem forte, bem forte mesmo, não vai sair nada. Agora, o modelo ondulatório deveria explicar, mas não explica. Você fala assim, poxa vida, devera sair. Porque você lembra aquele negócio da ponte? Se você joga um vento fraco, a ponte não treme? Mas se você joga um vento mais forte, o que acontece com a ponte?
46:22 - 46:23	168	Alice: A ponte treme.
46:23 - 47:08	169	Professor: A ponte treme mais e cai, não é? E é a mesma coisa, se você joga uma luz mais forte, deveria sair elétron e ele não sai. Agora depende da cor da luz, da frequência. Se você joga uma luz roxa, uma violeta, o elétron sai na hora. Pode ser uma luz violeta fraca ou forte. Se você joga uma luz forte, sai mais elétrons, se você joga uma luz fraquinha sai elétrons também. Agora como é que você explica isso? Por exemplo, o elétron sai com uma luz fraca, violeta, quando você joga violeta fraca ele sai. Quando você joga um vermelho forte ele não sai.
47:08 - 47:09	170	Alice: Por que?
47:09 - 47:14	171	Professor: Então, essa é a pergunta. Essa era a pergunta do Einstein.
47:18 - 47:21	172	Alice: Então a cor violeta deve ter alguma coisa.
47:21 - 48:10	173	Professor: Então, o que que ele fala. O Einstein diz o seguinte, ó: a única explicação é assim: na luz vermelha, a luz vermelha é formada por partículas, essas partículas estão associadas com uma frequência. Quando é a luz roxa também têm partículas associadas a uma outra frequência. Quando você pega uma bola de bilhar, se você joga uma bola de bilhar e bate na outra, a bola sofreu uma parada... a ideia é mais ou menos essa. Entendeu? Porque naquele metal não tem um monte de elétrons? Se eu jogo uma bola de bilhar ali, o que acontece com esse elétron?
4813: - 48:15	174	Alice: O elétron vai sair.
48:15 - 48:34	175	Professor: Exatamente. Sai. Essa é a ideia do Einstein. Então ele fala assim ó, existem algumas bolas de bilhar que seu jogo uma bolinha de gude pequenininha, a bola de metal não sai, e o fóton tem que ser bolas certinhas. É isso que ele fala.

48:34 - 48:35	176	Alice: Ahh...
48:38 - 48:40	177	Professor: Entendeu mais ou menos ou não entendeu?
48:40 - 48:41	178	Alice: Entendi.
48:42 - 49:47	179	[Alunos fazendo as atividades]
49:48 - 49:50	180	Professor: Vocês querem que eu volte a experiência?
49:57 - 49:59	181	Alice: É, volta na explicação.
50:03 - 50:31	182	Professor: Então olha só. Pode voltar lá? A experiência é essa daqui. [Professor retoma o interferômetro de Mach-Zehnder] A experiência é exatamente essa. Então olha só o que acontece. Quando eu jogo a luz, aparece isso. Isso é o que eu não consigo explicar. Por que eu não consigo explicar. Por causa... a explicação é essa daí. A luz não se comporta como onda?
50:31 - 50:32	183	Alice: Aham.
50:32 - 50:52	184	Professor: Pá, pá. Vem aqui, tal, bate aqui, bate aqui. Essa luz que vem por esse caminho, ela tem dois caminhos, ela tem esse caminho. E esse caminho é o caminho um e esse é o dois. Quando essa daqui, essa, essa que to passando o ponteiro do mouse, encontra com essa daqui ó, no outro caminho, tá vendo a interferência aqui ó?
50:52 - 50:53	185	Alice: Uhum.
50:54 - 50:58	186	Professor: Tem uma onda que encosta na outra. Neste caso, ele é partícula ou onda?
50:58 - 50:59	187	Alice: Onda.
51:00 - 51:15	188	Professor: É onda. Como é a figura que forma? A figura que forma é essa daqui. É essa figura. Tá vendo? Então, tudo que eu expliquei pra vocês, eu acabei de mostrar, a figura que vai formar é essa. O modelo ondulatório consegue explicar?
51:16 - 51:17	189	Alice: Sim.
51:17 - 51:28	190	Professor: Consegue. O modelo ondulatório explica tranquilo. Por quê? Porque tem a crista da onda, tem a crista da outra onda. Quando uma crista encontra com uma outra crista, não dá interferência?
51:28 - 51:29	191	Alice: Dá.
51:28 - 51:37	192	Professor: Tem a crista de uma onda, tem o vale da outra, quando uma encontra com a outra, não dá uma interferência também?
51:37 - 51:38	193	Alice: Dá.
51:38 - 52:02	194	Professor: Uma destrói a outra, né. Quando as duas são assim... Beleza. Então essa explicação aqui, essa daqui, você explica com a luz, tranquilo. A interferência luminosa. Agora o problema é: quando eu jogo elétrons ou quando eu jogo fótons, na verdade, eu vou jogar fótons, olha só. Isso aqui não é um muito parecido com isso? [Professor mostra na projeção o interferômetro]
52:02 - 52:03	195	Alice: É.
52:03 - 52:41	196	Professor: Só que se eu estou jogando fótons, vocês fizeram essa experiência, não fizeram? No simulador? Tá aqui ó. Tem até aqui essa experiência. O problema é quando eu jogo fótons, como é que o fóton, deixa ver se eu, tá aqui ó. A experiência é essa. Vou até mostrar aqui ó, então ó, o laser, né, ligado, ó, tá vendo? [Professor mostra a experiência na projeção] Você consegue explicar isso por onda? Consegue.
52:41 - 52:42	197	Alice: Sim.
52:43 - 52:48	198	Professor: Agora o problema é, vou jogar fóton. Tá vendo que eu estou jogando fótons?
52:48 - 52:49	199	Alice: Sim.

52:50 - 53:16	200	Professor: Olha lá. Se a gente tiver, daqui um tempo, olha o que vai acontecer daqui um tempo. O laser, olha o laser. Como é que você explica como um laser? Ó, vem o feixe, olha lá, tá vendo? Indo pelos dois caminhos? Você explica pelo laser da seguinte maneira: tá tendo uma interferência aqui e tem uma interferência aqui. (troca de câmera)
0:03 - 0:40	201	Professor: Como que é a interferência... O eu tá indo por esse caminho, e o que tá indo por esse caminho, interferem e dá essas duas figuras, não dá? Agora o problema é: o laser não vai pelos dois caminhos? Agora o problema é: quando eu jogo o fóton, a partícula. A partícula ela ou vai por esse caminho ou vai por esse. Por exemplo o ônibus, um ônibus vai pra Guarulhos, pro centro de Guarulhos. Ele vai ou pelo caminho da Tiradentes ou pelo caminho da Monteiro Lobato, não é?
0:40 - 0:41	202	Alice: É.
0:41 - 0:45	203	Professor: Tem como um ônibus ir pelas duas avenidas ao mesmo tempo?
0:45 - 0:46	204	Alice: Nenhum.
0:47 - 0:53	205	Professor: Olha só aqui. Tem como um ônibus ir por esse caminho e o ônibus ir por esse caminho?
0:54 - 0:55	206	Alice: Não.
0:55 - 0:57	207	Professor: Agora o fóton, o laser.
0:57 - 0:58	208	Alice: Vai dividir.
0:58 - 0:59	209	Professor: O laser não divide?
0:59 - 1:00	210	Alice: Divide.
1:00 - 1:08	211	Professor: A luz, a onda divide. Quando junta aqui. Não dá a interferência?
1:08 - 1:09	212	Allice: Dá.
1:09 - 2:36	213	Professor: Dá a interferência. Dá a interferência. Porque a onda divide. Agora o fóton que é partícula não divide. Olha, tá vendo desse lado, onde tem a tabelinha? O que eu estava dizendo pra vocês né? Deixa... Não vai dar pra mostrar...Não tá dando. Então olha só o que acontece. Desse lado de cá, da tabela, tá escrito detector um, dois e três. Então aqui tá escrito assim: Anteparo um. Pelo anteparo um, que é esse daqui ó, estão batendo oitenta elétrons, oitenta fótons. E aqui está batendo oitenta também. Só que está saindo daqui cento e sessenta. O que que está acontecendo? Uma parte está vindo pra cá... uma parte está vindo pra cá, mais ou menos a metade. Então o que acontece, de alguma maneira, eles estão fazendo aparecer essa figura aqui ó. Vou ir mais rápido só para você ver, tá vendo? Como é que aparece essa figura aqui ó? Essa figura não é uma figura de interferência?
2:36 - 2:37	214	Alice: É.
2:38 - 3:18	215	Professor: Porque olha, tá interferindo né? Como é que pode ter uma figura de interferência de um ônibus com outro ônibus? [Longa pausa] Não tem problema, escreve do jeito que você imagina, do jeito que você explica não tem problema. Tá?
	216	[Alunos fazendo as atividades]
3:35 - 3:37	217	Vitória: Professor, como é que explica a complementaridade?
3:37 - 3:38	218	Professor: Essa daqui?
3:38 - 3:40	219	Vitória: É. Pra eu entender o que que é. [Professor mostra os slides das interpretações]
4:31 - 4:33	220	Alice: Professor, que experiência é essa daqui...
4:33 - 4:34	221	Professor: Oi?
4:34 - 4:38	222	Vitória: Professor, que experiência é essa daqui do interferômetro?
4:39 - 4:42	223	Professor: É aquela que vocês fizeram na semana passada. É essa daqui, ó. [Professor mostra o slide da experiência. Fig - 1]

4:32 - 4:47	224	Vitória: Ah, tá. É tanto no fóton...
4:48 - 5:08	225	Professor: Esse é o fóton, olha...[Inaudível] Não, deixa eu ver. Mostra pra mim.
5:09 - 5:16	226	Vitória: [Vitória aponta na folha a questão] Aqui então é onda e aqui é o fóton. Porque eu sei que é o fóton porque ele incita. Mas aqui... [Inaudível]... Qual experiência?
5:17 - 5:48	227	Professor: [Lendo a questão] A experiência... A explicação da experiência do interferômetro para um fóton. Não, na do meio você vai explicar a experiência. Pode ser com o fóton, ou pode ser com a onda. Pode ser com o modelo corpuscular ou com outro modelo. Você vai explicar. No de baixo você vai explicar só usando a ideia da partícula.
	228	[Alunos fazendo as atividades]
7:48 - 7:50	229	Alice: Professor, qual a experiência... [Inaudível]
7:50 - 7:52	230	Professor: O que tem, não entendi.
7:52 - 7:53	231	Alice: Qual a experiência...
7:54 - 8:02	232	Professor: A do interferômetro? É aquela que tem a luz que vai por um lado ou por outro. É aquela experiência da semana passada. Você lembra do simulador?
8:03 - 8:04	233	Alice: Sim.
8:08 - 8:10	234	Débora: Não entendi essa daqui. [Aluna aponta para a folha]
8:12 - 8:13	235	Professor: O da complementaridade?
8:13 - 8:14	236	Débora: É.
8:14 - 9:12	237	Professor: Uma delas é o seguinte, que a luz se comporta ou como uma coisa ou como outra. E na outra, a luz se comporta de um jeito e de outro. Então, é... A luz pode ser uma coisa e outra ou a luz pode ser uma coisa ou outra coisa. É isso o que ele tá perguntando. É assim ó: no primeiro caso, vamos supor que a luz seja uma onda, só onda, no segundo caso ele usa só partícula. Só partícula. No terceiro caso, deixa eu ver da complementaridade, no terceiro caso ela é uma coisa ou outra coisa. Não, desculpa, no terceiro caso ela é uma coisa e outra coisa. Ela é as duas juntas. No quarto caso ela é uma coisa ou outra. Tem hora que ela é uma coisa, tem hora que ela é outra, mas nunca as duas juntas.
9:12 - 9:13	238	Débora: Entendi.
9:20 - 9:39	239	Professor: Tá? Então no primeiro ela é só onda, no segundo ela é só partícula, no terceiro ela é uma e outra e no quarto ela ou é uma ou é outra. [Apontando e perguntando para o jaime] O que é luz pra você?
9:40 - 9:42	240	Jaime: É essa daqui. [Apontando para a luminária do teto]
9:43 - 9:44	241	Professor: Como é que você explica isso.
9:44 - 9:48	242	Jaime: Sei lá... Hã?
9:48 - 9:51	243	Professor: Se uma menina do terceiro colegial perguntar o que é luz, o que você fala?
9:52 - 9:55	244	Jaime: Eu falo assim: pergunta para o professor Romero.
9:56 - 9:58	245	Professor: Sério, o que você fala?
9:59 - 10:01	246	Jaime: Eu falo que eu não sei, professor.
10:00 - 10:02	247	Professor: E aí fala por que que você não sabe?
10:03 - 10:04	248	Jaime: Porque eu não sei, ué.
10:04 - 10:05	249	Professor: O que você sabe de luz?

10:06 - 10:07	250	Jaime: Depende.
10:08 - 10:09	251	Professor: Depende do que?
10:10 - 10:12	252	Jaime: Ah, deixa eu terminar aqui que eu falo. [Risos]
10:35 - 10:37	253	Professor: Bom, então tá no terceiro ano e não sabe o que é luz.
10:37 - 10:39	254	Jaime: Eu não sei não, professor.
10:41 - 10:42	255	Professor: Você acha que merece passar?
10:43 - 10:44	256	Jaime: É claro!
10:58 - 11:00	257	Professor: Beleza, então me explica o que é luz e eu te passo.
11:01 - 11:02	258	Jaime: Ah, para professor...
11:10 - 11:14	259	Professor: Tá bom, agora me explica aí, o que é luz? O que você acha?
11:14 - 11:18	260	Jaime: Eu tenho vergonha, eu sou tímido.
11:20 - 11:23	261	Professor: Eu vou até arrumar uma namorada pra você hein, mas primeiro você me fala o que é luz.
11:23 - 11:24	262	Jaime: Não precisa não.
11:24 - 11:26	263	Professor: Não quer uma namorada? [Risos. Inaudível]
	264	[Alunos fazendo as atividades]
0:00 - 0:00	265	[Professor atende a porta]
0:07 - 0:09	266	Débora: [Perguntando ao professor] Professor, é assim... [Inaudível]
0:11 - 0:16	267	Professor: O que esse negócio da luz tem a ver com a caixinha, você lembra? O problema...
0:17 - 0:21	268	Débora: Eu lembro. Mas eu não consigo... Entender.
0:21 - 0:26	269	Fábio: É assim, ela é formada por... Pelos dois, pra mim professor.
0:27 - 0:30	270	Professor: [Dirigindo-se para o Fábio] Você também acha que ela é formada pelos dois? Por onda e por partícula?
0:32 - 0:41	271	Fábio: [Balançando a cabeça, concordando que sim] Ah professor, porque a partícula, ela se une a...a outra partícula e forma um... Tipo uma matéria.
0:42 - 0:44	272	Professor: [Dirigindo-se a Alice] Você acha que é uma onda o uma partícula?
0:44- 0:48	273	Alice: [Inaudível] Eu fico em dúvida do que é. Eu quero que alguém me prove, que me prove.
0:48 - 0:51	274	Professor: Então, mas como é que você explica o efeito fotoelétrico, por exemplo?
0:52 - 0:54	275	Alice: Então me prove, me prove pra "mim" acreditar em você.
0:55 - 1:06	276	Professor: Beleza, a luz é uma onda, né? É assim, se é uma onda, quando ela bate lá no metal, o vermelho, o vermelho bem forte deveria sair o elétron. Mas por que não sai?
1:08 - 1:16	277	Alice: Porque deus quis. Porque deus não quis. Deus não quis que saísse com a luz vermelha. Pronto. Já era. Resolvi [Risos]
1:18 - 1:21	278	Professor: [Dirigindo-se a Juliana] E você, o que você acha? Ela é uma partícula ou é uma onda? Ou é as duas?
1:21 - 1:28	279	Juliana: Eu acho que ela é uma partícula e onda, só que não ao mesmo tempo. Ela pode aparecer das duas formas, só que não ao mesmo tempo.

1:28 - 1:29	280	Professor: Ela é uma coisa...
1:29 - 1:31	281	Juliana: E outra, só que não ao mesmo tempo.
1:31 - 1:32	282	Professor: Tá, então...
1:32 - 1:33	283	Juliana: Isso.
1:33 - 1:35	284	Professor: Ela é uma coisa ou é outra.
1:35 - 1:36	285	Alice: Mas ela pode se mudar?
1:37 - 1:48	286	Professor: [Dirigindo-se a Juliana] Então você tá achando que é dualista-realista? E ela tá achando que é a complementar [Apontando para a Débora]. Vocês duas estão achando que a luz é onda ou...
1:49 - 1:54	287	Débora: Não, a luz é onda. Mas com isso ela se divide em partículas.
1:54 - 1:56	288	Professor: Então ela é as duas coisas ao mesmo tempo.
1:56 - 1:57	289	Débora: É.
1:57 - 2:00	290	Professor: [Dirigindo-se a Juliana] Você tá achando que ela é uma coisa ou outra.
2:00 - 2:05	291	Juliana: Ela pode ser porque ela tem as duas formas, só que não ao mesmo tempo, como nas experiências.
2:05 - 2:07	292	Professor: Tá, mas não ao mesmo tempo?
2:07 - 2:17	293	Juliana: Isso. Nas experiências, tinha uma que mostrava a luz em partículas e a outra... Que... Em ondas.
2:17 - 2:34	294	Alice: Tá, tudo bem... eu vou pelo raciocínio dela [Apontando para a Juliana] Que é lógico. As duas não podem ser ao mesmo tempo porque seria estranho. Uma nova... Não tem lógica deixar os dois ao mesmo tempo. Os dois, dois... Pode ser. [Apontando para a Juliana] Ou uma ou outra.
2:34 - 2:36	295	Professor: Por que você mudou de ideia? [Referindo-se a Alice]
2:37 - 3:13	296	Alice: Porque. Porque professor... Você falou do efeito fotoelétrico. Tá tudo bem. Eu não consigo explicar porque eu não sei. Mas agora com o da partícula, a gente, você me explicou também, que dá pra é... que vai sair, tem que ser uma bolinha que tem que acertar pra mover. Tá. Se eu pensasse nas duas como uma só fica estranho, não faz muito sentido. Como se pode ter uma coisa só? Agora uma pode ser e a outra depois mudar. Uma ou outra. Não é? Então me fala professor, o que significa.
3:14 - 3:18	297	Professor: Pode ser uma coisa ou pode ser outra... exatamente. Pode não ser também.
3:19 - 3:20	298	Alice: Isso é cruel.
3:20 - 3:24	299	Professor: Então, mas aí é uma opinião sua, o que você gostaria de saber.
3:24 - 3:25	300	Alice: Eu vou pesquisar na internet.
3:26 - 3:29	301	Professor: Não. Você, ó. Você tá no terceiro colegial, tem que se formar e saber o que é luz.
3:30 - 3:33	302	Alice: Então, vou lá na internet e procuro o que que é luz.
3:35 - 3:40	303	Professor: Se você fosse criar um site na internet, você concorda que alguém escreveu algo na internet?
3:40 - 3:41	304	Alice: Uhum.
3:41 - 3:45	305	Professor: Alguém tem que escrever. Tá lá. Se fosse pra você escrever, o que você escreveria?
3:46 - 3:52	306	Alice: Ah, eu ia colocar que são as duas só que não ao mesmo tempo.

3:52 - 3:54	307	Professor: As duas só que não ao mesmo tempo?
5:54 - 3:58	308	Alice: É. Só que outras pessoas devem ter opinião diferente da minha.
3:59 - 4:01	309	Professor: Legal, elas duas tem opinião diferente de você. [Professor aponta para a Débora e Juliana]
4:02 - 4:06	310	Alice: Ah, tudo bem. Então o que que você vai me dizer, se é ou não é?
4:07 - 4:18	311	Professor: Quem vai te dizer é o problema da caixinha. Vou fazer uma outra pergunta: como você imagina que é um elétron? O que seja um elétron.
4:18 - 4:19	312	Alice: Não sei.
4:20 - 4:22	313	Professor: Como é que um professor de Química desenha um elétron na lousa?
4:23 - 4:26	314	Alice: Desenha uma bolinha assim, um negócio assim... [Desenhando na carteira]
4:27 - 4:30	315	Professor: Então... Eu não poderia desenha o elétron como se fosse um cachorrinho?
4:32 - 4:33	316	Alice: Não.
4:33 - 4:34	317	Professor: Por que não?
4:34 - 4:36	318	Alice: Por que é desse jeito. [Apontando para a carteira]
4:37 - 4:38	319	Professor: Alguém já viu um elétron?
4:38 - 4:39	320	Alice: Não.
4:44 - 4:47	321	Juliana: Boa pergunta. Por que ninguém sabe que é desse jeito se ninguém nunca viu?
4:47 - 4:50	322	Professor: Não, então essa é a pergunta. Deixa eu ver se outro professor está vindo. [Dirigindo-se até a porta da sala]
4:58 - 5:03	323	Alice: Então tudo que me ensinaram é uma mentira?? Tudo que me ensinaram é uma mentira!!
5:03 - 5:11	324	Professor: Então... Essa é a pergunta. Como é que você faz para... O aluno nunca viu o elétron. Por que o professor coloca a fórmula na lousa?
5:12 - 5:13	325	Alice: Ele imagina?
5:13 - 5:14	326	Professor: Oi?
5:14 - 5:15	327	Alice: Ele imagina.
5:15 - 5:25	328	Professor: Mas no livro de Química também está uma bolinha, não tá? Então essa é a pergunta, como é que você fala que a luz é uma coisa ou é outra? Se ninguém nunca...
5:30 - 5:37	329	Juliana: Ah... Eu cheguei a essa conclusão através das experiências. Porque uma mostra a luz de um jeito e outra mostra a luz de outro jeito.
5:37 - 5:38	330	Professor: Como que você chegou?
5:38 - 5:59	331	Juliana: As experiências. Tem uma experiência que mostra a luz como partícula e outra como onda, só que nenhuma delas demonstra as duas ao mesmo tempo, porque não tem lógica, não tem sentido. E eu vou continuar acreditando nisso até que alguém me prove o contrário. Ao mesmo tempo? Como?
6:00 - 6:05	332	Alice: [Balançado a cabeça, concordando com a Juliana] A não ser que a gente tivesse uma experiência em que desse pra mostrar as duas. As duas.
6:07 - 6:19	333	Professor: Vou mudar a pergunta. A pergunta que eu vou fazer é outra. Imagina que esse espaço tem uma floresta, uma floresta desabitada.
6:19 - 6:20	334	Alice: Hum

6:21 - 6:37	335	Professor: Tem árvore, tal, riozinho bonitinho... Aí lá no meio da floresta uma das árvores, tem várias árvores, algumas são mais jovens, e algumas árvores são mais velhas. Aí de repente, só que não mora ninguém lá perto. De repente uma árvore cai. Consegue imaginar isso?
6:37 - 6:38	336	Todos: Sim
6:39 - 6:41	337	Professor: Então eu vou fazer uma pergunta. Posso fazer a pergunta?
6:41- 6:42	338	Alice Pode.
6:42 - 6:46	339	Professor: Essa árvore que caiu, ela faz barulho? Ela emite som?
6:47 - 6:48	340	Juliana: Emite
6:48 - 6:49	341	Professor: Oi? Emite?
6:49 - 6:50	342	Juliana: Emite sim.
6:51 - 6:53	343	Professor: Como é que você sabe, que ela emite som?
6:55 - 6:57	344	Alice: Porque ela caiu no chão.
6:57 - 6:58	345	Professor: Você a ouviu?
6:59 - 7:07	346	Alice: Não. Mas eu sei que vai emitir, porque se for em um lugar na terra, igual aqui e cair uma árvore vai fazer barulho.
7:09 - 7:12	347	Professor: Como é que você sabe que ela fez barulho se você não ouviu?
7:14 - 7:16	348	Alice: Se for uma árvore grande...
7:15 - 7:17	349	Fábio: Porque a gente imagina, professor.
7:16 - 7:17	350	Professor: [Apontando para o Fábio] Oi?
7:17 - 7:19	351	Alice: Porque a gente imagina.
7:19 - 7:22	352	Professor: Como é que você sabe que o elétron é uma bolinha se você nunca viu?
7:23 - 7:30	353	Alice: Porque desde sempre todos passaram que é isso então a gente acabou acreditando que é isso, mas não tem...
7:30 - 7:38	354	Professor: Vocês estão entendendo? A luz é uma onda ou uma partícula?
7:38 - 7:40	355	Alice: Não... Eu ainda não caí do cavalo.
7:40 - 7:41	356	Professor: Beleza... Vamos parar...
		[Final da aula]