

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA
MESTRADO PROFISSIONAL**

SUZANA FRANÇA DE OLIVEIRA DA SILVA

**APRENDIZAGEM POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA DE ÓPTICA
GEOMÉTRICA EM LABORATÓRIO**

CAXIAS DO SUL, RS

SETEMBRO

2017

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

**APRENDIZAGEM POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA DE ÓPTICA
GEOMÉTRICA EM LABORATÓRIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Caxias do Sul, sob a orientação do Prof. Dr. Francisco Catelli e coorientação do Prof. Dr. Odilon Giovannini Júnior, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

CAXIAS DO SUL

2017

F814a França de Oliveira da Silva, Suzana
Aprendizagem Potencialmente Significativa de Óptica
Geométrica em Laboratório : Aprendizagem Potencialmente
Significativa de Óptica Geométrica em Laboratório / Suzana França de
Oliveira da Silva. – 2017.
120 f.: il.
Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul,
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática,
2017.
Orientação: Francisco Catelli.
Coorientação: Odilon Giovannini Júnior
1. Física, Aprendizagem Significativa, Experimentos, Câmera
Escura. I. Catelli, Francisco, orient. II. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UCS com os dados
fornecidos pelo(a) autor(a).

Aprendizagem potencialmente significativa de óptica geométrica em laboratório

Suzana França de Oliveira da Silva

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós – Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática, Área de Concentração: Ensino de Ciências e Matemática.

Caxias do Sul, 05 de outubro de 2017.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Francisco Catelli (orientador)
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Dr. Odilon Giovannini Junior (coorientador)
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Dr. Silvio Luiz Souza Cunha
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Alexandre Mesquita
Universidade de Caxias do Sul

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por ser à base das minhas conquistas.

A minha mãe Olaide França de Oliveira e meu irmão Adilson França de Oliveira, por acreditarem em minhas escolhas, apoiando-me e esforçando-se junto a mim, para que eu suprisse todas elas.

A meu esposo Joel Zimmermann da Silva, por todo apoio, carinho e compreensão durante esta caminhada.

Ao Professor Francisco Catelli, meu orientador, pela dedicação em suas orientações prestadas na elaboração deste trabalho, pelo incentivo, conhecimento partilhado e paciência no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Odilon Giovannini Júnior, meu coorientador pelas orientações, sugestões e críticas construtivas durante o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de um estudo exploratório integrado em uma investigação mais ampla que visa à promoção de Aprendizagem Significativa na área da Física, centrada em Trabalho Experimental na área de Óptica Geométrica. É feita uma descrição detalhada da teoria da aprendizagem significativa na visão clássica de David Ausubel e os possíveis obstáculos epistemológicos que podem ocorrer em uma atividade exploratória. Com o presente estudo fez-se um levantamento de situações promotoras de aprendizagem em sala de aula, no domínio da Física, baseadas em Trabalho Experimentais. Para fazer uma recolha de opiniões aplicaram-se questionários a alunos do Ensino Médio referentes ao assunto. No desenvolvimento do trabalho foram desenvolvidos pelos alunos mapas conceituais e uma oficina com câmara escura.

Palavras-chave: Física, aprendizagem significativa, alunos, experimento, câmara escura.

ABSTRACT

This work presents results of an exploratory result integrated in a broader research that aims to Significant Learning Promotion in Physics, focused on Experimental Work in Geometric Optics. It is done a detailed description of the theory of meaningful learning in the classic vision of David Ausubel and the possible epistemological obstacles that can occur in an exploratory activity. With the present study it was made a survey of learning situations in the classroom in the field of physics, based on experimental work. To obtain opinions were applied questionnaires to high school students regarding the subject. In the development of the work were developed by the students concept maps and a workshop with camera escura.

Keywords: Physics, significant learning, students, experiment, camera escura.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Linha do tempo de alguns personagens importantes na construção das ideias na óptica.....	50
Figura 2- Propagação da luz em meios diferentes, segundo Newton.....	53
Figura 3- Acima: ondas "planas" no mar. Abaixo: como uma frente de onda se propaga, na perspectiva das "ondículas" propostas por Huygens.....	54
Figura 4- As frentes de onda (linhas urvas, pontilhadas) numa refração.....	55
Figura 5- Trajetória da Luz de um ponto a outro, segundo Feynman	55
Figura 6- O traçado de raios numa câmara escura.....	57
Figura 7- É idêntica à figura anterior, exceto pelo fato de o objeto dessa vez, estar mais longe.....	57
Figura 8- Imagem do Sol, formadas sobre uma folha de papel colocada no solo,.....	59
Figura 9- Experiência de fenda dupla de Young.....	60
Figura 10- Quando a perspectiva corpuscular deixa de “funcionar”.....	61
Figura 11- Câmera escura.....	67
Figura 12- Palavras ditas pelos alunos, ligadas à palavra “luz”.....	75
Figura 13- Mapa produzido pelos alunos.....	76
Figura 14- Pesquisadora demonstrando o traçado dos raios de luz.....	78
Figura 15- Pesquisadora distribui papel quadriculado.....	78
Figura 16- Alunos fazendo o traçado dos raios de luz.....	79
Figura 17- Primeira parte do traçado dos raios de luz.....	79
Figura 18- Segunda parte do traçado dos raios de luz.....	80
Figura 19- Pesquisadora apresenta as caixas escuras para os alunos.....	81
Figura 20- Alunas desenhando uma figura na lâmpada.....	82
Figura 21- Figura feita na lâmpada.....	83
Figura 22- Alunos colocando papel alumínio na janela da caixa.....	83
Figura 23- Aluno fazendo um orifício na caixa.....	83
Figura 24- Alunos escurecendo a sala de aula com tecidos.....	84
Figura 25- Câmara escura em funcionamento.....	85
Figura 26- Câmara em funcionamento.....	86
Figura 27 - Segundo traçado dos raios de luz.....	85
Figura 28- A falha mais comum nos desenhos feitos por alguns dos alunos.....	86
Figura 29- Três mapas conceituais elaborados pelos alunos.....	90

ABREVIATURAS E SIGLAS

ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa
PEF	Projeto de Ensino de Física
USP	Universidade de São Paulo
MEC	Ministério da Educação e Cultura
Fename	Fundação Nacional de Material Escolar
Premen	Programa de Expansão de Melhoria do Ensino
OE	Obstáculos Epistemológicos
O1	Obstáculo um
O2	Obstáculo dois
AS	Aprendizagem Significativa

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
1.1.	Problemas ligados às atividades experimentais em ambiente didático	16
1.2.	Objetivos.....	19
<i>1.2.1.</i>	<i>Gerais</i>	<i>19</i>
<i>1.2.2.</i>	<i>Específicos</i>	<i>19</i>
1.3	Justificativa.....	19
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	26
2.1.	Aprendizagem significativa.....	26
2.2	Como determinar se uma aprendizagem foi (potencialmente) significativa?	32
2.3.	A aprendizagem no ambiente de laboratório	33
2.4	Os obstáculos epistemológicos e a aprendizagem em laboratório	35
<i>2.4.1.</i>	<i>A experiência Primeira.....</i>	<i>36</i>
<i>2.4.2</i>	<i>O conhecimento Geral.....</i>	<i>37</i>
<i>2.4.3</i>	<i>Obstáculo Verbal</i>	<i>38</i>
<i>2.4.4</i>	<i>Substancialismo</i>	<i>39</i>
<i>2.4.5</i>	<i>Realismo</i>	<i>40</i>
<i>2.4.6</i>	<i>Animismo</i>	<i>41</i>
2.5.	Uma imagem de ciência para conduzir as atividades exploratórias no laboratório .	43
2.6.	A historicidade dos conteúdos escolares de Física.....	48
2.7.	A óptica no interior dos conteúdos da Física do Ensino Médio	50
2.8	Princípios físicos da câmara escura e quando eles deixam de “funcionar”	56
2.9.	Mapas Mentais	61
3.	METODOLOGIA	63
3.1.	Planejamento da atividade.....	66
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
4.1.	Questionário prévio sobre óptica	72

4.2 Palavras Chave para desenvolvimento das atividades.....	74
4.3. Exemplo de mapa mental produzido pelos alunos	75
4.4. Descrição detalhada da atividade exploratória com câmara escura	76
4.5. Mapas conceituais elaborados pelos alunos.....	89
5. PRODUTO FINAL	91
7. REFERÊNCIAS	95
7.1.Livros.....	95
7.2. Artigo em periódico/revista.....	97
7.3. Artigos acessados na rede mundial de computadores.....	100
7.4. Dissertações de mestrado	101
7.5. Artigos apresentados em congressos.....	102
APÊNDICE 1 - Produto.....	102
APÊNDICE 2 - QUESTÕES QUE SURGIRAM DURANTE A EXECUÇÃO DA ATIVIDADE	115
APÊNDICE 3 - DIAGRAMAS de raios criados pelos alunos	118

1. INTRODUÇÃO

Desde o final do século passado, o laboratório tem sido considerado um importante meio instrucional no ensino de ciências. Atividades de laboratório foram usadas em Química no segundo grau já na década de 1880 (FAY, 1931). Em 1886, a Universidade de Harvard publicou uma lista de experimentos que deveriam ser incluídos em aulas de Física para alunos de segundo grau que pretendessem estudar em Harvard (MOYER, 1976). O ensino de laboratório era considerado essencial porque provia treinamento em observação, fornecia informações detalhadas e estimulava o interesse dos alunos. As mesmas razões são ainda aceitas mais de 100 anos depois (BLOSSER, 1988).

Shulman e Tamir, no *Second Hand book of Research on Teaching* (Travers, org., 1973), listaram cinco grupos de objetivos que podem ser atingidos através do uso do laboratório em aulas de ciências:

- (a) habilidades - de manipular, questionar, investigar, organizar e comunicar;
- (b) conceitos - como hipótese, modelo teórico, categoria taxionômica;
- (c) habilidades cognitivas - pensamento crítico, solução de problemas, aplicação, análise, síntese;
- (d) compreensão da natureza da ciência - empreendimento científico, cientistas e como eles trabalham existência de uma multiplicidade de métodos científicos, inter-relações entre ciência e tecnologia e entre as várias disciplinas científicas;
- (e) atitudes - como curiosidade, interesse, correr risco, objetividade, precisão, confiança, perseverança, satisfação, responsabilidade, consenso, colaboração, gostar de ciência (SHULMAN e TAMIR, 1973, p. 119).

Desta forma, o trabalho, volta sua atenção para o laboratório de Física. Propostas que exijam um menor custo para laboratórios didáticos de Física já vêm a muitos anos surgindo na literatura especializada em Ensino de Física (SILVA e LEAL, 2017). A sociedade moderna de uma forma geral tem procurado cada vez mais a inovação tecnológica levando em conta a sua criatividade, fazendo assim, com que a população científica evolua, aumentando a busca por estratégias educacionais, dedicando-se ao desenvolvimento de novas técnicas e habilidades adicionais (MORAES E SILVA JR. 2014).

Porém, segundo Quirino e Lavarda (2001), e para a pesquisadora, a comunidade de professores do Ensino Médio se encontra desprovida de uma publicação que contenha uma boa coleção de experimentos de fácil execução, com baixo custo, e que considerem minimamente

uma série de restrições que serão apontadas mais adiante, na justificativa. O ensino de Física deve ser significativo, e a palavra “significativa” implica, entre outras coisas, no resgate dos objetos, fatos, eventos do cotidiano dos alunos. Devolvendo-os a eles re trabalhados à luz do que é chamado “ciência”.

Este tipo de abordagem didática pode ser uma opção para escolas públicas, pois, além de facilitar a aprendizagem em Física, cria nos participantes deste grupo um comprometimento com seu aprendizado, pois eles são os responsáveis pela construção do seu conhecimento; acreditamos que o interesse e a motivação podem ser consequências desta abordagem didática, contribuindo para a valorização da escola: com os instrumentos construídos, estão ajudando a equipá-la e garantindo a manutenção do que construíram (PINHEIRO e COSTA, 2007).

Ainda de acordo com Pinheiro e Costa 2017, se a premissa é fazer um ensino significativo, o laboratório estará – em grande parte – justamente nesses objetos, fatos, eventos do cotidiano. Tudo o que é usado (lentes, fontes de luz, anteparos, trenas, espelhos, e tudo o mais), mesmo que seja “comprado” com essa finalidade, será destinado para uso porque é significativo, e não porque faz parte de um laboratório. Então, ter um “estoque” de material e uma sala (laboratório) talvez não seja o problema central, quando se trata de fazer aulas experimentais significativas.

A disciplina de Física é vista por alguns alunos como uma disciplina muito difícil de entender, complexa e alguns alunos ainda a julgam desnecessária. São vários os problemas encontrados neste momento para que a aprendizagem não ocorra ou não seja bem sucedida. O primeiro deles é relacionado às sérias dificuldades encontradas pelos alunos em entenderem o conteúdo, que podem estar ligadas a uma linguagem não familiar a eles, talvez os livros e materiais didáticos possuam uma linguagem não apropriada, não muito clara para o aluno, talvez por conta dos problemas que são apontados a seguir.

Numa sociedade mais complexa, com mais informações disponíveis, o professor precisa ser muito mais criativo nas suas propostas, atividades, mediações. A melhor estratégia é a da automotivação. Professor motivado motiva os alunos (MORAN, 2008). Professor que mostra entusiasmo pelo que fala, pelo conhecimento, contagia os alunos. A comunicação aberta e acolhedora é fundamental para o sucesso pedagógico. O acolhimento afetivo é condição fundamental de aprendizagem significativa, integral (MORAN, 2008). Sendo assim, o desafio é buscar novos caminhos, abrindo possibilidades para uma maior eficiência dos métodos de ensino.

O melhor modo de aprender e ensinar vêm sendo estudado há anos e ainda promove inúmeras discussões. Todo ser humano nasce com potencial para a aprendizagem, todos adquirem novos saberes, desenvolvem competências e mudam de comportamento em qualquer idade ou tempo (ARAÚJO, 2014).

Segundo Moraes e Silva Júnior (2014), a sociedade moderna de uma forma geral tem procurado cada vez mais a inovação tecnológica levando em conta a sua criatividade, fazendo, assim, com que a população científica evolua, aumentando a busca por estratégias educacionais, dedicando-se ao desenvolvimento de novas técnicas e habilidades adicionais. Assim como a sociedade, os alunos estão abertos à descoberta de coisas novas e interessantes, buscam respostas para tudo que veem e procuram entender melhor e de forma mais abrangente o que acontece ao seu redor.

De acordo com Araújo e Pazzini (2013), em interação com o ambiente físico e social, o conhecimento sofre um processo de contínua elaboração e reelaboração. Algumas pessoas possuem maior facilidade de aprendizado adotando determinados procedimentos, enquanto outros se sentirão mais confortáveis estudando a mesma coisa de maneira diferente. A experiência educacional do professor é muito importante e eficaz na escolha do tipo de abordagem a ser usada.

A abordagem da ciência por meio de experimentos didáticos tem uma grande importância na aprendizagem dos alunos, pois é, na prática, motivado por sua curiosidade, o que faz com que os alunos busquem novas descobertas, elaborem questionamentos sobre diversos assuntos e o mais importante, favoreça uma aprendizagem significativa. Não se pode perder de vista que, nos experimentos, os conhecimentos prévios dos alunos, sendo levados em consideração, podem auxiliá-los bastante na apreensão de novos conhecimentos. E isso sendo feito de forma prática, geralmente atrai os alunos (MORAES E SILVA JÚNIOR, 2014).

A aprendizagem engloba várias questões e condições básicas: a motivação, o interesse, a habilidade de compartilhar experiências e a de interagir com os diferentes contextos são algumas delas (ARAÚJO, 2014). Assim, o desafio dos educadores é despertar motivos para a aprendizagem, tornar as aulas interessantes, trabalhar com conteúdos relevantes que possam ser compartilhados em experiências que resgatem aspectos do dia a dia do aluno. Este conhecimento pode ser obtido de forma mais rápida e significativa quando o professor ou a própria escola coloca para os alunos estratégias adicionais, sendo esta uma forma de incentivo para os alunos. Uma das formas mais simples que pode ser utilizada no ensino de

ciências (Física, Química, Matemática e Biologia), são os experimentos didáticos, sejam os de laboratórios ou os realizados na própria sala de aula.

É importante também fazer da sala de aula um ambiente estimulante. Para tanto, é necessário entender quem são os alunos, seus sonhos, pretensões e, assim, conseguir planejar atividades em que eles se sintam motivados a participarem das aulas.

O papel do professor é de enorme importância, pois sua missão é criar um ambiente que seja propício à assimilação do saber, servindo de facilitador no processo de ensino e aprendizado. A aprendizagem significativa pode ser a condição essencial para alcançar esse objetivo, garantindo ao aluno a versatilidade de agir autonomamente em diferentes contextos (ARAÚJO, 2014).

O desafio é buscar constantemente novos caminhos, buscando possibilidades para uma maior eficiência na metodologia de ensino. Para conseguir isso é importante ser capaz de gerar progressos pessoais e sociais para os alunos. A missão do professor é preparar os alunos para serem independentes e superarem seus desafios como seres humanos e cidadãos. Por outro lado é importante tomar o conhecimento de alguns fatores que podem contribuir para que as atividades em laboratório não saiam da maneira prevista.

Muitas vezes, as atividades de laboratório são dirigidas por roteiros rígidos (“receitas de bolo”). Os roteiros tentam conduzir o aluno a um objetivo que lhe é completamente (ou quase) destituído de sentido. Os alunos gastam quase todo o tempo na tomada de dados, com poucas oportunidades para análise e discussão do fenômeno observado. Esse tempo muitas vezes é excessivo e gasto em atividades repetitivas e pouco instrutivas, formato quase inevitável se há muitos alunos e pouco tempo (VIEIRA, 2013).

Para que uma atividade experimental tenha sentido não é obrigatório que ela seja provada ou comprovada durante a realização da atividade. Muitas vezes não é possível (e talvez nem mesmo desejável, do ponto de vista didático) evidenciar na prática o que foi transmitido em teoria.

Não é o uso de um ou outro experimento “demonstrativo” que fará o estudante aprender, ou, inversamente, o confundirá. E, menos ainda, se trata aqui de desestimular o uso em ambiente didático de manipulações tais como as aqui descritas (CATELLI, GIOVANNINI E LAURIDO, 2016).

São muitos os fatores que contribuem para que atividades práticas não ocorram de forma satisfatória, como por exemplo, a falta de conhecimento sobre algum aparelho, condições favoráveis como clima, espaço, tempo de preparo e muitos outros fatores.

O professor não deve ser diretivo e rígido, qualificando a curiosidade e dúvida de seus alunos como um problema, impondo apenas seu pensamento, sua teoria, sua maneira de executar a aula. O professor deve evitar a todo o custo assumir o perfil de autoridade hermética, da qual emanam apenas diretivas, e nunca (ou muito raramente) o diálogo.

Um professor com esse perfil não costuma permitir que os alunos o questionassem, desestimula (ou mesmo impede) que os alunos criem suas hipóteses. Ao contrário, o professor deveria estar sempre aberto a questionamentos, dúvidas, curiosidade e a ajudar os alunos a elaborar essas hipóteses.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver alguns experimentos com base em materiais alternativos ou de baixo custo, que possam ser realizados a partir do cotidiano do aluno, e que resgatem – pelo menos minimamente – as questões que dizem respeito às imagens da ciência que os alunos constroem imagens essas na maior parte distorcidas. Essa é a ideia que alimenta o objetivo maior desse trabalho: tentar melhorar a aprendizagem, fazendo com que os alunos possam relacionar os fenômenos físicos com o seu dia a dia, relacionando os conteúdos dados em sala de aula com a prática. Esse objetivo ainda carrega consigo um “efeito colateral” altamente desejável, que é o de melhorar o relacionamento entre os alunos e mesmo deles com o professor. Outro efeito desejável é o de proporcionar a escolas menos favorecidas uma oportunidade a seus estudantes de explorarem alguns experimentos, mesmo que realizados com simplicidade, experimentos esses que podem oferecer até mesmo uma funcionalidade equivalente à de aparelhos sofisticados e caros.

Esse enfoque voltado predominantemente a aulas experimentais (frequentemente com equipamento improvisado) favorecerá também a investigação no ambiente escolar. Com tudo isso, pretende-se proporcionar subsídios para nossos alunos para que esta aprendizagem possa se tornar “potencialmente significativa”: o significado dessa expressão será explicitado mais adiante nesse trabalho.

1.1. Problemas ligados às atividades experimentais em ambiente didático

Uma listagem dos problemas mais recorrentes apontados em um grande número de pesquisas certamente é extensa, e poderia assumir formas diversas dependendo do enfoque teórico a partir do qual essa listagem fosse elaborada. Do ponto de vista da aprendizagem potencialmente significativa (APS), que é o suporte teórico desse trabalho, foram escolhidos alguns, especialmente importantes do ponto de vista da APS, com o intuito inicial de traçar um cenário de partida que possa situar o leitor. Nesse apanhado, tem-se sempre em mente o

ambiente de laboratório didático. Ao final da listagem, o leitor será situado sobre o problema que será especificamente tratado nessa dissertação.

Iniciando a listagem, com um dos considerados maior problemas que é o método tradicional de Ensino; (RESENDE, LOPES e EGG, 2004). Ele está ligado de forma direta ao excesso de aulas expositivas, de quadro negro e giz. É importante também destacar a ausência de relação (ou relação em nível mínimo) estabelecida pelos alunos entre o conteúdo e o cotidiano em que vivem. Uma alternativa favorável para esse excesso de exposição seria as atividades exploratórias de laboratório. Entretanto, o despreparo de alguns professores para realizarem atividades práticas, juntamente com o (alegado) pouco tempo para realização das mesmas e a necessidade (também alegada) de um ambiente com condições propícias à realização de atividades práticas são fatores que contribuem muito para que a aprendizagem não ocorra de forma significativa.

Outro aspecto que frequentemente passa despercebido é a percepção histórica da Física (e de outras disciplinas). A disciplina de Física, desafortunadamente, leva em muitos casos os alunos a acreditarem nos mais diversos mitos: a Física é difícil, e só pode mesmo ser entendida por gênios. Esses mesmos “gênios” inventam as coisas do nada, sem nenhuma relação com o que outros cientistas (gênios) fizeram. A Física não tem história. Ou, quando essa história aparece, ela aparece distorcida. Um exemplo clássico é o da maçã de Newton, que após cair em sua cabeça, provoca nele o “estalo”, ele imediatamente sai dali e produz, sem mais nem menos, a teoria da gravidade. É claro que tal relato não resiste à análise histórica mais incipiente.

Profissionais formados em outras áreas do conhecimento ministram a disciplina de Física, e muitas das vezes, rejeitam o laboratório, por exigir um maior conhecimento, pelo excesso de alunos por turma ou pela quantidade de períodos semanais que os julgam insuficientes. Segundo Resende, Lopes e Egg, 2004, a falta de materiais também pode ser considerada um empecilho para atividades práticas. Talvez a imagem que os alunos fazem da ciência e como essa imagem de ciência inclui a experimentação, também seja distorcida e/ou confusa. A linguagem dos livros e materiais de apoio nem sempre é apropriada, e muitas vezes, a partir de figuras pretensamente engraçadas ajuda a alimentar esses mitos, em vez de se pautar por uma visão da ciência como processo e não como produto. Não se atribui à afirmação a seguir um caráter de causa e efeito, mas, seja como for, não espanta que as atividades corriqueiras de sala de aula possuam baixo nível de significação para o aluno. Que significado poderia ter para alguém um conceito que foi gestado a partir de um lampejo de gênio, que não

tem história? O significado mais imediato e evidente é o de que, se você não for gênio, não terá e não poderá compreender tais lampejos...

Outra questão que merece reflexão: de qual forma os alunos concebem o laboratório: (1) como o dos cientistas? (2) como o das escolas? Correndo o risco de cometer simplificações excessivas, afirma-se o que segue: os alunos concebem o laboratório dos cientistas como um local propício para a ocorrência de “lampejos”, de gênio. Ele (o laboratório dos cientistas) nada tem a ver, é claro, com o laboratório da escola. Já o laboratório didático é um ambiente “faz de conta”, onde se tenta demonstrar algumas leis que por sinal já foram descobertas há séculos. O aluno não vê ao que parece, o laboratório como um local para explorar, aprender, discutir (re)criar. A situação não é muito animadora. O laboratório didático é visto como um ambiente de demonstração, e o laboratório dos cientistas idealizado como um local frequentado por gênios, a espera de “lampejos”. É quase desnecessário dizer que ambas as versões são pobres e desestimulantes (para não dizer diretamente: elas são simplesmente falsas!). Como citado anteriormente, a argumentação é central em qualquer atividade dita científica. Mas, nas imagens que os alunos fazem do laboratório (didático e dos cientistas) caricaturadas acima, ela está simplesmente ausente.

O problema sobre o qual essa dissertação está assentada parte dessas questões e tenta superá-las. Associando aspectos teóricos levantados na introdução (eles serão aprofundados mais adiante), especificamente à aprendizagem (potencialmente) significativa, essa dissertação se voltará à seguinte questão:

Quais são os indícios da ocorrência de aprendizagem significativa potencializados por uma atividade experimental investigativa no tema “óptica”?

Numa primeira leitura, pode parecer que, dentre toda uma gama de problemas, apenas um foi escolhido. No entanto, uma análise mais atenta (que será feita ao longo da dissertação) mostrará que praticamente todos os problemas acima, em diferentes graus de intensidade, marcarão presença no interior dessa questão de pesquisa. Além disso, o desenho da atividade experimental investigativa será orientado por princípios da APS, de modo a aumentar a coerência interna da proposta, que resultará em um produto final, fruto em grande parte desse processo de investigação.

1.2. Objetivos

1.2.1. Gerais

- Investigar se a aprendizagem de princípios da óptica geométrica, construída a partir de uma atividade experimental de caráter exploratório poder se tornar potencialmente significativa.

1.2.2. Específicos

- Planejar atividades experimentais exploratórias no campo da óptica geométrica de modo a buscar níveis de aprendizagem potencialmente significativos, ou seja, crescimento gradativo.
- Procurar por evidências da ocorrência de situações potencialmente significativas;
- Resgatar fenômenos físicos do dia-a-dia, potencialmente significativos;
- Produzir, como produto dessa dissertação, uma atividade prática de caráter exploratório ligada à óptica geométrica.

1.3 Justificativa

Como apresentado anteriormente, a disciplina de Física na maioria das vezes é trabalhada de maneira muito tradicional, somente com quadro negro e giz, livro didático, seguindo sequências que iniciam na parte teórica, seguem-se com exercícios, e conclui-se em avaliações, invariavelmente nessa ordem, tudo isso feito de forma “automática e burocrática”. Por conta em especial desse fato, apontam diversas pesquisas, o ensino da Física sofre, já há muito tempo, com sucessivas críticas voltadas em especial à falta de interesse que ele suscita (Mc DERMOT, 1993). A maior parte delas menciona o desinteresse dos alunos pelas aulas, e quando alguma tentativa é feita para explicar esse desinteresse, ela invariavelmente recai sobre a falta de conexão do que é feito nas aulas com o “mundo real”, tal como percebido pelos alunos. Já se abordou esse assunto anteriormente: a imagem que os alunos fazem da ciência dos cientistas não tende a levá-los a compreender o mundo que os cerca. “Isso é coisa para cientistas”. Porque um aluno assim, de uma hora para outra, se poria a explorar o mundo que o

cerca?

O principal fator que provoca essa distorção é a percepção, por parte dos alunos, dos conteúdos da Física como se fossem históricos. Parece (aos olhos dos alunos) que a Física sempre foi da forma como ela é apresentada, não há aí nenhuma história a considerar. E quando essa história é resgatada, ela o é de forma não fiel, baseada em mitos e lendas (McDERMOTT, 1993). Uma evidência disso é a tendência (encontrada na maior parte dos livros didáticos) a atribuir a um único “cientista” a “descoberta” de algum princípio físico importante. Assim, além do exemplo do mito da maçã, relatado anteriormente, encontram-se diversos outros, como a história (questionável, e muito provavelmente imaginária) de Galileu, que sobe na torre de Pisa para “demonstrar” que os corpos de massas diferentes caem da mesma forma (KOYRÉ, 1991). Tais mitos não ajudam em nada a resgatar nos alunos um interesse pela Física que seja coerente, duradouro e justificado, e contribuem para esse “verniz burocrático” que reveste grande parte das atividades desenvolvidas numa aula de Física convencional.

A linguagem utilizada pelos livros didáticos não é clara aos alunos, e essa falta de clareza vem em especial de seu (frequente) baixo nível de significação. O livro didático é um dos instrumentos didáticos mais utilizados nas escolas por professores e alunos e a preocupação com sua qualidade em nível oficial no Brasil não são recentes (NÚÑEZ AT AL., 2003). Em alguns conteúdos específicos sua linguagem não fica plenamente entendida pelos alunos. Como um dos recursos didáticos mais utilizados pelo professor, o livro didático deve ser um instrumento estruturado e confiável. O professor deve estar atento e estar apto a avaliar os possíveis erros ou falhas presentes nesse material de apoio (PANARARI; ANTUNES, 2009).

Também a falta de preparo do docente que ministra a disciplina de Física o deixa preso apenas àquela rotina que esboçávamos acima: aula teórica – exercícios – prova. Os “recursos” para a consecução dessa rotina? Livro didático e giz. É fácil intuir que a utilização dos laboratórios, que muitas escolas possuem, poderia dar outro sentido a essa rotina. Todos os atributos desejáveis numa boa prática: exploração, argumentação, experimentação, elaboração e confrontação de hipóteses, convivência em grupo e muitos outros, acaba se reduzindo a infundáveis exposições orais, sem ligação nenhuma com o cotidiano. (BRASIL ESCOLA).

Mas como diz Villani (1981), aprender não é “gravar” numa tábua, pois o nosso conhecimento tem caráter dinâmico: para realmente aprender é preciso “pensar”. No entanto, o destino de fórmulas e exercícios jogados em cima dos alunos, sem nenhuma preocupação

objetiva de torná-las significativas, só pode ser o inevitável esquecimento. Apesar de tudo, é difícil pensar como seria uma prática coerente com uma visão de ensino diversa.

O “lema” poderia ser: parta do que o aluno conhece de um determinado assunto, e provoque nele a emergência de novos significados, inspirados na ciência que nos foi legada. O aluno sempre levará para a sala de aula as concepções construídas a partir da sua interação com a realidade, ou seja, o meio em que vive é de fundamental importância para conhecer como pensam esses alunos, como eles percebem e compreendem os fenômenos que serão estudados.

“Mais é melhor”? Um problema recorrente diz respeito ao número – em geral excessivo – de assuntos que os programas de Física do ensino médio apresentam, priorizando a quantidade em detrimento da qualidade. Os alunos não são capazes de perceber os conceitos fundamentais da disciplina, não conseguem ter critério algum de prioridade. A solução não é, necessariamente, reduzir os programas, mas, neles, priorizar os conceitos fundamentais (NASCIMENTO. T, 2010).

Outro problema encontrado no sistema tradicional refere-se ao número excessivo de alunos na sala de aula e o pequeno intervalo de tempo, geralmente 50 minutos de duração. Nas aulas o que representa para o professor uma dificuldade na aplicação de dinâmicas inovadoras, possibilitariam uma maior interatividade dos alunos entre eles, e deles com o professor. Essa estrutura vigente tem levado a resultados bastante desfavoráveis no processo ensino aprendizagem repercutindo num baixo desempenho não só em exames vestibulares, prosseguindo também ao longo dos cursos universitários, em que se observa um alto índice de reprovação e evasão nas disciplinas de Física nos cursos onde elas são obrigatórias, como, por exemplo, no próprio curso de Física, nas Engenharias, Matemática etc. (MORETZSOHN, NOBRE, DIEB e CINTRA 2003).

Um possível “remédio” para esse desinteresse seria a presença de mais aulas experimentais, mas também aqui há problemas (SILVA, 2008). A queixa recorrente é a de que, ou não há laboratórios, ou, quando eles existem, uma série de problemas impede seu uso efetivo.

Araújo e Abib (2003) também declaram que o uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de se aprender e de se ensinar Física de modo significativo e consistente. No entanto, os contatos frequentes realizados com professores em exercício permitiram constatar que essas propostas ainda se encontram distantes dos trabalhos efetivamente realizados em grande parte das escolas, o que, para eles,

sem dúvida indica a necessidade de realização de novos estudos que visem melhorar as articulações e propiciar um aprofundamento das discussões dessa temática, buscando a efetiva implementação dessas propostas nos diversos ambientes escolares.

Assim como a sociedade, os estudantes estão abertos à descoberta de coisas novas e interessantes, buscam respostas para tudo que veem e procuram entender melhor e de forma mais abrangente o que acontece ao seu redor. O conhecimento científico contribui para isso e para a compreensão do cotidiano dos alunos. Tal conhecimento pode ser obtido de forma mais rápida, e potencialmente significativa, quando o professor ou a própria escola coloca para os alunos estratégias adicionais, sendo esta uma forma de incentivo para os alunos. Uma das formas mais simples que pode ser utilizada no ensino de ciências (Física, Química, Matemática e Biologia), são atividades experimentais didáticas, sejam as de laboratórios ou as realizadas na própria sala de aula. Esse tema será discutido mais adiante na seção 2.3, dado que essas atividades, como argumentado anteriormente, não podem reproduzir conceitos distorcidos acerca da ciência, dos cientistas e da evolução das ideias em Física.

Sobre os obstáculos referentes às condições de trabalho, Rezende e Ostermann (2005), mostram que há um encontro relativo entre a necessidade de professores e o interesse de pesquisadores no que se refere ao laboratório didático de Física, ou seja, segundo os autores citados, os professores que contam com um espaço físico próprio para o laboratório didático de Física se queixam da falta de condições técnicas para usá-los e das dificuldades de incorporá-los às suas aulas.

Um dos problemas considerados muito preocupantes para o ensino se dá ao fato de profissionais de outras áreas atuarem no ensino da Física. Para o professor que não tem formação específica em Física, além de não ter o conhecimento básico que se julga necessário, a maior dificuldade está no fato de nunca ter vivenciado uma atividade experimental durante sua formação. “Por outro lado, entende-se que não basta dizer ao professor que deva realizar atividades experimentais com seus alunos, mas sim como fazê-las nas condições das escolas” (SILVA e BUTKUS, 1985, p.109).

Ainda, no que diz respeito aos obstáculos, conforme Coelho et al. (2008), a falta de apoio material e pedagógico das escolas para o desenvolvimento de metodologias que privilegiem atividades experimentais investigativas, bem como limitações na formação acadêmica do professor em relação ao saber experimental são fatores que contribuem para a ausência ou realização não sistemática de experimentação na realidade escolar do ensino de Física nos níveis Fundamental e Médio.

Professores e pesquisadores da área de ensino de ciências geralmente imputam grande importância ao espaço de aprendizado de Física ocorrido nas disciplinas experimentais. Aparentemente também existe um consenso entre docentes e estudantes de que devem ocorrer mudanças na maneira tradicional de se focar estas disciplinas. “Apesar disto há relatos de que esta importância declarada algumas vezes é mais questão de postura que de prática efetiva, e também há observações críticas a respeito do real benefício que estas disciplinas possam trazer ao processo de aprendizado dos estudantes” (SILVA, 2002, p. 471).

Por fim, mas não menos importante, há uma crítica a respeito do que de fato é ensinado aos alunos nas aulas de Física, sejam elas experimentais ou não. Nesse aspecto, os problemas se multiplicam ainda mais. A imagem que os alunos constroem da Física, por exemplo, é bastante distorcida.

Segundo Lima (2011), atualmente, uma grande parte dos alunos no nível médio apresenta conhecimento dos conceitos físicos associados ao uso de fórmulas matemáticas; mas, no estudo dos fenômenos e processos físicos deveriam ser abordados também, e especialmente, os aspectos conceituais ou fenomenológicos. As fórmulas matemáticas só adquirirão sentido se transformarem numa extensão da linguagem dos alunos, de modo que eles possam discorrer sobre, representar, investigar e analisar fenômenos físicos por meio de palavras e fórmulas, e não exclusivamente através dessas últimas.

Muitos destes fenômenos estudados em sala de aula, segundo os próprios alunos, fazem uma ligação direta com a matemática, mas poderiam ser explorados através de atividades experimentais. Diante desta concepção (a “ligação direta” com a matemática ser natural e inevitável) alguns alunos imaginam que laboratório de Física é algo surreal, como visto no cinema. Na realidade os laboratórios didáticos utilizados nas escolas são mais simples que os vistos na televisão, mas possuem uma importância incontestável, desde que empregados como ferramentas de argumentação, e não de demonstração, com argumentado mais acima.

Mas há outras questões, não menos importantes, que se sobrepõem a essas aqui mencionadas. Alguns professores não gostam de trabalhar em laboratório, seja por não dispor do tempo necessário para a preparação de uma aula laboratorial, seja por temer a profusão de perguntas que os alunos fazem por ocasião de uma atividade investigativa. Talvez esses fatos (e outros, não apontados aqui) contribuam para a baixa popularidade junto a alguns professores das atividades experimentais.

Como consequência de todos os problemas citados anteriormente, o ensino de Ciências e Matemática no Brasil tem, em geral, um baixo rendimento que resulta em altos

índices de reprovação, baixa retenção e alto abandono. Uma das razões é o modelo passivo de aprendizado fomentado nos ambientes tradicionais de ensino em que alunos raramente interagem produtivamente e onde o estímulo é a nota e não o conhecimento. Neste modelo, os alunos demonstram seu aprendizado resolvendo problemas padrão, mas não mudam a maneira como entendem o mundo ao seu redor, e isso infelizmente é uma regra com pouquíssimas exceções (BARROS, 2004).

Lopes (1993) vê a aula experimental como fundamental e de extrema importância para que o verdadeiro ensino de ciências ocorra. Aulas experimentais resgatam algo que é da essência do conhecimento científico. Uma aula experimental pode ocorrer em vários formatos, pode ser uma pesquisa de campo, pode se dar em um laboratório, pode envolver uma coleta de dados em um aparelho, dentre tantas outras. Estas aulas são consideradas de extrema importância porque fazem os alunos saírem da rotina do quadro e giz das aulas expositivas e verem de outras formas não somente as teorias, mas também interagir com elas, discutindo e fazendo ligações dos resultados teóricos com os experimentais. Porém o trabalho experimental não pode ser independente da abordagem teórica. Todo o projeto teórico só estará completo após ter se preparado para enfrentar o mundo da experiência. Para Lopes (1993), a abordagem teórica no contexto do ensino de Física nunca pode dispensar a experiência porque os alunos têm sempre como sua referência este plano. “Se o ensino o esquecer, está a contribuir para o agravamento da falta de significado físico que os alunos se queixam”.

Muitos professores fazem de suas aulas verdadeiros monólogos, e é necessário que em sala de aula exista um diálogo, pois a aula precisa ser dialógica e centrada no aluno, nunca no professor (SILVÉRIO, 2001). Atividades de laboratório, se bem conduzidas, permitem que as ideias circulem, em todas as direções: professor – aluno, aluno - professor, aluno - aluno, aluno/professor – comunidade, e por aí vai.

Pensando nestes problemas o trabalho parte da premissa que aulas experimentais tornam o aprendizado mais eficiente, divertido e faz com que os alunos relacionem melhor os conteúdos teóricos dados em sala de aula com a prática. Por fim, como mencionado acima, a ênfase na experimentação pode favorecer a emergência nos alunos de um espírito investigativo, posição enfaticamente defendida por diversos pesquisadores (NEVES, CABALLERO E MOREIRA, 2006). Acredita-se também, e isso é uma hipótese a ser verificada, que deva ser possível melhorar o relacionamento entre alunos e professores. A justificativa para essa expectativa deve-se ao fato de que a postura do professor, ao propiciar aos seus alunos ligações de fenômenos da “Física cotidiana”, ao proporcionar aulas práticas para escolas menos

favorecidas e, enfim, através dessas atividades experimentais investigativas, tentar tornar a aprendizagem significativa, contribui para a mudança de sua imagem frente aos alunos. Ele – o professor - passa a assumir cada vez mais o papel de colaborador experiente, de aconselhador, de desafiador, em detrimento do papel convencional de alguém que apenas exige, controla e comanda as ações dos alunos.

Com o enorme avanço tecnológico vivido hoje surgem cada vez mais novas e fascinantes alternativas para esse ensino experimental investigativo que se pensa propor ao longo desse trabalho. A Física experimental foi, e continua sendo cada vez mais, uma alternativa que proporciona compartilhar com os alunos um pouco desta realidade. A Física não é tão assustadora quanto pode parecer. A expectativa é de que, através das atividades experimentais propostas ao longo do trabalho a Física possa ser percebida como algo fascinante, algo que reflete em alguma medida o mundo em que se vive.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Ao iniciar o Ensino Médio, os alunos se deparam com a disciplina de Física. Alguns iniciam ainda antes, e é aí que para eles começa o problema (ROCHA FILHO, SILVA 2010). Esse mito que a Física é algo extremamente difícil, e que somente quem tem uma mente favorecida consegue aprender é em grande parte construído a partir de um contexto bem específico, que diz respeito à forma como a Física é abordada, seja no nível fundamental, seja no nível médio.

Apontou-se anteriormente essa questão como um dos problemas com os quais se deparam os professores de Física. No nível fundamental, conforme as referências já apontadas, o ensino é mais lúdico, mais voltado à exploração e à descoberta, e a imagem que os alunos fazem da Física é predominantemente positiva.

A Física é vista pelos alunos como algo curioso, divertido, atraente, num ambiente no qual realizam muitas atividades experimentais. Nesta fase realizam muito mais atividades práticas do que no Ensino Médio. Nesse nível de ensino começam a aparecer as imposições de exames como o ENEM, e a consequente busca pelo ingresso numa Universidade. A pressão familiar e do contexto social cresce, e a Física (não só ela!) torna-se burocratizada e voltada exclusivamente a esses fins. Nesse contexto, dizem as pesquisas citadas, a imagem que os alunos fazem da Física sofre uma rápida e severa degradação. Pretende-se, é claro, considerar essa questão ao longo dessa dissertação, em especial nos momentos de desenhar e validar atividades experimentais.

2.1. Aprendizagem significativa

“Aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se, de maneira substantiva (não literal) e não arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo”. Em outras palavras, os novos conhecimentos que se adquirem relacionam-se com o conhecimento prévio que o aluno possui. Ausubel define este conhecimento prévio como "conceito subsunçor" ou simplesmente "subsunçor".

Trabalhos ligados simultaneamente ao laboratório e à aprendizagem significativa estão disponíveis sob as mais diversas formas em grande quantidade (ESPINDOLA e MOREIRA, 2006). Muitos educadores sugerem como resultado importante de seus trabalhos, que a atividade formal da escola, ao propiciar elementos de Física aos seus alunos, possa ser complementada com elementos retirados do dia-a-dia dos estudantes, de modo que os dois

juntos, não somente eles (o ensino formal e os elementos do cotidiano) possam desenvolver um pouco deste papel, importantíssimo por sinal, no aprendizado do aluno (OLIVEIRA, 2012).

A aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação ancora-se em conceitos relevantes (subsunçores) pré-existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Ausubel define estruturas cognitivas como estruturas hierárquicas de conceitos que são representações de experiências sensoriais do indivíduo. A ocorrência da aprendizagem significativa implica o crescimento e modificação do conceito subsunçor. A partir de um conceito geral (já incorporado pelo aluno) o conhecimento pode ser construído de modo a ligá-lo com novos conceitos facilitando a compreensão das novas informações, o que dá significado real ao conhecimento adquirido. As ideias novas só podem ser aprendidas e retidas de maneira útil caso se refiram a conceitos e proposições já disponíveis, que proporcionam as âncoras conceituais.

Ausubel publicou seus primeiros estudos sobre a teoria da aprendizagem significativa em 1963 (*The Psychology of Meaningful Verbal Learning*) e desenvolveu-a durante as décadas de 1960 e 1970. Mais tarde, no final da década de 1970, Ausubel recebeu a contribuição de Joseph Novak, que progressivamente incumbiu-se de refinar e divulgar a teoria. Com a contribuição de Novak, a teoria da aprendizagem significativa modificou o foco do ensino do modelo [estímulo→ resposta→ reforço positivo] para o modelo [aprendizagem significativa→ mudança conceptual→ construtivismo].

A ideia fundamental da teoria de Ausubel é a de que a aprendizagem significativa é um processo em que as novas informações ou os novos conhecimentos estejam relacionados com um aspecto relevante, existente na estrutura de conhecimentos de cada indivíduo (NOVAK, 2000, p. 51).

Em sua teoria, Ausubel (1963, 1968, 1978, 1980) investiga e descreve o processo de cognição segundo uma perspectiva construtivista. Essa teoria ficou conhecida como Teoria da Aprendizagem Verbal Significativa, por privilegiar o papel da linguagem verbal. Foi o próprio psicólogo que optou por renomeá-la, denominando-a “Teoria da Aprendizagem Significativa” (TAS).

O princípio norteador da teoria de Ausubel baseia-se na ideia de que, para que ocorra a aprendizagem, é necessário partir daquilo que o aluno já sabe. Ausubel preconiza que os professores/educadores devem criar situações didáticas com a finalidade de descobrir esses conhecimentos, que foram designados por ele mesmo como conhecimentos prévios.

Os conhecimentos prévios seriam os suportes nos quais o novo conhecimento se apoiaria. É o processo de ancoragem. Essa ideia foi expressa pelo pesquisador na seguinte frase: “o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Averigúe isso e ensine-o de acordo” (AUSUBEL, 1980).

Essa teoria procura elucidar os mecanismos internos que ocorrem na estrutura cognitiva humana em relação ao processo de aprendizagem. Apesar disso, a TAS já foi classificada como uma teoria “condutivista” (MORAES, 2016).

A TAS focaliza e entende a aprendizagem de modo cognitivista e procura explicar também como os conhecimentos estão estruturados na mente humana. Considera-se aqui a mente humana como sua estrutura cognitiva.

O foco principal da TAS é a aprendizagem escolar. Por esse motivo, acredita-se que as ideias sobre a aprendizagem que decorrem da TAS podem contribuir para melhorar o processo de ensino-aprendizagem escolar. Em resumo: Ausubel propõe uma teoria que enfatiza a aprendizagem que ocorre na escola.

Uma premissa importante da TAS é a de que a mente humana possui uma estrutura organizada e hierarquizada de conhecimentos. Essa estrutura é continuamente diferenciada pela assimilação de novos conceitos, novas proposições e ideias. A TAS, por enfatizar os conceitos e preocupar-se essencialmente com eles, com os conteúdos acadêmicos, com os aspectos cognitivos da aprendizagem, enfim, tem sido vista como intelectualista e criticada por não valorizar as outras dimensões da aprendizagem.

Coube a Novak (1978, 1980, 1983, 1998) desenvolver, refinar e divulgar os pressupostos da TAS e acrescentar os aspectos que são de domínio afetivo, dando um caráter mais humanista à teoria de Ausubel, ao considerar que “a aprendizagem significativa subjaz à integração construtiva entre pensamento, sentimento e ação, que conduz ao engrandecimento humano” (*ibidem*, 1998, p. 15).

Para ele, as atitudes e os sentimentos positivos em relação à experiência educativa têm suas raízes na aprendizagem significativa e, por sua vez, facilitam-na.

A aprendizagem significativa caracteriza-se pela interação de uma informação com um aspecto relevante da estrutura cognitiva do sujeito, mas não com aspecto qualquer. Uma informação é aprendida de forma significativa quando se relaciona a outras ideias, outros conceitos ou outras proposições relevantes e inclusivas que estejam clara e disponível na mente do indivíduo de modo que funcionem como âncoras.

A proposição de uma hierarquia na organização cognitiva do indivíduo é de suma importância quando se trata da aprendizagem de conceitos científicos, uma vez que o conhecimento científico é constituído por uma rede de conceitos e proposições, formando uma verdadeira teia de relações.

Quando uma informação não é aprendida de forma significativa, ela é aprendida de forma mecânica. Ao contrário da aprendizagem significativa, na aprendizagem mecânica, as informações são aprendidas praticamente sem interagir com informações relevantes presentes na estrutura cognitiva. A nova informação é armazenada de maneira arbitrária e literal.

No entanto, Ausubel não vê oposição entre a aprendizagem mecânica e a significativa, mas as vê como um *continuum*. Segundo Ausubel, a aprendizagem mecânica é inevitável no caso de conceitos inteiramente novos para o aluno, mas, posteriormente, ela se transformará em significativa.

Segundo Santos, dever-se-ia ensinar a pescar ao invés de entregar o peixe pronto. Fazer do caminho, e não da chegada, a razão da jornada. Aprender com os erros. Todas essas máximas, verdadeiros pilares de uma nova postura diante do mundo são, também, o ponto de partida da promoção de uma aprendizagem significativa. A função instrumentalizante da Educação nunca foi tão ratificada quanto nos tempos atuais. Nunca se esteve tão diante da necessidade de criar, construir, mudar e redimensionar quanto nos encontramos na era atual.

O que se acredita ser significativo para alguns, pode não ter a mesma importância ou o mesmo significado para outros alunos. Além disso, o que pareceu significativo em uma aula, em alguns dias pode não ser mais.

Por outro lado, Piaget (1970, 1973, 1977) acredita que o modo de aprendizagem consiste em assimilação, acomodação, adaptação e equilíbrio. A assimilação designa o fato de que é do sujeito a iniciativa na interação com o meio. Ele constrói esquemas mentais de assimilação para abordar a realidade. Todo esquema de assimilação é construído e toda abordagem à realidade supõe um esquema de assimilação. Quando o organismo (a mente) assimila, incorpora a realidade a seus esquemas de ação impondo-se ao meio.

Por exemplo, ao se apresentar ao aluno o conceito de calor — “É um conceito do âmbito da Física que considera o calor como sendo a energia que passa de um corpo para outro ou de um sistema para outro, uma transferência associada ao movimento de átomos, moléculas e outras partículas” —, este só terá sentido na medida em que seja relacionado com alguma ideia relevante, que esteja clara e organizada na sua estrutura cognitiva; caso contrário, a

princípio será armazenado (isso se for de fato “armazenado”, o que nem de longe está garantido!) de forma mecânica.

O conhecimento anterior sobre temperatura e escalas termométricas facilitará a construção do conceito que pode funcionar como ancoradouro aos novos conceitos.

Somente no decorrer do tempo, com a aquisição das “ideias âncoras” é que o conceito passará a ter significado para o aluno. Objetivando acelerar esse processo, Ausubel sugere a manipulação da estrutura cognitiva do aluno através do uso de organizadores prévios.

Novak (1980, p. 61) salienta que a aprendizagem significativa apresenta quatro grandes vantagens sobre a aprendizagem por memorização ou mecânica:

- Os conhecimentos adquiridos significativamente ficam retidos por um período maior de tempo.
- As informações assimiladas resultam num aumento da diferenciação das ideias que serviram de âncoras, aumentando, assim, a capacidade de uma maior facilitação da subsequente aprendizagem de materiais relacionados.
- As informações que não são recordadas (são esquecidas), após ter ocorrido à assimilação, ainda deixam um efeito residual no conceito assimilado e, na verdade, em todo o quadro de conceitos relacionados.
- As informações apreendidas significativamente podem ser aplicadas numa enorme variedade de novos problemas e contextos.

Muitas vezes, no ensino da Física, é exigido dos alunos que aprendam uma gama de conceitos que não lhes são familiar, sem que antes tenham adquirido um corpo adequado de subordinadores relevantes num nível adequado de inclusividade.

Outras vezes, os alunos possuem essas ideias de base, mas elas não estão ativadas. Caberia, então, ao professor descobrir esses conhecimentos prévios, ativá-los e, com base nisso, ensinar o novo tema. Ausubel chama as ideias que proporcionam ancoragem de subordinadores, integradores ou subsunçores.

Para Moreira (1999), o subsunçor constitui um conceito, uma ideia ou uma proposição já existente na estrutura cognitiva, capaz de servir de ancoradouro a uma nova informação, de modo que esta adquira, assim, significado para o sujeito.

Novak (2000) destaca que,

No decurso da aprendizagem significativa, as novas informações são ligadas aos conceitos na estrutura cognitiva. Normalmente, essas ligações ocorrem quando se

ligam conceitos mais específicos e menos inclusivos a outros mais gerais, existentes na estrutura cognitiva. [...] A justificação para se adicionar esses termos reside no papel fundamental que os subsunçores desempenham na aquisição de novas informações. [...] O papel de um conceito integrador na aprendizagem significativa é interativo, facilitando a passagem de informações relevantes, através das barreiras perceptivas, e fornecendo uma base para a ligação entre as informações recentemente aprendidas e os conhecimentos anteriormente adquiridos (ibidem, p. 59).

Segundo Ausubel, a aprendizagem significativa pode ocorrer por recepção ou por descoberta. Na aprendizagem receptiva, a informação é apresentada ao aluno em sua forma final; já na aprendizagem por descoberta, o conteúdo a ser aprendido necessita ser descoberto pelo aluno.

A aprendizagem por descoberta pressupõe que o próprio indivíduo descubra o conhecimento a partir de seus próprios recursos. Ausubel considera que a relação custo-benefício desse tipo de empreendimento é pouco considerável.

Para Ausubel:

A abordagem da descoberta não oferece vantagens flagrantes, exceto no caso muito limitado de uma tarefa de aprendizagem mais difícil, quando o aprendiz ou está no estágio concreto do desenvolvimento cognitivo ou se, geralmente no estágio abstrato, ele carece de uma sofisticação mínima num campo determinado de conhecimentos (ibidem, p. 448).

Ele destaca ainda que, se o aluno tivesse de descobrir o conhecimento o tempo todo, não haveria tempo suficiente para isso no decorrer de sua vida escolar e haveria um alto custo na implementação de situações para que isso ocorresse. No entanto, em alguns momentos é possível recorrer a esse tipo de aprendizagem como apoio didático para determinadas aprendizagens.

As aprendizagens por descoberta ou por recepção podem ou não ser significativas. Moreira (*ibidem*, p. 17) destaca que pode ocorrer uma superposição entre os conteúdos aprendidos por recepção e por descoberta, uma vez que aqueles aprendidos por recepção são utilizados na descoberta de soluções de problemas.

É através destes métodos para tentar tornar a aprendizagem significativa que serão aplicadas aulas experimentais em laboratórios de Física realizadas com materiais de baixo custo retirado do cotidiano do aluno.

Para Gaspar (2005), aulas realizadas em laboratórios, proporcionando ao aluno uma visão maior e de melhor qualidade dos conteúdos vistos em sala de aula, podem dar subsídios para que a sua aprendizagem se torne mais significativa e menos mecânica.

2.2 Como determinar se uma aprendizagem foi (potencialmente) significativa?

A aprendizagem é muito mais significativa à medida que o novo conteúdo é incorporado às estruturas de conhecimento de um aluno e adquire significado para ele a partir da relação com seu conhecimento prévio (AUSUBEL, 1982).

Quando o conteúdo escolar a ser aprendido não consegue ligar-se a algo já conhecido, ocorre o que Ausubel chama de aprendizagem mecânica, ou seja, quando as novas informações são aprendidas sem interagir com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva. Assim, a pessoa decora fórmulas, leis, mas esquece após a avaliação (PELIZZARI et al, 2002).

O termo “potencialmente”, que aparece no título dessa sessão, indica que essa determinação da ocorrência de uma aprendizagem significativa não é simples, e nunca é plenamente definitiva. Mas há formas de recolher indícios que essa aprendizagem ocorreu, e uma delas, talvez a mais em voga atualmente, trata dos “mapas mentais” e dos “mapas conceituais”. Mapas mentais e conceituais são ferramentas importantes na aprendizagem. Segundo Moreira (2012), mapas conceituais, ou mapas de conceitos, são essencialmente diagramas indicando relações entre conceitos, ou entre palavras que usamos para representar conceitos.

Os “mapas mentais” são uma primeira manifestação dos alunos a respeito de um assunto, e tendem a ligar várias características a uma única palavra chave. Esse procedimento indica que o aluno ainda não dispõe de uma estrutura mental suficientemente complexa, que permita identificar conexões em diferentes níveis. Mapas mentais geralmente aparecem quando é feita uma primeira investigação a respeito dos conhecimentos prévios dos alunos, e eles têm, por isso mesmo (conforme argumentado anteriormente) um grande valor.

O mapa conceitual é uma estrutura esquemática para representar um conjunto de conceitos imersos numa rede de proposições. Ele é considerado como um estruturador do conhecimento, na medida em que permite mostrar como o conhecimento sobre determinado assunto está organizado na estrutura cognitiva de seu autor, que assim pode visualizar e analisar a sua profundidade e a extensão (TAVARES, 2007).

Mapas conceituais são utilizados como instrumentos de avaliação da potencialidade de uma determinada aprendizagem. Eles podem ser usados para se obter uma visualização da organização conceitual que o aprendiz atribui a um dado conhecimento (MOREIRA, 1997). Trata-se basicamente de uma técnica não tradicional de avaliação que busca informações sobre os significados e relações significativas entre conceitos-chave da matéria de ensino segundo o

ponto de vista do aluno. É essencialmente uma avaliação qualitativa, formativa, da aprendizagem.

2.3. A aprendizagem no ambiente de laboratório

De acordo com Martineli (2007), um dos problemas encontrados é a não realização de atividades experimentais com a frequência necessária. Embora se reconheça a importância das atividades experimentais, e um significativo número de professores já as pratique, a proporção entre esses e os que se limitam ao quadro verde e giz ainda é pequena. A maioria dos professores concorda a respeito da importância das práticas de laboratório de Física. No entanto, o número de professores que se dedicam rotineiramente a essa prática é proporcionalmente pequeno, até mesmo insignificante.

Quais os principais atributos das atividades experimentais? Destaca-se a seguir os mais relevantes:

- a) São potencialmente significativos;
- b) Primam mais pela aprendizagem significativa, e menos pela aprendizagem mecânica (sem, contudo, descartá-la por completo);
- c) Propiciam a aprendizagem de novos conhecimentos, em especial pelos processos de assimilação e diferenciação;
- d) Instigam o aluno a novas “descobertas”, autônomas.

A experimentação, quando explorada, em geral não o é em toda sua potencialidade. Quando se faz referência à prática, frequentemente se é alertado por alguns colegas professores quanto à existência de um grupo de dificuldades. São predominantemente quatro grandes deficiências estruturais: falta de material e de equipamentos; falta de local adequado para realizar atividades; falta de tempo para o seu preparo; número insuficiente de aulas na carga horária. Alguns professores reconhecem que não estão preparados para assumir tal responsabilidade ou talvez por sentirem-se mais confortáveis quanto ao método avaliativo, pois julgam muito mais simples corrigir questões em provas e trabalhos do que avaliar alunos em aulas experimentais, as quais exigem maior tempo e responsabilidade do professor (GATTI, 2003).

Às vezes o conteúdo é tratado como um corpo objetivo e isolado de conhecimentos. Pouca atenção é dada à potencialidade da experimentação como veículo de aprimoramento

conceitual, admitindo-se de forma implícita, que a firmeza conceitual pode ser alcançada através da aplicação coerente das fórmulas (MOREIRA, 1999).

A consequência direta e imediata é a consolidação de uma realidade onde a “aposta do aprendizado” se respalda fundamentalmente em livros didáticos em detrimento do ensino experimental: sequência e a metodologia a ser utilizada acabam adquirindo um caráter rígido, independente dos anseios, conhecimentos prévios e gostos dos estudantes.

“Realizar atividades experimentais na disciplina de Física é fundamental para aprendizagem de conceitos científicos”: a maioria dos professores concorda com essa afirmação. Entretanto, é comum que alguns (eventualmente, a maior parte) passem a maior parte do ano letivo sem realizá-las. Quando o tempo é curto, e quase sempre o é, as atividades experimentais, apesar de essenciais, são sempre as primeiras a serem cortadas.

Segundo Gaspar (1998), apesar de muitos professores de Ciências ou Física se mostrarem sinceramente insatisfeitos com essa situação citada anteriormente, raramente essa insatisfação se materializa em alguma ação ou mesmo reivindicação individual ou coletiva; trata-se de um conformismo, ou mesmo passividade, muito difícil de compreender, uma vez que uma parte significativa de profissionais atribui a essa prática pedagógica uma grande importância.

Para a maioria dos conteúdos sempre é possível encontrar (na internet, por exemplo) algum tipo de atividade prática, algumas muito simples, outras um pouco mais sofisticadas; em muitos casos, nem são, necessários equipamentos ou instalações sofisticadas. A parte de óptica, por exemplo, pode ser facilmente proposta em formato experimental aos alunos na maior parte de seu conteúdo, com materiais simples, de baixo custo. Além do mais, os procedimentos podem ser realizados até mesmo em sala de aula. Apenas para ilustrar, a disponibilidade abundante de smartphones disponibiliza o acesso imediato à fotografia e à análise das imagens obtidas, abrindo-se aí um sem número de possibilidades de aprendizado experimental de óptica.

Em meio a tantas evidências, existe a certeza que os obstáculos gerados ao redor das aulas experimentais são de natureza predominantemente pedagógica, e são eles que de fato dificultam e desestimulam o uso extensivo de atividades experimentais.

Atividade experimental é um assunto considerado relevante em quase todos os países do mundo. Muito já se discutiu, mas muito pouco na realidade parece ter sido feito, como será argumentado a seguir. Em face das deficiências apontadas acima, será que ninguém fez nada até hoje? Não, muitas ações já foram desenvolvidas, em diversos países. Tentativas de

implantação, por vezes massiva, foram feitas, e fracassaram de forma por vezes retumbante. As razões apontadas foram as mais diversas: os métodos não teriam sido adaptados às necessidades dos alunos, inexperiência dos atores (professores), formação inadequada desses profissionais são algumas dessas razões. Independente do motivo, a maioria destas tentativas não funcionou, ou funcionou apenas por um determinado tempo, mas quando analisadas com maior precisão, voltam ao ponto de partida, ou seja, depara-se com dificuldades de aprendizagem.

Um destes projetos realizados no Brasil, conhecido como Projeto de Ensino de Física (PEF) criado pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP) em convênio com duas instituições ligadas ao Ministério da Educação e Cultura (MEC): Fundação Nacional de Material Escolar (FENAME) e o Programa de Expansão de Melhoria do Ensino (PREMEN) tiveram um início brilhante, um projeto que tinha tudo para dar certo e ser um modelo a ser aplicado em várias escolas. Por um determinado tempo funcionou, mas algumas causas específicas afetaram seu desempenho. Uma delas diz respeito à formulação do projeto, realizado por físicos dedicados à pesquisa, leigos, portanto em pedagogia; esses especialistas só tinham conhecimento do ensino médio por meio de reminiscências de seus tempos de estudantes (GARCIA, A, GARCIA E HIGA, 2007).

A segunda causa do fracasso neste projeto foi reconhecida posteriormente pelos estudiosos da área de maneira unânime. É um grave equívoco acreditar que a aprendizagem do aluno possa ocorrer “naturalmente” a partir de sua interação direta com o material produzido. A ideia de que o aluno poderia redescobrir, sistematicamente e de modo autônomo, as leis científicas por meio de atividades experimentais, não é apenas um equívoco pedagógico, mas, principalmente epistemológico.

2.4 Os obstáculos epistemológicos e a aprendizagem em laboratório

A denominação “Obstáculos Epistemológicos” (OE) se tornou notória a partir de diversos textos de Gaston Bachelard. Bachelard (1996), em "Formação do espírito científico", identifica as principais categorias de obstáculos ao progresso da ciência. Paralelamente, faz referência a situações pedagógicas onde estas mesmas categorias de obstáculos são uma barreira à apropriação do conhecimento científico. Obstáculos epistemológicos que se transformam em obstáculos pedagógicos, uma vez que obstruem a atividade racional do aluno.

No caso das atividades experimentais é necessário que o professor considere que elas não estão livres de pressupostos teóricos, mas, sim, que cada atividade é desenvolvida a partir

desses pressupostos, e que os resultados dependem deles. Somado a isso, é importante ter consciência de que cada aluno desenvolve essas atividades de acordo com suas percepções e conhecimentos, os quais são advindos de seu mundo, e que a tarefa principal do ensino é a de confrontar esses conhecimentos e em alguma medida, alterá-los e (ou) enriquecê-los. É preciso que os professores de Física passem a levar “[...] em conta que o adolescente entra na aula de Física com conhecimentos empíricos já construídos: não se trata, portanto, de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana”. (BACHELARD, 1996, p. 23).

A formação do espírito científico passa, segundo Bachelard (1996, p. 11), por três estados: no estado concreto, o espírito apropria-se das primeiras imagens e gera suas concepções iniciais; no estado concreto-abstrato o espírito, mesmo apegado a suas experiências, inicia um processo de generalização ao acrescentar esquemas científicos; e o estado abstrato, onde o espírito já consegue problematizar suas experiências e gerar conhecimentos a partir de seus questionamentos.

Os atos impeditivos a formação do espírito científico ocorrem em termos de obstáculos, ou seja, atos que provocam a estagnação e regressão no processo de evolução da ciência e de apropriação do próprio conhecimento. “É no âmago do próprio ato de conhecer que [eles] aparecem, por uma série de imperativos funcionais, lentidões e conflitos” (BACHELARD, 1996, p.24).

Os OE são obstáculos aos quais os professores devem estar atentos, de modo que esses obstáculos não sejam reforçados e legitimados em seu modo de ensinar, seja no ambiente da sala de aula, seja por meio dos recursos didáticos usados, como por exemplo, o livro texto. O professor também precisa estar ciente do que cada OE trata, pois somente assim poderá identificá-los e superá-los, ou, também, poderá ajudar os seus alunos a superá-los, caso os obstáculos estejam presentes neles próprios.

Alguns dos principais obstáculos epistemológicos, enumerados por Bachelard, que não só causam a estagnação da construção do pensamento científico, mas também contribuem para o seu retrocesso, são: a experiência primeira, o conhecimento geral, o obstáculo verbal, substancialismo, realismo e animismo que serão apresentados a seguir de forma sucinta.

2.4.1. A experiência Primeira

A pessoa fica mais apegada à beleza do experimento do que à sua explicação científica. Nesse obstáculo, dá-se preferência às imagens e não às ideias. Principalmente no

conteúdo de Física, quando o professor busca fazer um experimento, ele deve tomar o cuidado para que este seja apenas uma ferramenta auxiliar ao conhecimento ensinado, por assim dizer, no “quadro-negro”. E não deixar que esse experimento seja só uma sucessão de resultados visualmente interessantes.

Pode-se citar um exemplo de experimento que trata da polarização da Luz. Em um primeiro momento o experimento parece ser mais atraente visualmente do que pelo real objetivo.

Acredita-se que a importância que deve ser dada ao rigor conceitual em uma primeira etapa de aprendizagem é fundamental. Antes de manipular as fórmulas operacionais, os alunos devem ter claros os conceitos, os modelos usados e suas limitações, como recurso para evitar aplicações mecânicas de expressões matemáticas ou cálculos vazios de conteúdo físico.

De acordo com COLOMBO e M. JAÉN (1991), as concepções prévias do estudante sobre o tema polarização são escassas. Conhece por exemplo, o uso de vidros polarizadores em óculos de sol e em filtros fotográficos, porém sua experiência prévia não é comparável com a que conta em outros campos da Física como, por exemplo, na mecânica. Por isso, busca-se aproveitar ao máximo todos os fenômenos simples que estão ao seu alcance e sobre os quais, em geral, se passa por alto. Neste sentido, também tem importância que o aluno possa “jogar” com seus elementos de trabalho, propondo variações e criando situações novas, fugindo assim do âmbito exclusivo da experiência primeira.

Pensando na proposta da presente dissertação, vê-se que os equipamentos de baixo custo, introduzidos como necessidade até mesmo nos cursos universitários básicos têm, por suas características, um grande valor intrínseco que pode ser aproveitado no processo de aprendizagem. Isto quer dizer, ensinando a importância e o valor de atividades práticas que podem ser realizadas com materiais de baixo custo, nas universidades, os alunos podem desenvolver os mesmos em sua futura vida acadêmica.

2.4.2 O conhecimento Geral

A ausência da explicação, no obstáculo da primeira experiência, faz com que haja uma generalização. Essa ocorre quando uma lei fica tão clara, completa e fechada, que dificulta o interesse pelo seu estudo mais aprofundado e pelo seu questionamento. Isso significa que leva à imobilidade do pensamento. Todas as outras explicações vão derivar desse primeiro conhecimento geral; as mesmas respostas são dadas a todas as questões. São, portanto, generalizações pré-científicas, que podem tornar-se um conhecimento extremamente vago.

A Física em sua grande área de conhecimento abrange muitas experiências, e entre elas muitas se deparam com este problema. Uma delas está ligada ao estudo de óptica, quando tentamos determinar a posição de uma imagem usando os raios principais. Na maioria das vezes os alunos ficam com a impressão de que a imagem é formada somente por aqueles raios. (CATELLI, 1996 p. 173).

O que aconteceria com a imagem se estes aparecessem em menor quantidade, ou se uma parte deles fosse coberta? Nada, pois o que poderia ocorrer é apenas a diminuição da intensidade destes raios. Isto quer dizer que mesmo com uma parte dos raios cobertos, é possível ainda visualizar a imagem formada por eles. Não se podem considerar só os raios principais, apesar de permitir a determinação da posição da imagem, não permitem prever nem a intensidade da imagem formada nem a profundidade de foco e isso é importantíssimo em cinema e fotografia, por exemplo.

2.4.3 *Obstáculo Verbal*

Nesse obstáculo há uma tendência de se associar uma palavra concreta a uma abstrata. Segundo Andrade *et al* (2002, p. 5) “uma só palavra, funcionando como uma imagem, pode ocupar o lugar de uma explicação.” Ou seja, muitas vezes o professor acha que para facilitar a compreensão do conteúdo a ser estudado, por parte dos alunos, ele deve usar algumas analogias, metáforas, entre outros. No entanto, o mau uso destes recursos pode, muitas vezes, na realidade, dificultar e criar obstáculos para o aprendizado. Isso não significa que Bachelard seja contrário ao uso de metáforas e analogias no ensino, porém, estas devem ser usadas depois da teoria e não antes, pois devem ser um auxílio e não o foco principal.

E na Física não é diferente. Uma confusão bastante comum está relacionada a respeito do ponto focal, quando focalizado o Sol com uma lente, para queimar papel, por exemplo, ou então do plano focal quando se quer formar imagens extensas.

De acordo com Bachelard, o conhecimento não é único, ele é considerado Unitário e Pragmático: Trata-se da crença numa unidade harmônica do mundo; assim, diversas atividades naturais se tornam manifestações de uma só natureza.

Sobre o que é o conhecimento pragmático, Andrade et al (2002, p. 2) dizem que ele:

[...] traduz-se na procura do caráter utilitário de um fenômeno como princípio de explicação. Bachelard afirma que muitas generalizações exageradas provêm de uma indução pragmática ou utilitária. *Em pedagogia*, constata-se que quando os alunos se referem a aspectos utilitários dos conceitos, como por exemplo: “a fotossíntese é a

função que purifica o ar que nós respiramos”, parece que isto é suficiente para definir os conceitos.

Um bom exemplo em óptica de princípios que, se mal trabalhados, podem levar a obstáculos verbais, são os que constituem a essência da dualidade da luz, pois é claro o seu comportamento ora como onda, ora como partícula. Mas como é possível trazer esses comportamentos para dentro da sala de aula? É possível imaginar a luz como raio, o que permite prever a formação de imagens em uma câmara escura (é predominantemente desse caso que trata o produto dessa dissertação). Assim como também é possível verificar o comportamento da luz como onda nos experimentos de difração e interferência entre outros. Tomar qualquer uma dessas acepções como “verdade” levará, cedo ou tarde, a contradições. Na sessão 2.8. “Princípios físicos da câmara escura”, o comportamento da luz como partícula (propagando-se em linha reta) será explorado.

2.4.4 Substancialismo

Outro obstáculo importante apontado por Bachelard é o Substancialismo: um dos grandes obstáculos ao conhecimento científico. Bachelard (1947) aponta ainda que o substancialismo se alterne do interior ao exterior, buscando no profundo as justificativas do evidente (LOPES, 1993).

Portanto, a ideia substancialista também se caracteriza pela noção de qualidade evidente, a qualidade superficial. Esse obstáculo “[...] pode ser em parte oriundo do materialismo promovido pelo uso de imagens ou da atribuição de qualidades” (GOMES e OLIVEIRA, 2007, p. 98). O substancialismo é uma atitude que conhece o mundo a partir da suposição de que as coisas são delimitadas (individualmente e em suas características qualitativas e relacionais) do mesmo modo como a linguagem comum as trata.

De acordo com Cardoso, as ideias menos precisas são aquelas que necessitam de maior número de palavras para expressá-las. Daí a educação substancialista propor inúmeros adjetivos para um único substantivo. Para que um medicamento seja eficiente, são necessárias que se atribuam a ele numerosas virtudes.

No contexto desse trabalho, a atividade da câmara escura, uma “qualidade” atribuída à luz é a de ela se propagar em linha reta. Algo como pensar assim: luz = linha reta. Não há de fato muito problema em se pensar dessa forma, desde que se tenha em mente que essa “materialização da luz” é provisória e limitada a um contexto preciso. Quando o ensino é dogmático, baseado em definições que devem ser repetidas em avaliações, centradas

predominantemente na memorização, e raramente (ou nunca) expostas à crítica, o risco de transformar conceitos de Física (no caso desse trabalho) em algo concreto, “substancial”, aumenta sensivelmente, e pode comprometer irremediavelmente toda uma proposta de ensino. O desenho do produto que resulta dessa dissertação procurou levar em conta também esse aspecto.

2.4.5 Realismo

Para o realista, a substância de um objeto é aceita como um bem pessoal. Segundo Bachelard, todo realista é um avaro e todo avaro é um realista.

Na óptica, ou em outras áreas, frequentemente, os professores defendem que, em primeiro lugar, a escola deve possuir vasto material de laboratório. Na óptica, por exemplo, é mencionada a necessidade de lentes, anteparos e todo um conjunto de dispositivos, frequentemente denominado de “banco óptico”. Mas é razoável conjecturar que o sentimento de posse desse material se esgote aí mesmo, na posse. Uma evidência disso seria o fato de que, nas raras escolas onde há esse equipamento disponível, ele não é explorado. Então, avançando na questão, não é prioridade possuir equipamentos de laboratório. A prioridade seria realizar atividades experimentais, com o que estiver à mão, desenhado para esse fim ou não. Num mundo onde praticamente todos os alunos possuem telefone celular com câmara fotográfica, é possível ter imediatamente acesso a um produto tecnológico atual que inclui lentes, formação de imagens, etc.!

Um risco adicional da visão expressada no parágrafo anterior é o seguinte: se o estudante só faz Física (experimental) dentro do laboratório, com material especificamente desenhado para esse fim, não seria de espantar se resultasse daí a ideia de que o que for encontrado no laboratório “só acontece lá”. Na vida real, é diferente. O “real” do laboratório é diferente do “real” do mundo do cotidiano. Essa ideia não deixa de ser verdadeira, num certo nível. A lente (grande, com suporte, facilmente manuseável) de um banco óptico especialmente desenhado para atividades de ensino lembra muito pouco uma lente de uma câmara de telefone celular (aí, a lente é um conjunto – minúsculo – de vários elementos, praticamente “escondido” no interior do telefone, impossível de manusear, pelo menos não de forma direta).

A posse (melhor, disponibilidade) de dispositivos de laboratório de óptica não leva, necessariamente, à “posse” dos conceitos físicos que parecem governá-los. Com o perdão do exagero no exemplo, ser proprietário de uma lente não leva à “posse” do conceito de plano focal. (As aspas em “posse” indicam que um conceito, na perspectiva dessa dissertação, não é

algo que o estudante “tem” ou “não tem”). O estudante “constrói”, eventualmente em níveis crescentes de sofisticação, um conceito.

Então, a “construção da realidade” dos objetos de laboratório de Física deve ser ela também objeto de atenção quando é desenhada uma atividade, como é o caso do produto dessa dissertação. O jogo de associação objetos de laboratório – objetos do cotidiano devem ser explorados, é claro que em níveis apenas introdutórios de dificuldade. Mas deve ser explorado. O fato de usar dispositivos não especialmente desenhados para o fim proposto na atividade da câmara escura pode auxiliar nessa “construção da realidade” dos objetos que integram as atividades da sala de aula.

2.4.6 Animismo

O uso de atributos humanos no ensino de ciências pode ser considerado um entrave para a aprendizagem. Isso significa animar, atribuir vida e características humanas às substâncias para explicar fenômenos. Um exemplo desse obstáculo pode ser percebido na fala de um professor de Física, ao ensinar o tema empuxo: “pensem no líquido como um ser meio antissocial. Ele não gosta de se misturar com ninguém. Quando você vai jogar alguma coisa lá dentro, ele não aceita, por isso expulsa o objeto/matéria” (FINZI, 2008 p.1). Ainda segundo esse autor (p.2), nesse caso há um entrave para o pensamento científico, pois o líquido está sendo comparado a um homem com qualidades ruins (ser “meio antissocial”).

Dessa forma, ao invés de o aluno ser levado a entender a força que atua nos líquidos, ele irá focalizar sua atenção em algo espúrio, ou seja, o eventual mau relacionamento de pessoas umas com as outras.

Um exemplo animista na óptica: os gregos imaginavam que os objetos apareciam iluminados porque a luz que emanava dos olhos os iluminava! Os antigos filósofos gregos não faziam discernimento entre a luz e a visão. Eles não viam a Física da luz e a sensação visual como duas coisas separadas. A interpretação que o cérebro acabava tendo dessa Física não era por eles separada da Física em si. Para eles a visão era explicada com uma teoria, segundo a qual a visão estava intimamente ligada ao tato. Acreditavam que de dentro dos olhos projetavam-se raios luminosos que tateavam os objetos e retornavam aos olhos trazendo consigo informações que, ao serem interpretadas pelo cérebro, acabavam gerando a sensação visual. Com o passar do tempo e estudando a fisiologia dos olhos foi possível concluir que a ideia do "fogo dentro dos olhos" era mesmo absurda. As experiências de Aristóteles acerca dos

fenômenos ligados à óptica, por exemplo, indicam que essa separação fenômenos ópticos – sensações visuais, tinha sido por ela adotada (BOSCHETTI, 2001).

Fenômenos hoje desvendados eram, mesmo que de forma deslocada, introduzidos no estudo da óptica. A ideia dos gregos de soma de luz é o que hoje se aceita de interferência; a ideia de Aristóteles de luz arrancando átomos é, numa visão moderna, o efeito fotoelétrico. Este é um dos exemplos em que é possível identificar de forma clara o obstáculo conhecido como animismo.

Todo um conjunto de obstáculos epistemológicos/didáticos¹ se manifesta quando tendemos a atribuir propriedades auto evidentes ao laboratório e aos objetos que o compõem. Isso ocorre, por exemplo, quando os “experimentos” que realizamos no laboratório “demonstram” certas leis da Física. Essa “demonstração” fica evidente nessa fala (fictícia, mas certamente recorrente em ambientes de aprendizagem de laboratório).

“Bem, como vocês acabaram de ver, essa experiência demonstrou que, de fato, essa lente convergente do nosso laboratório possui a propriedade de criar uma imagem invertida de um objeto que emite luz”. Essa frase é plena de mal entendidos epistemológicos. Dois deles serão brevemente mencionados e discutidos.

O problema do laboratório como espaço de prova da veracidade de certas afirmações aparece na expressão [...] como vocês acabaram de ver, essa experiência demonstrou que, de fato, [...]. Laboratórios didáticos não são (nem devem parecer ser) espaços onde a “veracidade” de afirmações (do professor, ou de livros-texto) é atestada. Atividades de laboratórios não são demonstrações, seja lá do que for. Essa afirmação fica evidente no momento em que determinadas expressões são empregadas. Se levarem os alunos ao laboratório “fazer um experimento demonstrativo”, fica claro que querem demonstrar “como as coisas são”, por meio de uma montagem e (ou) manipulação de materiais didáticos. Mas se, inversamente, vão ao laboratório “explorar o que acontece quando...”, bem, aí o princípio didático subjacente é completamente diferente. Por essa razão o produto dessa dissertação é apresentado menos como uma “receita” de como proceder, e mais como um conjunto de sugestões que permitem uma exploração mais efetiva de um conjunto de fenômenos intrigantes.

¹Utiliza-se aqui a expressão “obstáculo epistemológico-didático” com o intuito de esclarecer que se trata de um obstáculo ligado à forma pela qual a Ciência é apresentada pelos professores e percebida pelos estudantes. Então, se trata de um obstáculo na forma de apresentar / perceber a ciência (obstáculo didático), e não um obstáculo ligado à percepção de como a própria ciência é construída (obstáculo epistemológico).

Em segundo lugar, outro aspecto, sutil, mas relevante: a expressão “essa lente” insinua que a lente do laboratório, ela em especial, possui uma determinada propriedade. Se, em algum momento, a generalização para todas as lentes convergentes não for feita, correm-se dois riscos. O primeiro deles é o de imaginar que algumas lentes apresentam essa propriedade, e outras não. O segundo (que decorre em parte do primeiro) é o de imaginar que as lentes que apresentam essas propriedades (inverter a imagem) são as lentes de laboratório. Lentes “do mundo real” são diferentes. (Veja o exemplo do obstáculo realista) Aqui, se entra no terreno da chamada de “aprendizagem significativa”, tratada em outro momento dessa dissertação.

A seguir, será explorado o tema “Óptica”, e, por conta de tudo o que foi argumentado anteriormente, será tomado um cuidado especial para que estes obstáculos sejam percebidos e tratados de maneira consciente e produtiva. O fato de que os obstáculos epistemológicos/didáticos passem, na maior parte das vezes, despercebidos, transforma-os em perigosas armadilhas. É preciso aumentar, então, a vigilância.

2.5. Uma imagem de ciência para conduzir as atividades exploratórias no laboratório

Mas, porque atividades de laboratório didático não podem ser usadas como elemento de “veracidade” de um conteúdo? Um argumento bastante convincente (mas não o único disponível, como será visto mais adiante) deriva da imagem de ciência fornecida pela possibilidade de falsear afirmativas (ou conjuntos delas) no âmbito da ciência, que é proposta por Karl Popper. “Científico” não é aquilo que se pode provar que é verdadeiro. Científico é aquilo que ainda não foi infirmado (contestado, refutado), mas poderá vir a sê-lo no futuro. Se não for possível imaginar um contexto no qual uma afirmação científica seja contestada, então ela não é científica. Afirmções científicas não podem ser sistematicamente e eternamente imunes a contestações. Se o forem, não são afirmações de ciência (não há nenhum conteúdo científico na afirmação “amanhã chove, ou não chove”). A epistemologia popperiana é toda baseada em conjecturas, que serão em seguida testadas, principalmente no campo empírico. Uma análise do método que será usado para tais testes pode, segundo Popper, nos ensinar muito sobre o que é ciência. Vale ressaltar que, ainda segundo Popper, o objetivo principal da ciência, e que dá sentido a ela, é a possibilidade de refutação, e não a “comprovação” de uma determinada teoria.

Evidentemente, lembra Popper, jamais poderemos passar de enunciados singulares para universais com a certeza da verdade. Essa ideia de passagem de enunciados singulares para enunciados universais já tinha sido contestada anteriormente (já no século XVIII) por

David Hume (lembrando que Popper viveu no século XX). Esse é o conhecido “problema da indução”, e é sobre ele que Popper se debruçará (POPPER, 1975).

Se uma nova conjectura (teoria) é proposta, espera-se que ela tenha mais conteúdo teórico que a teoria anterior. Mas, se o conteúdo empírico de uma conjectura aumentar também, abre-se a possibilidade de esta ser cada vez mais falseável. É justamente essa possibilidade de falseabilidade que leva a ciência a constantes mudanças, e conseqüentemente, ao progresso.

Costuma-se caracterizar as ciências empíricas através de seus métodos conhecidos por indutivos, onde repetidas observações, com repetidos resultados consistentes levam à comprovação da teoria. O primeiro problema indutivista ocorre quando se tenta passar de enunciados singulares, de algumas observações, para enunciados universais, ou seja, quando força-se a generalização. Um exemplo clássico é o caso dos cisnes brancos: por mais que se tenha observado um grande número de cisnes, todos brancos, não necessariamente pode-se de tal observação afirmar que “TODOS os cisnes são brancos”. Diante da óbvia falta de justificativa dos indutivistas restou-lhes a tentativa de sustentar a ideia da possibilidade, onde um experimento determinaria uma teoria como “mais provável” ou “menos provável”, dependendo apenas dos resultados obtidos; sairíamos assim do princípio da indução como “verdade” para outro princípio, o da “verdade provável”. Contudo, para Popper, isso significaria um retrocesso para a ciência. A metodologia de Popper propõe alternativamente o dedutivismo, no qual o experimento não daria luz a uma teoria, mas, ao contrário, o teste de uma dada hipótese só ocorreria após a formulação teórica dessa hipótese (teoria). Em suma, o dedutivismo de Popper fará o caminho inverso do indutivismo, enquanto este último parte da experiência para só depois apresentar a teoria, e com isso encontra o problema de passagem para a universalidade (teoria) a partir do particular (experimento). O dedutivismo defenderá que antes da experimentação, faz-se necessária a formulação da hipótese. Agora, se parte do universal (da teoria) para o particular (para a experiência), e isso, segundo Popper, é logicamente válido.

Entendendo teorias científicas como enunciados universais, e que seu propósito maior é a racionalização do mundo (ou natureza), e a tentativa de melhor explicá-lo e dominá-lo, pretende-se buscar o melhor método de testá-las. Partindo-se de uma nova ideia, na verdade uma hipótese, que de alguma forma não foi justificada, retira-se dela conclusões por meio de deduções lógicas, e assim comparam-se estas conclusões entre si e com as próprias hipóteses, ou enunciados, com o intuito de observar as relações, como equivalência e compatibilidade que

possam existir entre elas. Dentre alguns diferentes procedimentos, existe o teste por meio de aplicações empíricas das conclusões que foram deduzidas a partir das hipóteses; o fim desejado por esse tipo de teste é a verificação de até que ponto as conclusões da teoria satisfazem sua aplicação prática. A partir daí se extraem da teoria, dedutivamente, aplicações singulares, e são justamente esses enunciados (aplicações) singulares que serão expostos a testes experimentais. Se esses testes experimentais forem exitosos, a teoria “passa” pelo teste, não é descartada. No caso contrário, se não passa nos testes é porque esses enunciados falseiam a teoria da qual foram obtidos dedutivamente, já que se, afirmando algo num conjunto universal, uma conclusão dele retirada for considerada falsa, a afirmação universal de onde foi retirada a singular também é falsa. (Se uma conclusão é falsa, é porque alguma(s) da(s) premissa(s) é falsa. É como disse Popper (apud Silveira, 1996), o “princípio da retransmissão da falsidade”. Imagine alguém que, após ter visto um grande número de cisnes brancos, afirme que “todos os cisnes são brancos depois encontre um cisne preto. Esse fato (encontrar um cisne preto) faria com que a hipótese de partida (todos os cisnes são brancos) fosse tida como falsa.

Dito de maneira simples, toda a boa hipótese científica deve incluir meios de ser contestada. Se não existir nenhum meio de contestar uma hipótese, então não se tratará de ciência, mas de crença. Vale ressaltar que, caso a teoria seja corroborada, essa corroboração é provisória, pois testes futuros poderão vir a falseá-la.

A falseabilidade acontece sempre, segundo Popper, quando numa teoria é descoberta um fato que a desmente, ou seja, quando se pode deduzir dessa mesma teoria um enunciado singular mais ou menos como uma predição que não verifica a teoria, como o exemplo dos cisnes citada acima. Sendo assim, para Popper, ao invés de tentarmos provar uma teoria buscando uma possível verdade é mais interessante forçar o seu falseamento, pois caso isso não se dê, a teoria estará corroborada (por essa vez!). Isso ocorre porque a proposta popperiana assume uma assimetria entre verificabilidade e falseabilidade. Os enunciados universais nunca são resultado de enunciados singulares, como acontece no indutivismo, mas os enunciados singulares podem derivar dos universais, e podem falsear toda uma teoria.

Apresentado ao grosso modo, o método, dentre as muitas objeções que se pode ter, está em se poder dizer que Popper, rejeitando a indução, retira das ciências empíricas a sua característica aparentemente mais importante, que é o experimento como ponto de partida para uma teoria. No entanto, o motivo da rejeição do indutivismo só se dá por este não proporcionar um critério de demarcação apropriado e, além disso, se bem observado for, Popper, não rejeita a experiência, e cima coloca num outro patamar em sua metodologia. A experimentação deixa

então, para Popper, de ser um critério de garantia de uma teoria, e passa a ser a melhor possibilidade de refutação dessa mesma teoria. É isso, a possibilidade de refutação, que garantirá à teoria um status – provisório – de cientificidade. Científico é o que pode ser falseado, e não o que pode ser provado como verdadeiro. Não há prova definitiva de verdade. O que Popper chama “problema da demarcação” nada mais é senão um critério que faria distinguir ou diferenciar ciências empíricas, ciências formais (matemática e lógica) bem como sistemas metafísicos. A possível solução para esse problema é então a proposta de um conceito de ciência, de modo que fique bem clara a demarcação entre ela e a metafísica. E é certo que uma teoria só é dada como científica ou empírica se for suscetível de ser testada experimentalmente. Assim, seu critério de demarcação deixa de ser sua verificabilidade (comprovação de uma suposta verdade) para ser sua falseabilidade, ou seja, o que se exige de uma teoria científica ao ser colocada em teste é a possibilidade de ser refutada. Não é interessante para a ciência, do ponto de vista do acúmulo de conhecimento, que ocorra uma estagnação. Tomar uma teoria como verdade absoluta desencadeará vários problemas. O primeiro deles: fecha-se definitivamente a possibilidade de progresso, dado que a verdade já foi alcançada. Em segundo lugar, fica a questão: como atestar, no âmbito da ciência, a verdade absoluta de uma teoria. Não é sensato deixar-se guiar por um dogmatismo da ciência, seja ao produzi-la, seja ao historiá-la, seja ao ensiná-la. É a possibilidade permanente do falseamento de uma teoria que permite que a denominemos de “científica”. Adicionalmente, mas não menos importante, a possibilidade de falseamento é justamente o que garante uma ciência “viva”, que progride. O dogmatismo na ciência equivale à pena de morte para seu progresso.

Com isso tem-se que o objetivo principal da ciência é a possibilidade de verossimilhança como grau de aproximação de uma teoria com a verdade. O “atestado de verdade” de uma teoria é substituído por um maior ou menor grau de verossimilhança. Para que as teorias se aproximem cada vez mais da verdade, no sentido de verossimilhança, é necessário que novas teorias sejam sistematicamente produzidas e testadas, o que leva a um constante crescimento dos conteúdos empíricos. Assim, uma nova teoria deve abrir uma nova (e eventualmente maior) possibilidade de testes, e resistir a esses novos testes, na medida em que forem realizados. É importante novamente enfatizar: não é o acúmulo de observações que garante o progresso da Ciência, mas sim a busca permanente, metódica, obsessiva mesmo, de refutações. São essas refutações que garantem o progresso da Ciência, é dessa forma que ocorre um aumento do conhecimento. Quando uma teoria é substituída por outra, ocorre uma compreensão diversa do mundo e uma resposta alternativa aos problemas científicos; cada

nova teoria, além de trazer conteúdo empírico adicional, permite a formulação de novos problemas. É a ciência em constante reconstrução.

Esses são aspectos importantes da visão popperiana de Ciência. Mais adiante, tentar-se-á integrá-los a uma proposta didática de ensino e aprendizagem de óptica. Nessa tentativa de integração, incluir-se-á outros aspectos, não destacados diretamente nessa “leitura popperiana” da Ciência. Destaca-se preliminarmente um deles (o qual será aprofundado oportunamente): a refutação de uma teoria nunca é automática e imediata, uma vez encontrada uma refutação. E porque não? Até que a comunidade científica aceite, incorpore e se adapte a essa refutação, pode transcorrer um longo tempo. E esse aceite, incorporação e adaptação não são invariavelmente regidos por critérios racionais: a comunidade científica é uma comunidade num sentido social, quer dizer, as características de comportamento humano dos indivíduos que a compõem afetam sim, e frequentemente de forma decisiva, a forma como essas refutações são incorporadas. Retornar-se-á a esse ponto oportunamente.

Por fim, outro aspecto decisivo a respeito das refutações é o de que teorias que foram refutadas não abandonam necessariamente o cenário científico. Algumas, sim. Outras, não. Tome-se o conceito de calórico, na termodinâmica, ou o de éter, na óptica. Esses conceitos de fato foram abandonados, e só encontram lugar nos livros didáticos quando são contextualizados historicamente. Não se usa, para dar um exemplo, o conceito de calórico ao desenvolvermos atividades de termodinâmica na escola. Já o conceito de luz como raio (ou partícula movendo-se em linha reta), apesar de “refutado” em diversos momentos do passado, sobrevive nos livros didáticos, e é usada rotineiramente em atividades da assim chamada “óptica geométrica”. Então, não se pode tomar, num contexto didático, a ideia de refutação de Popper ao pé da letra. De fato, Popper nunca afirmou que teorias refutadas passam a ser inúteis, e devem ser excluídas. Teorias refutadas nem sempre são teorias abandonadas, nem no contexto da escola, e nem mesmo (em alguns casos) no contexto da ciência. Se não fosse assim, não ensinariam mais a mecânica de Newton nas escolas e nas universidades, e não é isso que ocorre. E no contexto da ciência, existem, por exemplo, campos de pesquisa em astronomia de posição que servem de conceitos newtonianos para produzir ciência de ponta.

Por fim, será feita uma releitura dessas concepções de ciência, do ponto de vista do produto que se pretende desenvolver. Em primeiro lugar, como já foi argumentado anteriormente, a atividade será estruturada em torno de investigações, e não em torno de demonstrações.

Em segundo lugar, o conflito, a contradição, o “dar errado” serão buscados, e não evitados. Como exemplo, mais adiante nessa dissertação será explanado com detalhe o andamento de uma atividade de óptica empregando a câmara escura. Num certo momento, pergunta-se aos alunos o que aconteceria com o tamanho da imagem se o objeto luminoso fosse afastado da caixa munida de um orifício pequeno. Os alunos habituados a ver imagens maiores quando, por exemplo, um retroprojeter é afastado da tela de projeção, responderão provavelmente que a imagem aumenta. Numa câmara escura, ocorre exatamente o oposto, a imagem diminui. Isso ocorre por que o orifício deve ter cerca de meio milímetro. Se for maior, deixa que mais de um raio correspondente a cada ponto do objeto atinja a parede e a imagem fica borrada. Se o orifício for muito pequeno, os raios vão sofrer um desvio ao esbarrar na sua borda, diminuindo o contraste. Cria-se assim um conflito, uma situação que não faz sentido. É claro que no passo seguinte, após ter verificado essa diminuição de tamanho, os alunos são provocados a criar um modelo convincente dessa situação, e de fato eles o fazem, como será mostrado mais adiante. Então, diversos elementos, retirados da visão popperiana de ciência, são postos em relevo. Não se demonstra; explora-se uma situação. Uma coleção de sucessos não autoriza expressões do tipo: “viu? É assim que a coisa funciona!” Encontrados eventuais conflitos, procura-se resolvê-los, mesmo que seja de modo provisório. O “errado” é mobilizado de modo a instigar, em vez de “travar” o progresso do aprendizado.

2.6. A historicidade dos conteúdos escolares de Física

A história da Ciência pode ser “lida” a partir da “refutabilidade” das teorias. As teorias de Kepler e Galileu, após se unificarem, foram superadas pela teoria de Newton, que mais tarde também foi superada pela Teoria da Relatividade de Einstein.

Por hora, não há refutações evidentes da teoria da relatividade, o que não impede que surjam no futuro, próximo² ou não. Na figura 1, a seguir, é apresentada uma “linha do tempo”, na qual vários responsáveis por contribuições diversas à óptica são relacionados.

É interessante ressaltar que todas essas teorias foram inicialmente formuladas e só depois expostas a testes, pelos quais foram corroboradas, e algumas com o surgimento de uma

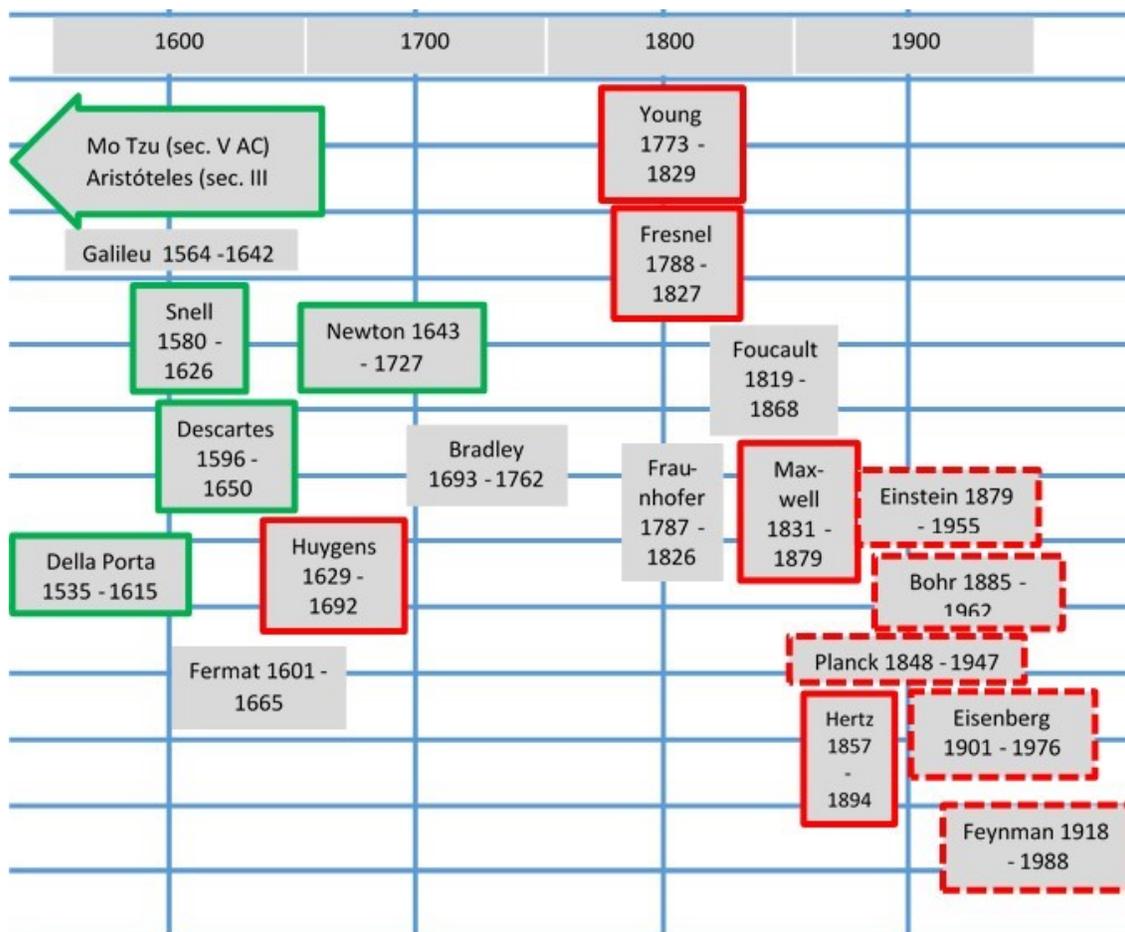
²Aquilo que poderia ser uma refutação da teoria da relatividade, a não existência de ondas gravitacionais, ganhou um elemento novo recentemente. Um observatório americano teria detectado evidências dessas ondas (ver, por exemplo, <http://www.forbes.com.br/lifestyle/2016/05/cientistas-recebem-premio-de-us3-mi-por-deteccao-de-ondas-gravitacionais-de-einstein/>). Uma “leitura” popperiana desse evento poderia ser a seguinte: 1- a “não existência” de algo dificilmente pode ser encarada como uma refutação, dado que a “não existência” transforma-se em “existência” no momento que a detecção ocorre. 2- A detecção não “prova” que a teoria da relatividade é verdadeira. Ela acrescenta um elemento, eventualmente muito forte, de plausibilidade a essa teoria. Mas não é uma “prova”.

explicação melhor, foram falseadas. Nessa visão popperiana, a ciência progride a partir dos problemas, e não a partir das observações. As observações não são importantes por elas mesmas, mas sim na medida em que se tornam veículo de novos problemas. A maior contribuição que uma teoria dá para o crescimento científico é o novo problema que levanta; teorias “nascem e morrem” a partir dos problemas que suscitam.

Enfim, a metodologia popperiana, ao negar o indutivismo, propõe uma ciência que se mantenha longe da subjetividade. Os testes aos quais as teorias são submetidas não se destinam a verificá-las, mas sim a falseá-las como foi dito acima: se buscarem a verdade, como atestar que ela foi encontrada? E, uma vez encontrada, essa verdade, pelo seu caráter imutável e eterno, não decretaria o fim da ciência, ou pelo menos, o esgotamento definitivo de seu progresso?

Como todas essas teorias, tanto a desenvolvida por Ausubel, com a aprendizagem significativa (AS), Bachelard e a investigação dos Obstáculos Epistemológicos (OE) e Karl Popper com as ideias de falseamento, afetarão essa proposta de trabalho, ligada à óptica? A resposta a essa questão impregnará praticamente todas as páginas, até a conclusão; iniciar-se-á produzindo um recorte que dá conta de onde, ao longo do conteúdo, está inserido o tema tratado ao longo do restante do trabalho.

Figura 1- Linha do tempo de alguns personagens importantes na construção das ideias na óptica. Moldura em verde: modelo corpuscular da luz; moldura em vermelho: modelo ondulatório da luz. Moldura em pontilhado vermelho: a luz como fóton.) As molduras que contém os nomes dos cientistas iniciam no ano de nascimento e terminam no ano da morte; a largura da moldura é proporcional ao tempo de vida. (Linha do tempo produzida pela autora)



2.7. A óptica no interior dos conteúdos da Física do Ensino Médio

Esta seção apresenta uma revisão dos conteúdos de óptica no ensino médio relacionando-os, sempre que julgado conveniente, com os conceitos de obstáculo epistemológico e didático. Propõe-se também conexões com as ideias de Popper respeito da Ciência e seu progresso.

Óptica é a parte da Física que estuda fenômenos associados à luz. Uma divisão usual é a que a separa em óptica geométrica e óptica Física, de acordo com o comportamento atribuído

à luz. Como demonstrado na figura 1, atribuir-se-á à luz dois comportamentos, o de partícula e o de onda.

Os fenômenos relacionados à óptica são conhecidos desde a antiguidade. Existem registros de que, em 2.283 a.C., já eram utilizados cristais de rocha para observar as estrelas. Na Idade Antiga, na Assíria, já havia a lente de cristal; e, na Grécia, utilizava-se a lente de vidro para obter fogo. Gotas d'água foram (e ainda são) empregadas como lentes de aumento, com resultados por vezes surpreendentes³.

O grande salto no estudo da óptica ocorreu no século XVI. Galileu Galilei apresentou o primeiro telescópio, em 1609; Snell e Descartes chegaram à lei da refração. O trabalho mais importante dessa época foi a medição da velocidade da luz, através de observações astronômicas; o valor encontrado foi $c = 3,08.10^8 \text{m/s}$, obtido por Bradley, em 1728. É interessante notar: a lei da refração pode ser formulada a partir da ideia da luz se propagando em linha reta, ou, a luz como raio. No próximo parágrafo, referir-se-á a outro avanço, no qual a luz é vista não mais como raios (se propagando em linha reta), mas como uma onda.

Outro importante nome para a evolução dos estudos sobre a Óptica foi o de Huygens, que, em 1678, apresentou a hipótese de que a luz seria uma onda. Isaac Newton também deixou suas contribuições na área, entre elas a teoria da variação do índice de refração da luz pela variação da cor, que pode ser observada na dispersão da luz ao passar por um prisma.

O renome de Newton, adepto da teoria corpuscular da luz, retardou o surgimento e estabelecimento da teoria ondulatória. Inversamente, numa acepção moderna, pode-se dizer que a luz é uma partícula. Mas não se trata de uma partícula numa acepção clássica, algo que se assemelhe, por exemplo, a um grão de poeira. Após muitos estudos dos cientistas hoje sabemos que a luz é constituída por minúsculas partículas elementares, essas partículas foram denominadas como os fótons. Ora ele se manifesta como partícula, ora como onda, mas, como uma partícula “clássica”, é localizado no espaço. O título do capítulo 2 de Feynman (FEYNMAN, 2006, p. 36), deixa isso bem claro: “fótons: partículas de luz”.

Em 1801, Young explicou a interferência da luz a partir da teoria ondulatória. Em seguida, por volta de 1815, Fresnel fez o mesmo com os fenômenos da difração.

Um fato interessante ocorreu com Fresnel ao submeter um trabalho à Academia Francesa de Ciências, que havia promovido uma competição a respeito da difração da luz. Poisson, membro do comitê avaliador, tentou ridicularizar o trabalho, que fazia uso da teoria ondulatória, afirmando que, se ela fosse verdadeira, um ponto central de luz apareceria na

³ Ver, por exemplo, <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v35n3/a22v35n3.pdf>.

sombra de uma esfera iluminada, o que era notoriamente “impossível”. Pois bem: outro membro do comitê de avaliação, Arago, grande amigo de Fresnel e também membro desse comitê, montou com bastante cuidado o dispositivo sugerido por Fresnel e conseguiu obter o “ponto brilhante”, hoje conhecido (um tanto ironicamente) como “ponto brilhante de Poisson” (“Poisson’s spot”, em inglês). (BASSALO, 1988).

Outro cientista importante para o desenvolvimento dessa teoria foi Foucault, que conseguiu projetar e montar um dispositivo no qual foi medida a velocidade da luz na água; o valor encontrado era menor do que a velocidade da luz. Esse resultado “refutava”⁴ a teoria corpuscular (defendida, entre outros, por Newton), que afirmava que a velocidade da luz era maior na água que no ar. Foi de James Clerk Maxwell a principal evidência de que a luz comportava-se como uma onda eletromagnética, pois ele retirou de suas equações um resultado (para a época) surpreendente: a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética no espaço era igual à velocidade de propagação da luz.

Essa teoria de que a luz era de fato uma onda eletromagnética foi questionada no final do século XIX. O efeito fotoelétrico, apresentado naqueles tempos (1887) por Hertz à comunidade científica, não era passível de uma boa explicação a partir dessa teoria. Einstein (1905) utilizou a teoria de Planck para mostrar que a luz era formada por “pequenos pacotes de energia”, os fótons. A partir dessa teoria, Arthur Compton demonstrou que quando um fóton e um elétron colidem ambos se comportam como partícula.

A partir de então, a luz passou a ser considerada como onda ou como partícula, dependendo do fenômeno estudado. Essa teoria atribui à luz uma natureza dual.

Compilando tudo o que foi relatado até aqui, têm-se três teorias:

1ª - A teoria corpuscular da luz, defendida por Isaac Newton.

Para Descartes (primeira metade do século XVII), a velocidade da luz num meio menos denso, por exemplo, o ar, deveria ser menor que a velocidade da luz num meio mais denso, por exemplo, a água (TARÁSOV e TARÁSOVA, 1982, p.16). Essa hipótese explicaria adequadamente a refração de um feixe de luz ao passar do ar para a água, conforme pode ser visto na figura 2.

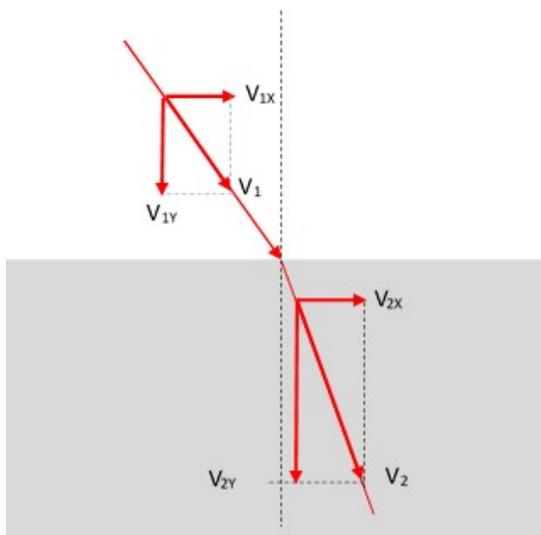
Observe que a luz no meio 1 (o ar, por exemplo) se propaga mais lentamente do que no meio 2 (a água, por exemplo). Supondo que o módulo das componentes x (v_{1x} e v_{2x}) não

⁴A “refutação” é tomada aqui no sentido que Karl Popper dá a esse termo. Convém lembrar também que “refutações” têm significado no contexto da época em que foram enunciadas; o termo, tomado anacronicamente, perde sentido.

se altera com a troca de meio, o módulo de v_{2y} necessariamente teria que ser maior que o módulo de v_{1y} , o que explicaria a mudança da direção do raio de luz ao trocar de meio. (A hipótese de Newton, impossível de ser avaliada experimentalmente naqueles tempos, era a de que a componente vertical da velocidade da luz era “puxada” do ar para a água, aumentando por isso de tamanho BAYERLEIN, 1992, p. 44).

Também para Newton os corpúsculos de luz deveriam se propagar com maior velocidade no meio mais denso, como pode ser visto no seguinte extrato do enunciado de sua proposição X:

Figura 2- Propagação da luz em meios diferentes, segundo Newton. A luz no meio menos refringente (o ar) teria uma velocidade V_1 menor do que a do meio mais refringente (V_2 , na água).



Si la luz es más rápida en los cuerpos que en El vacío, de acuerdo com La proporción entre los senos que midem La refracción de los cuerpos, las fuerzas con que éstos reflejan y refractan la luz son casi proporcionales a las densidades de los mismos cuerpos⁵, [...] (NEWTON, 1977, p. 238)

2ª - A teoria ondulatória defendida por Christian Huyghens, Thomas Young, Fresnel e Maxwell.

⁵"Se a luz é mais rápida nos corpos do que no vácuo, de acordo com a proporção entre os senos que mede a refração dos corpos, as forças com que esses refletem e refratam a luz são quase proporcionais às densidades desses mesmos corpos [...]". (Tradução livre dos autores. A expressão "proporção entre os senos que mede a refração dos corpos" nada mais é do que a conhecida lei de Snell - Descartes, que na sua forma mais moderna é conhecida como $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$.

Para Huygens, seria possível prever a forma de uma determinada frente de onda imaginando-a como composta por um grande número de "ondículas", cada uma das quais atuaria como uma pequena onda se propagando sob forma de círculo, de diâmetro cada vez maior. Após um determinado tempo t , a envoltória de todas essas ondículas determinaria a nova frente de onda, como pode ser visto na figura 3.

Figura 3- Acima: ondas "planas" no mar. Abaixo: como uma frente de onda se propaga, na perspectiva das "ondículas" propostas por Huygens.

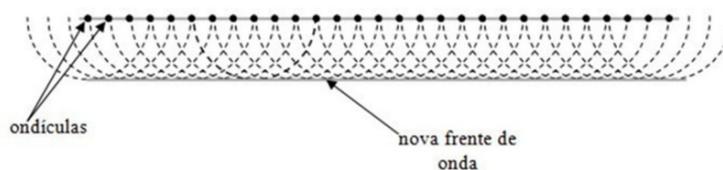
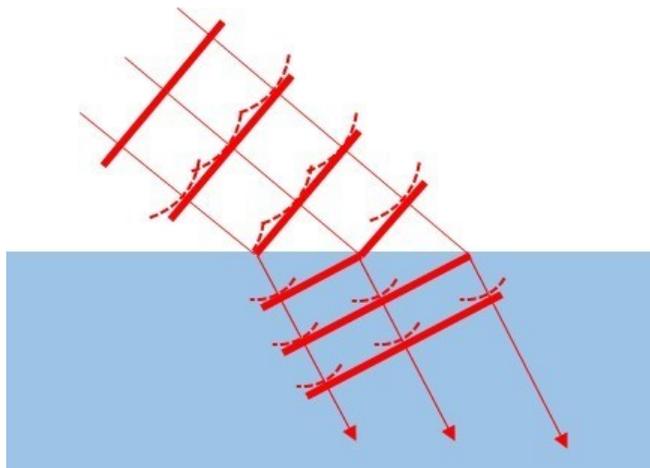


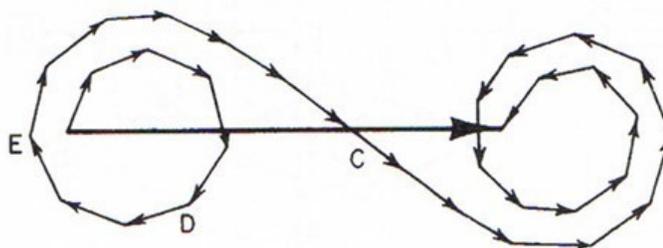
Figura 4- as frentes de onda (linhas curvas, pontilhadas) numa refração. Note que, no meio superior, o ar, as frentes de onda (linhas mais espessas) possuem espaçamento maior quando comparadas às frentes de onda após a luz ter penetrado na água, o meio inferior. Então, na refração, pela teoria ondulatória, a luz, ao passar de um meio opticamente menos denso para um mais denso, sofre contração no comprimento de onda e na velocidade. A frequência se mantém constante (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2014).



3ª - A teoria dos fótons (Feynman, e outros).

Feynman diz que a luz, ao se propagar de um ponto a outro, “percorre” todos os caminhos possíveis (Figura 5), porém cada um deles está associado a uma probabilidade. Assim a soma [seta grande] das amplitudes de probabilidade [setas pequenas, cada uma identificando um caminho possível] determina como a luz se move de um ponto a outro (início e fim da seta grande) (FEYNMAN, 2006).

Figura 5- Trajetória da Luz de um ponto a outro, segundo Feynman



Os cientistas nomeados nesse breve apanhado histórico (e outros, não mencionados aqui) aparecem na linha do tempo apresentada na figura 1. Nessa linha do tempo são destacadas também as teorias que guiaram os trabalhos de cada um (teoria da propagação

retilínea / teoria corpuscular; teoria ondulatória e luz como fótons). A imagem aqui apresentada da evolução das ideias sobre o que é a luz permite entender como os programas de estudo da óptica (em nível de ensino médio) são, em geral, divididos: a óptica geométrica e a óptica física. A óptica geométrica tem como princípios fundamentais a propagação retilínea dos raios em meios homogêneos, transparentes e isotrópicos, independência dos raios e reversibilidade dos raios. Os fenômenos que essa área abrange são: propagação retilínea da luz, reflexão e refração da luz, espelhos e lentes. Já a óptica Física tem uma inspiração ondulatória, e remete ao modelo de Huygens. Os fenômenos estudados por essa área são: emissão, composição, absorção, polarização, interferência e difração da luz.

Em níveis mais avançados (a Física moderna, no ensino universitário), a luz é entendida como uma partícula, o fóton, mas essa não é definitivamente uma partícula tal como concebida classicamente, por Newton, por exemplo. O fóton apresenta, dependendo de como é observado, características de partícula, ou características de onda. Mas o fóton não é – na perspectiva de Feynman, por exemplo - nem uma onda clássica, nem uma partícula clássica. Não há nada no cotidiano imediato das pessoas que seja pelo menos parecido com um fóton. Não será tratada nessa dissertação dessa perspectiva mais moderna do fóton de luz.

Então, para concluir, importante considerar uma pergunta, feita com alguma frequência pelos alunos: porque estudar óptica? A óptica é uma parte da Física que está muito presente no dia a dia. Algumas de suas aplicações podem ser observadas, por exemplo, em instrumentos utilizados para corrigir defeitos visuais, como os óculos e as lentes; instrumentos para observação (microscópios, telescópios, lunetas); câmeras fotográficas, filmadoras e outros dispositivos similares; espelhos (maquiagem, retrovisores e muitas outras aplicações), e assim por diante.

2.8 Princípios físicos da câmara escura e quando eles deixam de “funcionar”

Segundo o princípio fundamental da assim chamada óptica geométrica, os raios de luz se propagam em linha reta. Há vários exemplos que sugerem esse princípio, como a observação do caminho percorrido pela luz que sai de um projetor de filmes ou através da câmara escura. No caso da câmara escura, por exemplo, alguns dos raios de luz que são emitidos pelo objeto a ser projetado, passam através de um pequeno orifício e atingem o aparato no interior dela (Figuras 6 e 7). Assim sendo, a luz que sai do ponto mais alto do objeto atingirá o aparato no ponto mais baixo da imagem projetada, formando uma imagem invertida.

Figura 6- O traçado de raios numa câmara escura. Fixe a atenção em dois pontos do objeto (a vela, fora da caixa), e imagine que deles emanam muitos raios de luz. Note que apenas um dos raios que emanam de um desses pontos, a ponta da chama, passa pelo orifício. O mesmo vale para os raios que emanam de um ponto da base da vela; apenas um deles passa pelo orifício. Assim, percebe-se porque a imagem criada (no fundo da caixa) é nítida, maior e invertida.

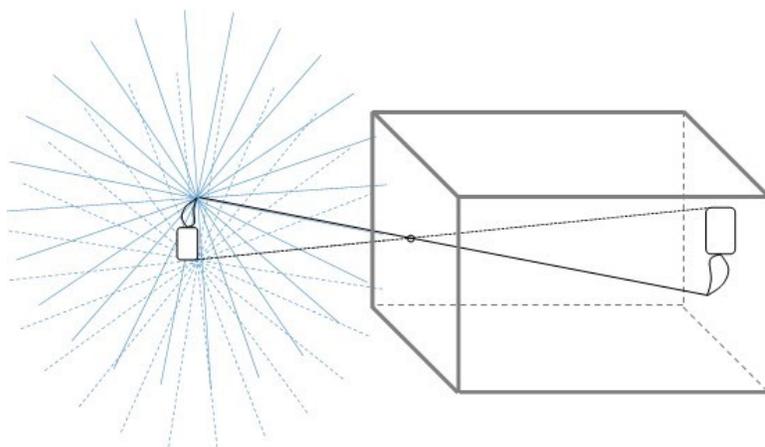
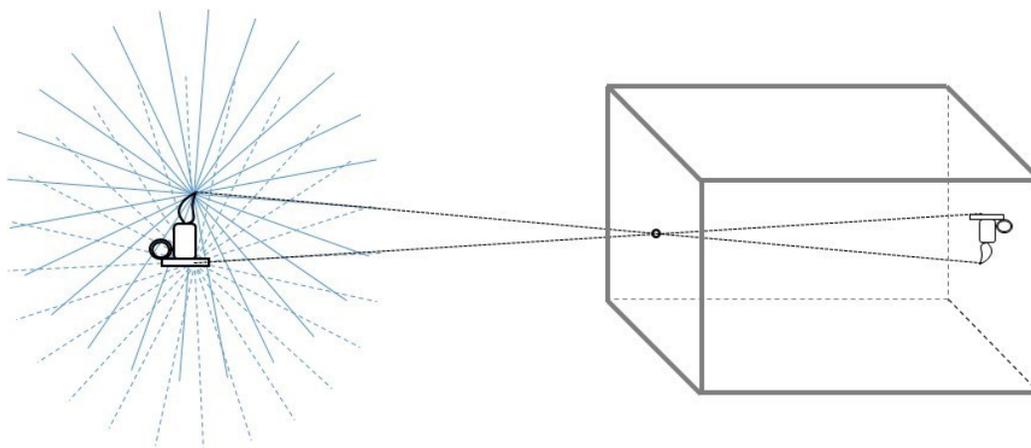


Figura 7- É idêntica à figura anterior, exceto pelo fato de o objeto dessa vez, estar mais longe. Note que a imagem no fundo da caixa dessa vez é menor



Ao longo dessa dissertação, perceber-se-á que essa premissa (a luz se propaga em linha reta) funciona bem, “até demais”. Como foi argumentado mais acima, na seção 3.3.3, isso poderia levar a um obstáculo verbal: tudo o que for relacionado com a luz será associado à ideia de linha reta. Quer dizer, poderia parecer que a imagem se forma na câmara escura “porque a luz se propaga em linha reta”. Há aqui a possibilidade de um obstáculo verbal, dado

que uma formulação mais aceitável seria a de que “a formação da imagem numa câmara escura pode ser interpretada a partir da ideia de propagação retilínea da luz”. O leitor notará que na primeira formulação, há uma relação de causa e efeito (porque), enquanto que na segunda, o que há são possibilidades.

Câmaras escuras podem aparecer na natureza, e nesse caso, a fonte de luz mais comum é o próprio sol. Um orifício num telhado de zinco produzirá, sob a luz do Sol, um disco de luz no solo, e esse disco terá a forma circular. Um aspecto que passa despercebido é o de que esse disco é uma imagem do Sol, o qual tem também, no céu, o aspecto de disco.

Mas o senso comum atribui a essa forma circular uma mera projeção do orifício, que é ele também (em geral) circular. Mas o Sol, em raras ocasiões, não apresenta essa forma circular; estamos falando de eclipses. Em 26 de fevereiro de 2017 ocorreu um desses eclipses, (figura 8) foi obtida nesse dia. Como parte do disco solar foi obstruída pela Lua (a Lua, nessas ocasiões, está interposta entre o Sol e a Terra) o Sol não aparece mais como um disco, mas sim como um disco do qual foi “extraída” uma parte, também circular, mas de diâmetro um pouco menor. A foto a seguir apresenta vários desses discos porque a lâmina de alumínio, usada para obstruir a luz do Sol, possuía vários orifícios, e cada um deles foi responsável por cada uma das imagens.

Se essa dissertação fosse concluída por aqui, com a luz sendo tratada como possuidora da propriedade de se propagar em linha reta, seu valor maior seria perdido. Por isso, a continuação natural (na perspectiva bachelardiana, apresentada na sessão 3.3.3) das atividades da câmara escura, seriam atividades nas quais tudo o que foi visto...não funciona! Ensinar não é propiciar aos alunos uma coleção de experimentos que “funcionam”. Essa coleção de experimentos deve ser associada ao contexto no qual ela funciona. Dito de outra forma, o conhecimento humano não deve ser apresentado de forma excessivamente prescritiva; esse risco é minimizado no decorrer da dissertação no momento em que são propostas atividades exploratórias, investigativas, como é o caso. Para esclarecer melhor esse ponto, continuar-se-á um pouco mais e apresentar-se-á ao leitor alguns conceitos, ligados à luz com onda. Esses conceitos parecem contrapor-se ao que foi apresentado até aqui, incluindo a imagem abaixo.

Mas, é importante que os alunos percebam isso, ambos os conceitos são úteis, e são empregados até hoje pelos cientistas e professores. Mas, hora um conceito é mais “prático” (a luz em linha reta na câmara escura) ora o outro (a luz como onda para explicar as cores de um CD).

Figura 8- Imagem do Sol, formadas sobre uma folha de papel colocada no solo, a partir de orifícios em uma lâmina de metal, no eclipse ocorrido em 26 de fevereiro de 2017. A formação das imagens se dá a partir dos princípios da óptica geométrica descritos anteriormente.

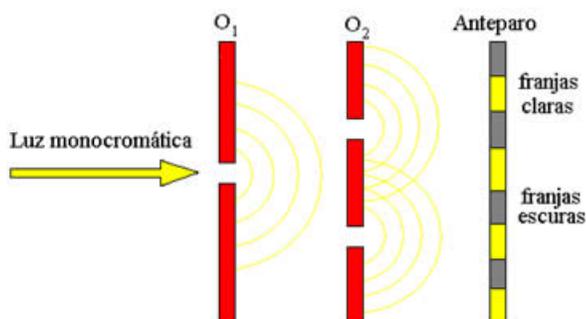


Considere-se então a manipulação dos experimentos de interferência e difração da luz. Percebe-se imediatamente que o comportamento retilíneo não permite previsões aceitáveis. Já o comportamento ondulatório, como será apresentado abaixo, permitem previsões, testáveis no ambiente escolar, muito mais empolgantes.

O experimento de interferência com a luz, feito pela primeira vez por Thomas Young, em 1801, foi determinante para estabelecer-se a natureza ondulatória da luz – somente ondas podem interferir ou difratar. Nesse experimento, uma onda plana incide sobre obstáculo, munido de duas fendas estreitas, e difrata-se em cada fenda, divergindo radialmente (Figura 8). As ondas provenientes de cada fenda superpõem-se e interferem construtiva e destrutivamente, em certo ponto, dependendo da diferença de fase entre elas. Devido a este efeito, observam-se,

em um anteparo colocado na frente das fendas, regiões em que a intensidade da luz é máxima, alternadas com outras em que a intensidade é mínima.

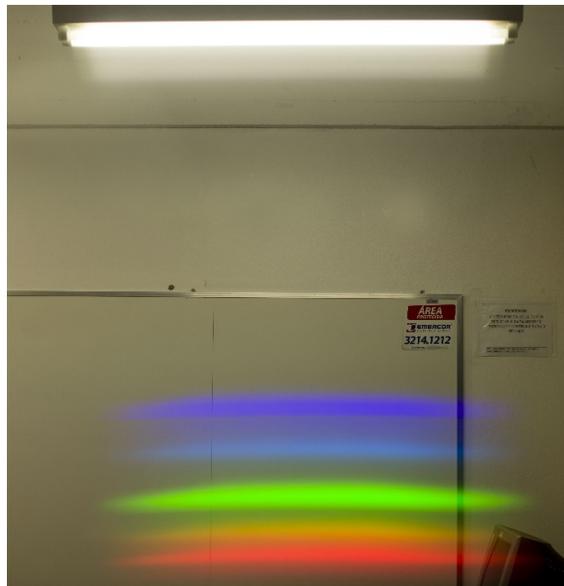
Figura 9- Experiência de fenda dupla de Young. À esquerda, ondas de maior comprimento de onda incidem na fenda dupla; à direita ondas de menor comprimento incidem na mesma fenda. Note as regiões de interferência construtiva, algumas delas marcada com pequenos círculos.



A difração da luz consiste em contornar obstáculos colocados em sua trajetória. No experimento de Young, ele usou um obstáculo, O_1 , contendo uma minúscula fenda; e na sequência, outro obstáculo, O_2 , com duas minúsculas fendas. Usando um feixe de luz monocromática, ele a fez passar pela primeira fenda. Após os obstáculos, Young colocou um anteparo para projetar a luz (Figura 9). Para a surpresa de Young, apareceram franjas claras e escuras. Com isso ele pôde concluir que, se houve a formação de franjas, a luz sofreu difração ao passar pelas minúsculas fendas. Portanto, nesse contexto, a luz tem um comportamento ondulatório.

Então, um aspecto importante no desenho do produto que surgirá dessa dissertação é justamente o de, além de explicitar o significado de certas palavras ou expressões (“a luz é um raio”) esclarecer que esse significado se dá dentro de um contexto, e perde sentido se o contexto for modificado. Por isso, a atividade com a câmara escura (na qual a luz é percebida como se propagando em forma de raio) “termina” com a exploração de um fenômeno de difração da luz, justamente um fenômeno no qual a ideia de luz como raio “deixa de funcionar”. Entender o significado de uma palavra ou expressão equivale então a compreender seus limites, a identificar suas fronteiras. Têm-se aí um caminho aberto para a superação de alguns dos obstáculos verbais que surgem ao estudar óptica (Figura 10).

Figura 10- Quando a perspectiva corpuscular deixa de “funcionar”. Na imagem à esquerda, um CD gravável tem sua etiqueta retirada por meio de fita adesiva. Na figura da direita, uma lâmpada fluorescente é fotografada; em frente à lente dessa câmara (pode ser a de um telefone celular) é colocado o CD, praticamente transparente, sem a etiqueta.



2.9. Mapas Mentais

Pode ser que a palavra mapa mental soe estranho, mas é simplesmente uma nova maneira de tomar notas. De alguma maneira, mapas mentais atendem melhor os nossos pensamentos que as folhas cheias de texto (PAVÃO, 2009).

O melhor método de anotações é o denominado Mapa Mental, criado e divulgado pelo psicólogo inglês Tony Buzan. Ele mostrou que, utilizando um mapa você pode organizar de forma visual a essência daquilo que quer memorizar (TORRES, 2012).

Mapa Mental é essencialmente um diagrama hierarquizado de informações, no qual se pode facilmente identificar as relações e os vínculos entre as informações (HERMAN e BOVO, 2005).

A estrutura desse tipo de mapa pode ser simplificada da seguinte forma: no centro da página, você coloca a ideia geral. Dessa ideia irão irradiar-se outras ideias importantes – representadas por palavras-chave –, como galhos de uma árvore saindo do tronco principal. E, desses galhos, vão saindo ramos que abrigam sub idéias relacionadas, diretamente, com a ideia do galho e, indiretamente, com a ideia geral.

As vantagens do Mapa Mental são enormes. À medida que se constrói a árvore, cria-se uma rede que ajuda a organizar o cérebro, o que não acontece no sistema linear, em que as ideias são simplesmente copiadas uma depois da outra. Além disso, com visualização completa do assunto, sem risco de se esquecer de nenhuma parte importante.

O Mapa Conceitual é útil porque reduz, simplifica e seleciona as informações mais relevantes, deixando de lado uma grande parte de detalhes inúteis, focalizando a atenção nos dados essenciais. A ideia essencial é procurar lembrar tudo que a mente pensa em torno da ideia central. O cérebro de cada pessoa é muito específico. O número de associações que o cérebro pode fazer é ilimitado. Essas conexões dependem das experiências pessoais e dos conhecimentos prévios, variando, portanto, de pessoa para pessoa.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado no período de dois anos, os quais foram dedicados à leitura, pesquisa bibliográfica e de campo, análise textual, construção de mapas mentais e conceituais, construção e execução de experimentos e todo o indispensável que se julgar necessário para alcançar os objetivos mencionados.

O trabalho foi realizado na cidade de Getúlio Vargas (RS) em uma escola privada, com uma turma de treze alunos do segundo ano do ensino médio. Turma bastante participativa e curiosa, alunos inteligentes e questionadores, que possibilitaram um trabalho produtivo.

Iniciou-se com levantamento, atualização e análise de bibliografia especializada, referente ao tema de pesquisa, utilizando para isso os recursos existentes tais como livros disponíveis na Biblioteca da própria Universidade, sejam nos periódicos e livros de seu acervo, também, através de acesso a fontes disponibilizadas na internet.

A pesquisa realizada é qualitativa e empírica, e consiste em um estudo de caso. Segundo Miles & Huberman (1994), a utilização da pesquisa qualitativa, além de oferecer descrições ricas sobre uma realidade específica, ajuda o pesquisador a superar concepções iniciais e a gerar ou revisar as estruturas teóricas adotadas anteriormente, oferecendo base para descrições e explicações muito ricas de contextos específicos. Além disso, a pesquisa qualitativa ajuda o pesquisador a ir além de concepções iniciais e a gerar ou revisar estruturas teóricas.

Yin (2001), diz que um estudo de caso “[...] tenta esclarecer uma decisão ou um conjunto de decisões: o motivo pelo qual foram tomadas, como foram implementadas e com quais resultados.” Algumas etapas são tradicionais nesse tipo de estudo (Yin, op. Cit., p. 11):

- a) a definição do caso estudado;
- b) os dados relevantes que devem ser coletados, e
- c) o que fazer com os dados após a coleta.

O caso estudado é o da turma descrita acima, por ocasião da implementação de uma atividade exploratória ligada à câmara escura, tal como será detalhado mais adiante. A turma de alunos configura um “caso” do ponto de vista de suas reações à implementação da oficina, tal como será apresentado de forma introdutória mais adiante.

Os dados relevantes consistem das respostas a um questionário, preliminares à execução da atividade, de seus questionamentos ao longo da exploração, e do conjunto de suas

reações frente às tarefas e questionamentos (apresentados pela professora pesquisadora e por eles mesmos).

Esses dados permitem, ao final do trabalho, estabelecer a potencialidade da aprendizagem, com base em recursos diversos, como as respostas aos questionários (mencionada acima), as palavras chave enunciadas pelos alunos acerca da natureza da luz, ao iniciar os trabalhos, os mapas conceituais produzidos pelos alunos, e algumas outras anotações produzidas pela pesquisadora ao longo do trabalho.

A sequência de procedimentos metodológicos incluiu o questionário prévio, uma atividade de produção de mapas (mentais), a atividade de levantamento das palavras chave, a execução da atividade propriamente dita, incluindo aí as notas de campo, e os mapas conceituais produzidos pelos alunos. Como a pesquisa bibliográfica é uma peça essencial desse trabalho, ela será integrada à parte empírica através de procedimentos da análise textual discursiva, que será detalhada mais adiante.

Os questionários prévios (apêndice 1) consistiram de questões a respeito da imagem que os alunos fazem de aulas experimentais, o que os alunos sabem a respeito da propagação da luz, o que são aulas experimentais, quais os benefícios que estas podem trazer, quais as dificuldades que poderão encontrar, entre outras. A atividade foi realizada com alunos do segundo ano do Ensino Médio em uma escola privada, conforme descrito acima. Após a aplicação do questionário prévio foi proposta aos alunos a construção de mapas conceituais, com a intenção de verificar quais as relações que os estudantes estabelecem com o termo “luz”. Depois de desenvolvidas as atividades experimentais foi proposta então aos alunos a elaboração de mapas, dessa vez, autênticos mapas conceituais. Para as duas atividades de elaboração de mapas, foram oferecidas aos alunos instruções detalhadas por parte da pesquisadora, e as perguntas feitas pelos alunos, nas duas ocasiões, foram respondidas.

Os materiais necessários para a atividade foram coletados pelos próprios alunos, em suas casas. Os dispositivos foram produzidos em parte pela professora - pesquisadora e finalizados pelos próprios alunos, com a ajuda e instrução da pesquisadora. (A opção de trazer parte dos equipamentos já pronta deveu-se à exiguidade do tempo disponível).

O ambiente de laboratório e também o uso da sala de aula como ferramenta de auxílio na confecção das atividades experimentais foi explorado ao longo da implementação das atividades de óptica.

As atividades experimentais investigativas foram todas realizadas com base na ideia de propagação retilínea da luz, explorada a partir de uma câmara escura.

O conjunto das respostas dos alunos aos questionários referidos acima, integrado com observações que a professora pesquisadora fez ao longo da implementação das atividades experimentais, foi confrontado com elementos da revisão bibliográfica. A partir daí, um discurso argumentado e coerente foi desenvolvido, com a finalidade de avaliar se as condições para a aprendizagem significativa foram propícias. Esse procedimento metodológico denomina-se análise textual discursiva, que segundo Moraes, (2003) e Moraes e Galiazzi (2006, 2011), se caracteriza como “[...] uma abordagem de análise de dados que transita entre duas formas consagradas de análise de pesquisa qualitativa, que são a análise de conteúdo e análise de discurso (2006, p. 118)”.

Essa investigação tem também um caráter de pesquisa participante, dado que a presença e a atitude do pesquisador nos momentos de aplicação das propostas experimentais influirão nos resultados obtidos (MORAES e GALIAZZI, 2006).

Este trabalho foi realizado a partir de atividades diversas desenvolvidas no ambiente da sala de aula; os próprios alunos se encarregaram de completar a construção do material (não especializado, como poderá ser verificado nas imagens, mais adiante) para a realização dos experimentos. Em grupos em torno de quatro a cinco alunos, os mesmos foram instruídos a respeito do andamento da atividade. Em um primeiro momento foi aplicado um breve questionário contendo questões a respeito de aulas práticas especificamente sobre o assunto de óptica, o que eles sabiam o que pensavam, e a importância que eles atribuíram a esse tema.

O primeiro passo então foi à realização de um questionário sobre as aulas experimentais, especificamente sobre óptica. Partindo da ideia de que a Física ensinada aos alunos deve ser significativa, foi necessário identificar, pelo menos de maneira preliminar o que os alunos já sabiam a respeito da matéria a ser ensinada.

Utilizou-se também, como uma forma de investigação, o questionamento aos alunos quanto a conceitos prévios sobre a palavra luz, e foi possível obter um número grande de palavras ligadas ao tema proposto, tais como ondas, visão, eletricidade, raios, fóton, sol, óculos, velocidade, refração etc. Os estudantes enunciavam verbalmente essas palavras, e a pesquisadora anotava no quadro. Uma imagem com o resultado obtido pode ser vista mais adiante, na sessão “Resultados Obtidos”.

Após esta parte inicial deu-se início a uma problematização, da qual emergiram elementos que definiram em grande parte a montagem e execução das atividades investigativas experimentais os quais tiveram como proposta trabalhar com alunos de segundo ano do ensino médio com o conteúdo de óptica. Os trabalhos foram realizados com a ajuda da pesquisadora, o

qual avaliou o tempo todo elementos como o relacionamento, entrosamento, formulação de hipóteses, exploração de possibilidades diversas, execução dessas explorações, trabalho em grupo, e por fim a elaboração de conclusões, mesmo que provisórias e parciais.

Nas aulas subsequentes, questionamentos sobre a aula anterior foram produzidos pela pesquisadora e /ou pelos alunos, e desses questionamentos foi possível extrair elementos para a avaliação dos alunos, e, por extensão, uma avaliação da atividade oferecida.

As atividades realizadas, por mais simples que fossem, foram cuidadosamente planejadas, tentando evitar ao máximo, situações que pudessem causar desconforto, tanto aos alunos, quanto a pesquisadora. Desta forma, as atividades tiveram início.

3.1. Planejamento da atividade

Essa sessão tem como objetivo descrever passo a passo a implementação da atividade; os resultados decorrentes dessa implementação serão apresentados mais ao final, na sessão “resultados e discussão”. A atividade desenvolveu-se em torno da construção e exploração de uma câmara escura. Após estudar os conceitos e exercícios em sala de aula sobre o assunto de óptica, os alunos foram colocados diante de uma situação diferenciada: falar palavras que possuam, segundo eles, algum tipo de relação coma palavra “luz”. A pesquisadora então anotou todas estas palavras no quadro. Neste momento a pesquisadora fez um resgate do conteúdo, tentando identificar o que o aluno já sabia sobre o assunto. Após esse momento, identificado os conceitos prévios, a pesquisadora deu sequência à atividade, dando ênfase há algumas palavras tais como raios, fóton, propagação, e etc.

Então foi apresentada a eles a câmara escura, e em seguida a pesquisadora desenhou no quadro o traçado dos raios de luz e de que forma estes chegam ao fundo da caixa e posteriormente formam a imagem (Figura 11).

Surgiram então os primeiros questionamentos, tais como, por que a sala precisa ser muito bem escurecida, de que forma os raios se cruzam, por que a imagem apareceu de forma invertida, entre outras.

Figura 11- Câmera escura.



Em um primeiro momento os alunos desenharam em uma folha de papel quadriculado os raios de luz proporcionados pela lâmpada e identificaram de que forma a imagem apareceu no fundo da caixa. Olhar em uma “tela”, identificar o objeto ou imagem do lado oposto, verificando que essa se formara invertida e porque isso acontece. Neste momento a pesquisadora instigou os alunos a fazerem uma melhor interpretação do experimento, fazendo questionamentos a eles e esperando suas interpretações. Os alunos deveriam então ser capazes de identificar o que ocorreu com a imagem ao aproximar a fonte de luz da tela.

A pesquisadora acompanhou o andamento da atividade enquanto eles desenhavam os traçados dos raios, ao mesmo tempo em que aguardava a identificação por parte dos alunos de que a imagem formada seria invertida.

As perguntas feitas pelos alunos e as questões elaboradas pela própria pesquisadora, sempre foram instigadas para que os alunos buscassem a resposta, interpretassem a atividade e tirassem suas conclusões.

Nesta atividade foi possível evidenciar algumas das ideias e teorias de estudiosos como Moreira com a aprendizagem significativa, que se baseia em conceitos prévios, aquilo que o aluno já sabe sobre o assunto e Bachelard com a aprendizagem por descoberta.

Para maior comodidade do leitor que eventualmente esteja interessado em replicar essa atividade, apresenta-se a seguir uma lista com o material necessário.

- Caixa de papelão forrada de papel preto (colocar suporte com a lâmpada dentro).
- Caixa de papelão forrada com papel preto (utilizar como tela).
- Papel Vegetal
- Papel Alumínio
- Fita crepe

- Alfinete
- Caneta
- Régua
- Papel milimetrado.

Também para maior comodidade do leitor, são apresentadas a seguir, em forma sequencial, as sucessivas etapas de implementação da atividade:

Etapa 1: Os alunos apresentam palavras ligadas ao termo “LUZ”. A pesquisadora anota no quadro o que os alunos sugerem, mas não comenta nada.

Etapa 2: A pesquisadora apresenta a câmara parcialmente construída. Os alunos terminam de construí-la (colocam o papel de alumínio, fazem o furo com um alfinete, desenham uma figura na lâmpada. Sugere-se o uso de uma lâmpada de LED, que emite menos calor)

Etapa 3: A pesquisadora explica como se constroem diagramas de raios. Os alunos recebem materiais (papel quadriculado, etc.), e constroem um diagrama. Esse primeiro diagrama faz com que os alunos percebam porque a imagem aparece invertida.

Etapa 4: A construção da câmara é completada. Após é escurecida a sala. A imagem pode ser percebida, é nítida, pouco luminosa, invertida como os alunos tinham previsto.

Os alunos começam a perguntar. Por exemplo: o que ocorre se a lâmpada for afastada do orifício da câmara escura? Essa nova resposta, novamente construída pelos próprios alunos, emerge da construção de um segundo diagrama de raios. A resposta que decorre daí os surpreende, e contraria seu senso comum (eles acham, inicialmente, que se a lâmpada for afastada da caixa, a imagem irá aumentar de tamanho).

E se o tamanho do orifício for aumentado? Novas perguntas e novas respostas são elaboradas; detalhes das hipóteses formuladas pelos alunos e seus encaminhamentos podem ser vistos a seguir.

A pesquisadora aproveita as respostas produzidas e inicia uma discussão sobre as limitações das imagens obtidas com câmara escura.

Inicialmente a pesquisadora escreveu no quadro a palavra “LUZ”, pediu então que os alunos sugerissem palavras relacionadas, relações essas que poderiam ser de qualquer ordem, diretas ou indiretas. A ideia aqui é explorar um pouco mais as concepções prévias dos alunos.

Após este momento foi oferecida uma explicação complementar sobre a propagação da luz. (Onda – Partícula). Foram incluídos nesse momento aspectos históricos relevantes; Newton foi apresentado como defensor da ideia corpuscular, e Huygens, da luz como onda.

(Ver a sessão 3-5 – a historicidade dos conteúdos escolares de Física). A pesquisadora pediu então que os alunos imaginassem a situação em que uma lâmpada, na qual foi desenhada uma figura, é posta dentro da primeira caixa escurecida, e está colocada em frente a segunda caixa, essa munida de um orifício pequeno. (Veja a figura 28, e seguintes).

Então, sob a supervisão a pesquisadora, os alunos desenharam em folhas de papel quadriculado a lâmpada, posta em frente à caixa com a lâmpada que emite luz, e de que forma alguns dos raios dessa luz emitida atravessam o orifício e chegam a segunda caixa. Nessa fase, a pesquisadora pediu a eles para representarem os raios de luz emitidos pela lâmpada, mas apenas aqueles raios que pudessem passar pelo orifício na caixa da câmara escura.

A caixa que constitui a câmara escura foi mostrada aos alunos, a pedido de alguns deles: estava vazia. Explicou-se então que a imagem decorre exclusivamente do orifício feito na fina lâmina de alumínio, colocada sobre a “janela” é só por aí (pelo orifício) que a luz da lâmpada, que posteriormente formará a imagem, passa.

Surgiram muitas dúvidas durante a execução desta primeira etapa; o encaminhamento dessas dúvidas e questões será apresentado na sessão a seguir, resultados e discussões.

Um dos requisitos para o “sucesso” dessa atividade é a ausência de luz externa na sala onde ela é realizada. Então, dando prosseguimento à atividade a pesquisadora e os alunos identificaram os pontos de luz na sala, cobrindo-os de modo que não atrapalhassem a atividade.

A pesquisadora pediu para um aluno colocar o papel alumínio na pequena janela da caixa já feita anteriormente, após outro aluno fez um furinho com auxílio de um alfinete. O professor pediu para outro aluno fazer um desenho na lâmpada, de modo a melhorar a visibilidade da imagem que seria produzida.

Por fim, a caixa com a lâmpada foi posicionada em frente à outra, munida do orifício, a lâmpada foi ligada e a sala, escurecida. Os alunos puderam então observar a imagem produzida, sua forma invertida, a nitidez, a reprodução das cores, e outros aspectos.

Na sequência, foi explorada uma técnica bastante simples de traçado de raios (ela será descrita em detalhe mais adiante), com o intuito de explicar de maneira preliminar algumas das propriedades observadas da imagem projetada na tela (papel vegetal). Esse é um ponto de destaque: o traçado de raios permite entender porque a imagem é invertida; mas permite também prever a resposta para outras situações, ainda não exploradas. Uma delas, invariavelmente mencionada por algum dos alunos, consiste em prever o que ocorrerá se a caixa munida de orifício for afastada da lâmpada. Nesse caso, a sugestão é que o professor, ao invés de “apresentar a resposta”, sugira aos alunos um traçado de raios que produza a resposta

desejada. Os alunos podem ser incitados a tentar “adivinhar” o que ocorre, antes de efetuar o traçado. Quando isso ocorre, os alunos pré veem (erroneamente) que a imagem aumentará. Mas, ao efetuar o traçado de raios, eles percebem que é o oposto que ocorre, e tudo se dá praticamente sem a intervenção direta da pesquisadora, o que deixa os alunos bastante satisfeitos: eles mesmos “retificaram” suas respostas.

Os questionamentos foram surgindo à medida que as atividades foram sendo realizadas, tanto por parte dos alunos quanto por parte da pesquisadora que os instigou em vários momentos. A pesquisadora procurou provocar para que certos questionamentos ocorressem. Durante a realização das atividades a pesquisadora manteve-se sempre a espera, na expectativa que os alunos iniciassem as perguntas. Após a realização das mesmas então eles foram “provocados” a fazerem descobertas sobre a atividade.

Algumas das questões mais recorrentes, elaboradas pelos alunos e pela pesquisadora, são listadas a seguir. Alguns dos encaminhamentos dados a essas perguntas (algumas “respostas”) também são apresentados, para que o leitor tenha uma ideia do que pode ocorrer nessas ocasiões.

- Quem foi o inventor da experiência “Câmara Escura de Orifício”? (Ver a linha do tempo apresentada na figura 1: Mo Tzu, possivelmente no século V a.C.)
- Em que época a mesma foi descoberta? (idem)
- Qual foi o propósito deste invento para a época? (Não há dados históricos suficientemente precisos, sabe-se que, na idade média, grandes câmaras escuras eram utilizadas por pintores para produzir esboços iniciais).
- Quais outros experimentos se assemelham a este? (O traçado de raios para as lentes e espelhos. Porém, a geometria para isso é diferente, e será estudada mais adiante).
- Qual a real importância que a mesma tem para os dias atuais? (Programas sofisticados de computador (“ray trace”) permitem fazer traçados de raios para sistemas ópticos eventualmente bastante complexos)
- A atividade mudou desde a sua descoberta até hoje? (Sim! Hoje temos fontes de luz muito mais sofisticadas, concentradas e intensas, por exemplo).
- O que irá ocorrer com a imagem após ver que os raios se cruzam? (Raios que “se cruzam” saem sem serem afetados por esse cruzamento).
- Porque desenhar um objeto na lâmpada? (A atividade fica mais divertida, e fica fácil, por exemplo, perceber que a esquerda e a direita (na figura e na sua imagem) ficam

invertidas. Isso não apareceria claramente na lâmpada sem desenho, dada a sua simetria).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentaremos a seguir os principais resultados obtidos. Para simplificar essa tarefa, eles foram divididos em sessões, de modo a permitir uma maior clareza. Inicialmente serão expostos os questionários prévios.

Acreditamos que os alunos tenham agido de forma sincera e espontânea quanto às respostas das questões apresentadas abaixo, embora esta atividade tenha sido um pouco mais elaborada e documentada, a mesma não teve caráter avaliativo para os alunos, e também por que eles foram convidados pela pesquisadora a participar da atividade como parte de uma aula normal. Em momento algum eles foram instruídos de que forma deveriam responder, apenas que escrevessem o que realmente pensavam em cada uma das questões.

A pesquisadora confiou plenamente na honestidade de seus estudantes também pelo conhecimento a ser adquirido, pelo respeito que demonstraram pela atividade e o grau de importância da mesma. A liberdade de expressão durante a atividade, responsabilidade e a autenticidade para com si e com os outros que demonstraram estas ações éticas já haviam sido evidenciadas na participação em competições educacionais representando a escola.

4.1. Questionário prévio sobre óptica

1) O que você acha que a óptica estuda? Se preferir, dê exemplos.

De forma geral os alunos responderam que óptica estuda fenômenos relacionados à visão, a luz, as doenças dos olhos, formação de cores, transmissão da luz, anomalias da visão, estuda raios – X, micro-ondas, ondas de rádio e de forma geral estuda tudo que possibilita a visão.

2) O que você acha que a ótica estuda?

Os alunos responderam que a ótica, diferente da óptica é a parte física que estuda a audição, as ondas sonoras, estuda o som, tudo que tiver relação com o ouvido, doenças do ouvido como a otite de modo geral, estuda o ouvido.

3) Dos assuntos que você indicou acima, tem algum que te interessa mais? Por quê?

Os alunos relatam que possuem um interesse maior pela parte da óptica, pois esta trata sobre problemas de visão e como afeta o modo de ver o mundo. Relatam também que é

importante entender como nossos olhos funcionam, como as cores são formadas, de que forma algumas doenças afetam nossos olhos e de que forma estas podem ser corrigidas.

Alguns relataram que gostam dos dois assuntos por se tratarem de partes do corpo humano e destacam a importância de aprender sobre o funcionamento e a correção de certas doenças. Ainda destacaram que os fenômenos relacionados à luz e cores são mais interessantes além de ser possível realizar atividades práticas sobre os mesmos.

4) Dentro da Física, você acha que a óptica é: (depois de ter marcado uma das opções, escreva um pouco sobre o porquê você escolheu essa opção).

() Muito importante () importante() importa um pouco, mas há outros assuntos mais interessantes

Foram entrevistados 13 alunos, dos quais 12, ou seja, mais de 90 %, responderam que a óptica é muito importante, e justificam por que ela está presente em nosso dia a dia, na forma de teorias, fenômenos, situações do cotidiano; pois é ela que possibilita ver o mundo de forma diferente.

Destacam também que é um assunto que proporciona conhecimentos como estes citados, aprender sobre o olho humano de forma diferente de que é estudada em biologia, estas que são situações essenciais em nossas vidas. E que o estudo da óptica é uma das partes mais importantes, pois proporciona inúmeras experiências, na sala de aula, no laboratório ou até mesmo um passeio.

Alguns alunos lembraram-se de processos seletivos: a óptica seria importante também para obtermos conhecimento e também para realizarmos vestibulares e ENEM de forma favorável.

Apenas um aluno descreveu que a óptica é importante, pois devemos entender pelo menos um pouco dos fenômenos que ocorrem com nossos olhos, com a luz e etc. Mas que existem outras áreas mais interessantes.

5) E na vida real, você acha que a óptica é: (depois de ter marcado uma das opções, escreva um pouco sobre por que você escolheu essa opção. Inclua um exemplo, se preferir).

() Muito importante () Importa um pouco, mas há outros assuntos mais interessantes
() Importa muito pouco.

Diferente das respostas anteriores, todos os alunos concordam que na vida real a óptica é de extrema importância, pois está ligada diretamente com as doenças da visão, como a miopia, hipermetropia, astigmatismo, catarata, vista cansada entre outras. Relatam também que é comum vermos pessoas usando óculos ou lentes de contato para correção de algum problema.

Outro fator importante do conhecimento da óptica é saber prevenir e evitar danos causados pelo excesso de luz. Pois se não fosse por ele não saberíamos como se formava a luz, as cores, as coisas que podemos enxergar;

Pois com ela temos as lentes de contato, lupas, óculos câmeras fotográficas, espelhos, microscópios, etc. É importante destacar também que a óptica assim como outras doenças estão ligadas de forma direta com a tecnologia, e que adolescentes vivem na era da tecnologia, o que torna o assunto mais importante e comum.

6) O que você acha: “óptica e ótica” são a mesma palavra?

Não, as palavras óptica e ótica, apesar de terem a pronuncia parecida, possuem significados diferentes, a óptica estuda os fenômenos da luz e a ótica estuda a audição.

Aqui cabe uma observação: segundo dicionários renomados, as duas grafias, ótica e óptica, são empregadas na referência a fenômenos de visão, como é o caso das “ópticas” que produzem óculos sob prescrição médica. (A pesquisadora orientou os alunos a fazerem uma busca na internet para esclarecer esse aspecto).

Ver, por exemplo, <http://g1.globo.com/educacao/blog/dicas-de-portugues/post/qual-e-a-diferenca-entre-otica-e-optica.html>).

Foi possível através do questionário obter ideias muito semelhantes relatadas pelos alunos, embora já tivessem estudado o assunto em anos anteriores, sabiam parcialmente a diferença entre óptica e ótica. A maioria deles concorda que são assuntos distintos, e ambos são muito importantes.

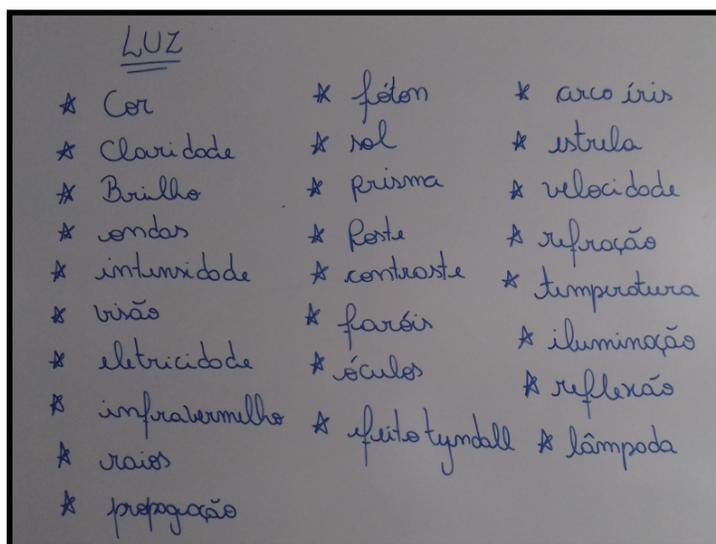
4.2 Palavras Chave para desenvolvimento das atividades

Conforme anunciado na relação das etapas de implementação dessa oficina, a etapa 1 previa que os alunos apresentassem (verbalmente) palavras ligadas ao termo “LUZ”; o professor / pesquisador anotou no quadro o que os alunos sugeriram, mas, nessa etapa, apenas anotou, sem emitir nenhum tipo de comentário.

As palavras a seguir foram sugeridas pelos alunos do segundo ano do ensino médio de uma escola privada da cidade de Getúlio Vargas. Inicialmente, a pesquisadora solicitou aos alunos que verbalizassem termos que, nas suas acepções, possuísem algum tipo de relação, direta ou indireta, com o termo “luz”. Estas palavras foram ditas espontaneamente pelos alunos e cuidadosamente transcritas pela pesquisadora (Figura 12).

As palavras relacionadas com a palavra-chave “LUZ” foram (não necessariamente nessa ordem): cor, claridade, brilho, ondas, intensidade, visão, eletricidade, infravermelho, raios, propagação, fóton, sol, prisma, poste, contraste, faróis, óculos, efeito tyndall, arco-íris, estrelas, velocidade, refração, temperatura, iluminação, reflexão e lâmpada.

Figura 12- Palavras ditas pelos alunos, ligadas à palavra “luz”.



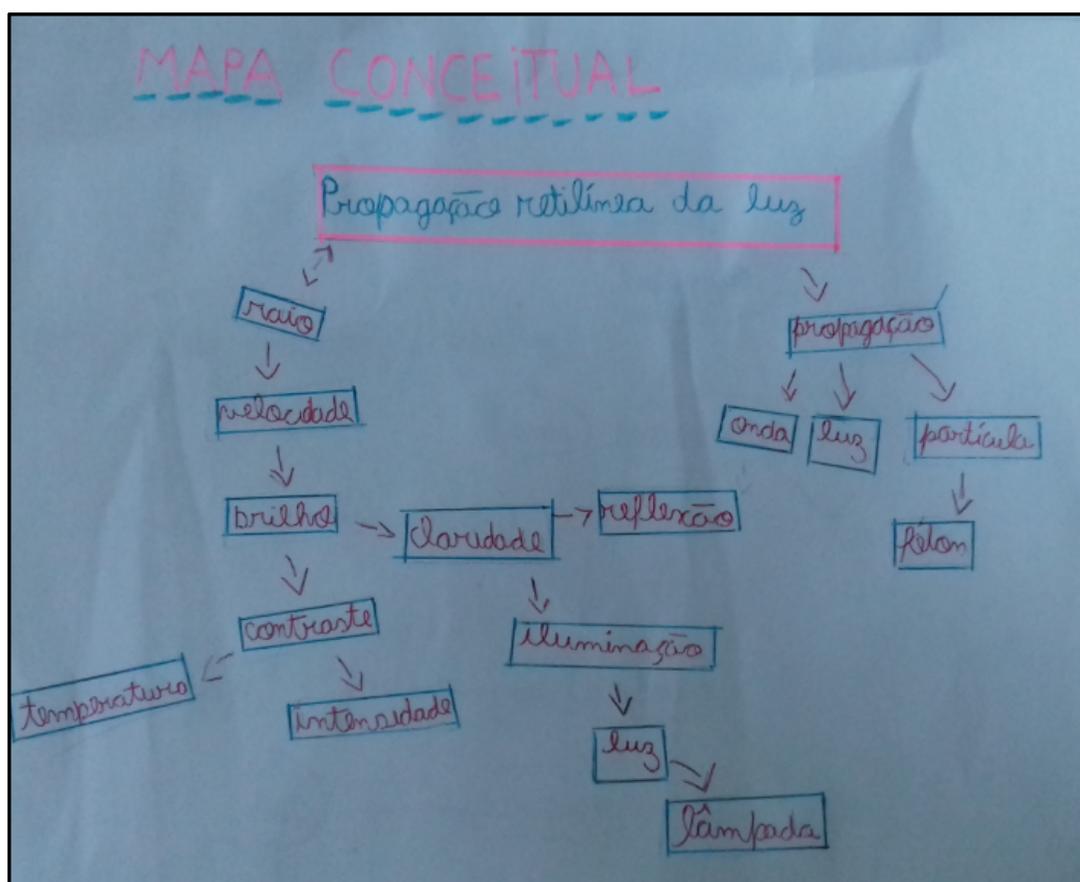
Essas palavras, além de propiciarem ao pesquisador uma ideia inicial das concepções prévias dos alunos, poderiam, mais adiante, servir como elementos de ancoragem nos mapas conceituais solicitados.

4.3. Exemplo de mapa mental produzido pelos alunos

Conforme referido na sessão 2.2, os estudantes tendem a, inicialmente, estabelecer relações mais simples, se o assunto por eles abordado ainda não for suficientemente significativo. Uma evidência disso é o mapa apresentado na figura 13. Apesar de ter sido nomeado “mapa conceitual” pelos estudantes que o produziram (eles já tinham sido previamente informado sobre o que seriam mapas conceituais) pode-se ver um pequeno

número de conexões, e as que aparecem são predominantemente sequenciais. Mais adiante, (sessão 4.5) serão apresentados exemplos de autênticos mapas conceituais produzidos pelos alunos.

Figura 13- Mapa produzido pelos alunos. O número ainda pequeno de conexões permite qualificá-lo mais como um mapa mais mental do que conceitual. Mas já é possível também perceber que há uma transição incipiente de mental para conceitual.



4.4. Descrição detalhada da atividade exploratória com câmara escura

Inicialmente, o leitor poderá verificar o produto dessa dissertação, no apêndice 1. Algumas das informações que seguem aparecem também no produto; inversamente, outras informações e imagens adicionais, que não são colocadas aqui, aparecem lá.

Como já mencionado, no primeiro momento a pesquisadora comunica os alunos que eles farão uma atividade diferente e para isso eles foram conduzidos a uma sala um pouco

menor do que a sala usada por eles, para que fosse possível escurecê-la. Após a pesquisadora vai ao quadro e escreve a palavra “LUZ”. Pergunta a eles que outras palavras eles achavam que se relacionavam com a palavra luz.

Surge então a primeira pergunta da atividade

As palavras podem ser sobre fontes naturais ou artificiais?

Esta pergunta surgiu praticamente momentânea ao escrever a palavra Luz no quadro, pois era o início do trabalho. E era a partir desta que eles iriam começara a falar as palavras ligadas à LUZ. Respondido que sim, poderiam ser tanto naturais quanto artificiais, foi salientado mais uma vez que eles poderiam trazer as palavras de forma completamente livre.

Após escrever algumas palavras no quadro a pesquisadora é surpreendida com a segunda pergunta: As palavras precisam ter ligação direta com a palavra LUZ, ou algo que lembre?

Quando a pesquisadora mencionou a palavra Luz no quadro, não disse a eles se deveria ter ligação direta com a palavra, apenas pediu a eles que fossem falando outras palavras que lembrassem a palavra luz. A pesquisadora respondeu novamente que deveriam falar palavras que para eles lembrassem a palavra LUZ.

A primeira etapa foi bastante interessante, pois eles falaram várias palavras que possuíam ligação direta com a palavra luz.

Foi possível perceber que diversas palavras ditas por eles foram utilizadas na sequência das atividades. Por outro lado também, algumas palavras não tiveram ligação com as atividades daquele dia como poste, faróis, prismas, estrelas e etc. Conversou-se sobre o uso destas palavras, não voltando a empregá-las na sequência da atividade.

Em um segundo momento o professor explica então que a luz ora pode se comportar como onda, ora como partícula. Diz a eles para imaginarem que a luz emitida pela lâmpada é formada por inúmeros pequenos pontinhos, e que esses pontinhos emitem raios, muito finos, que atravessam o espaço.

A pesquisadora desenha esta lâmpada no quadro, e demonstra o espalhamento desses raios. Então pede a eles que imaginem um anteparo posto em frente a esta lâmpada e que eles desenhem os raios semelhantes à figura 14, abaixo.

Foi distribuída a eles meia folha de papel quadriculado, com o auxílio de lápis e régua, para que eles desenhassem a lâmpada e em frente a ela a caixa, e desenhassem a luz que passaria pelo orifício (Figura 15). Com isso, talvez, eles fossem capazes de prever o que poderia ocorrer.

Os alunos então iniciam a atividade fazendo os traçados dos raios de luz com auxílio de régua e lápis (Figura 16).

A pesquisadora explica então aos alunos que é importante que esses traçados dos raios de luz passem exatamente pelo pequeno orifício (Figura 17).

Figura 14- Pesquisadora demonstrando o traçado dos raios de luz.

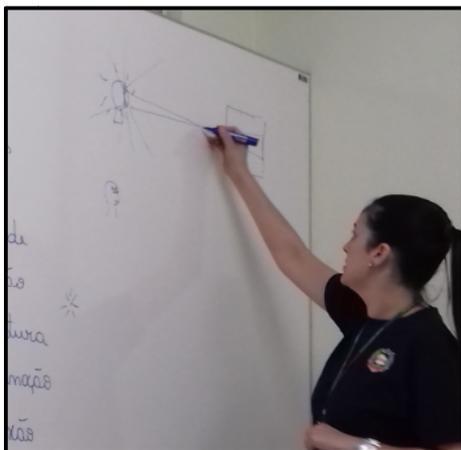


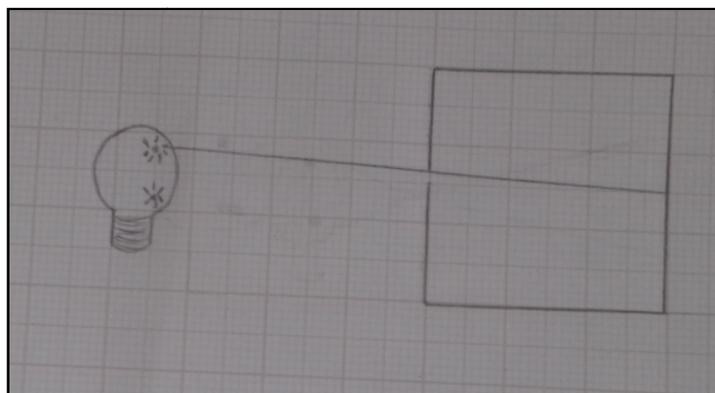
Figura 15- Pesquisadora distribui papel quadriculado



Figura 16- Alunos fazendo o traçado dos raios de luz

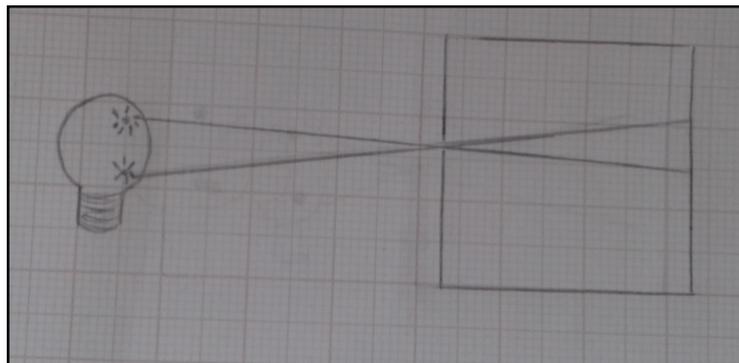


Figura 17- Primeira parte do traçado dos raios de luz



Naquele momento eles não entenderam muito bem o porquê de traçar os raios daquela forma, mesmo já tendo sido estudado sobre o conteúdo em sala de aula, ou ainda como os raios iriam se comportar. Depois de desenhada a caixa, a lâmpada e o primeiro raio, alguns alunos perceberam que se o raio feito pela parte superior da lâmpada era captado no anteparo na parte de baixo do mesmo, o resultado deveria ser o mesmo ao traçar um raio na parte inferior da lâmpada, produzindo assim uma imagem invertida, devido ao cruzamento destes raios no exato local do orifício (Figura 18).

Figura 18- Segunda parte do traçado dos raios de luz



Após realizarem o desenho, eles identificaram o cruzamento dos raios, e viram que a imagem iria aparecer de forma invertida.

Logo após esta etapa, teve-se uma conversa, onde surgiram muitas perguntas e dúvidas, as quais não foram respondidas de imediato, como:

- Porque os raios se cruzaram?
- Porque a imagem será invertida?

Após a conclusão do primeiro desenho, a maioria dos alunos pode perceber que os raios se cruzaram e formaram uma imagem de forma invertida.

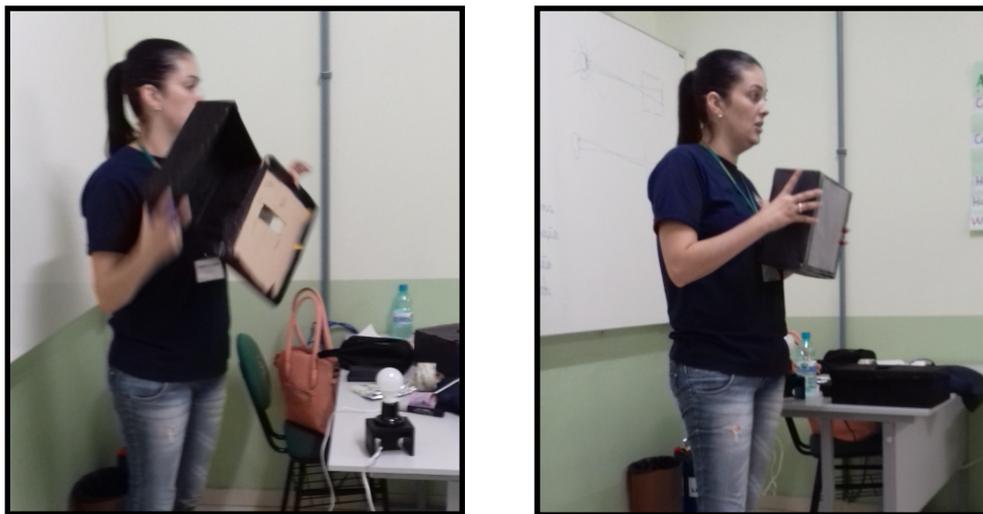
Após esse momento a pesquisadora apresentou a eles uma caixa forrada de preto, a qual estava vazia, e que utilizaria para colocar a lâmpada dentro. Apresentou também outra caixa a qual também forrada de papel preto, com um dos lados com papel vegetal e no outro, uma “janela” grande, que seria posteriormente tapada com papel de alumínio (Figura 19). No centro dele, seria feito um orifício pequeno, com um alfinete.

A pesquisadora permitiu que os alunos a questionassem durante a execução da atividade, e como esperado os alunos o fizeram.

Após a realização dos desenhos e identificados onde os raios iriam aparecer, mostrada a eles as caixas, no mesmo instante que eles perguntaram por que as mesmas eram forradas de papel/tecido preto. Na sequência, antes que fosse respondido surgiu outra pergunta.

Que tipo de lâmpada era aquela?

Figura 19- Pesquisadora apresenta as caixas escuras para os alunos



Eles nitidamente perceberam que não eram aquelas incandescentes, então a dúvida era se a lâmpada era das chamadas fluorescentes ou de LED. A pesquisadora responde então que a lâmpada era de LED. Curioso que ninguém perguntou por que estava usando a lâmpada de LED. Mais tarde ao final da atividade eles foram questionados se sabiam por que fora usada uma lâmpada de LED, alguns responderam que não. Outros disseram por que consome menos energia, outros disseram por que já não são tão comuns as lâmpadas incandescentes nos supermercados, e uma aluna disse que por colocar várias vezes e tirar da tomada, a lâmpada incandescente correria mais risco de queimar do que as outras, e por fim outra aluna disse que as econômicas não seria possível fazer algum tipo de desenho devido ao formato da lâmpada. A explicação aos alunos foi que, nesse caso, a maior vantagem é a de que a lâmpada de LED não aquece praticamente nada, e então é mais segura de manusear. Se fosse uma lâmpada incandescente, haveria o risco de alguém se queimar nela.

Ao ser respondida a questão anterior, surge à pergunta:

- Se usar outro tipo de lâmpada, funciona?

É respondido a eles que sim, funcionaria também.

No momento cessaram os questionamentos, e deu-se sequência às atividades.

É questionado então a eles o que aconteceria se a lâmpada fosse colocada dentro da primeira caixa, de modo que apenas a luz emitida por ela que pudesse passar pelo buraco de alfinete chegasse ao papel vegetal.

Colocou-se em prática então a primeira parte da atividade (Figura 20). Os alunos desenharam em um primeiro momento uma figura na lâmpada (uma carinha), imaginando um pequeno pontinho daqueles citados anteriormente na parte de cima e outro na parte de baixo da imagem (Figura 21).

Figura 20- Alunas desenhando uma figura na lâmpada



Figura 21- Figura feita na lâmpada



Com base em alguma destas perguntas foi possível dar sequência a atividade.

A pesquisadora pede então a um aluno que colocasse o papel alumínio na parte externa da caixa para cobrir o retângulo feito anteriormente (Figura 22). Após essa etapa outro aluno fez um buraco com um alfinete neste papel laminado (Figura 23).

Figura 22- Alunos colocando papel alumínio na janela da caixa



Figura 23- Aluno fazendo um orifício na caixa



A sala em que os alunos se encontravam era menor do que a sala normalmente utilizada por eles, porém era bastante clara, então foi improvisado, com auxílio de tecidos e fita adesiva, o escurecimento da sala para que a atividade pudesse ser posta em prática (Figura 24).

Figura 24- alunos escurecendo a sala de aula com tecidos



Após visualizarem os raios feitos através dos desenhos, é hora de ver na prática. Foi dito a eles então que as luzes da sala deveriam ser apagadas. Neste momento um aluno perguntou por quê. A pesquisadora responde a ele por que precisávamos ver com clareza a emissão desses raios, e conseqüentemente a formação da imagem na tela. Como era dia, a claridade da sala de aula era intensa, então com o auxílio de tecidos escuros cobriram-se todas as frestas que pudessem emitir luz para dentro da sala de aula. Como a quantidade de luz que passa pelo orifício é muito pequena, a imagem é de baixa intensidade. Então, se houver muita luz no ambiente, não é possível enxergar a imagem. Para que isso seja convincente, basta acender a luz: já não será mais possível ver a imagem. É pela mesma razão que não se vê estrelas no céu, de dia. A luz do Sol é muito mais intensa do que a luz das estrelas.

Posicionou-se as caixas de frente uma para a outra e antes de ligar, foi questionado aos alunos o que eles achavam que ia acontecer.

De imediato eles responderam: A imagem vai aparecer invertida. Perguntou-se então se eles sabiam por que esta imagem iria surgir de forma invertida. No mesmo instante alguns responderam que era devido ao cruzamento dos raios que eles haviam feito anteriormente, outros ainda permaneciam sem muita certeza.

Nesse momento este aluno perguntou se apenas aquele furinho era o suficiente para que a luz pudesse passar, perguntou ainda se ele deveria fazer um furinho um pouco maior. A resposta foi que por enquanto fizesse apenas o furinho do tamanho do alfinete.

A lâmpada foi ligada à tomada e as luzes da sala foram apagadas. Foi um momento muito legal, pois mesmo sabendo que a imagem seria invertida, eles ficaram surpresos com a imagem e com a nitidez da mesma (Figuras 25 e 26).

Figura 25- Câmara escura em funcionamento

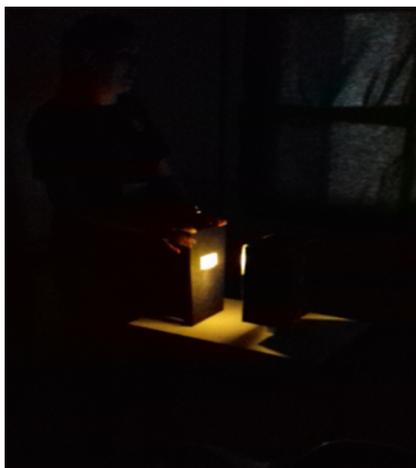
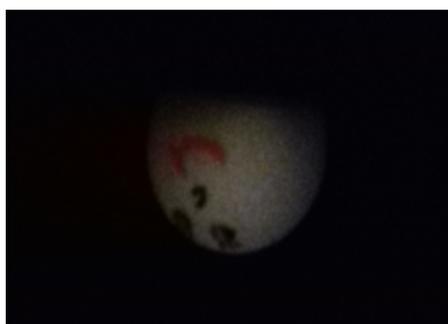


Figura 26- Câmara em funcionamento

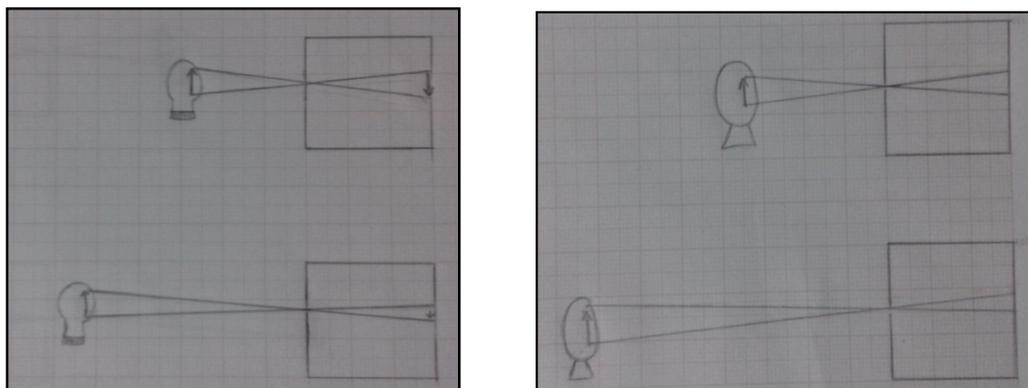


Então surgiu a pergunta esperada pela pesquisadora. Uma aluna, mais ao fundo da sala, um pouco tímida, diz:

- Professora, e se eu colocar uma das caixas mais longe o que vai acontecer com a imagem?

Não houve resposta naquele momento, ligamos a luz da sala, a pesquisadora pediu a eles que pegassem novamente o papel quadriculado e a régua. Pediu também a eles que no mesmo papel desenhassem abaixo a mesma lâmpada e a mesma caixa, porém um pouco mais distantes, e que traçassem novamente os raios e observassem o que ocorreria. Alguns não desenharam de forma proporcional, o que mostrou uma imagem do mesmo tamanho, e outros conseguiram desenhar de forma esperada, conseguindo perceber que a imagem se formaria de forma menor (Figura 27).

Figura 27- Segundo traçado dos raios de luz

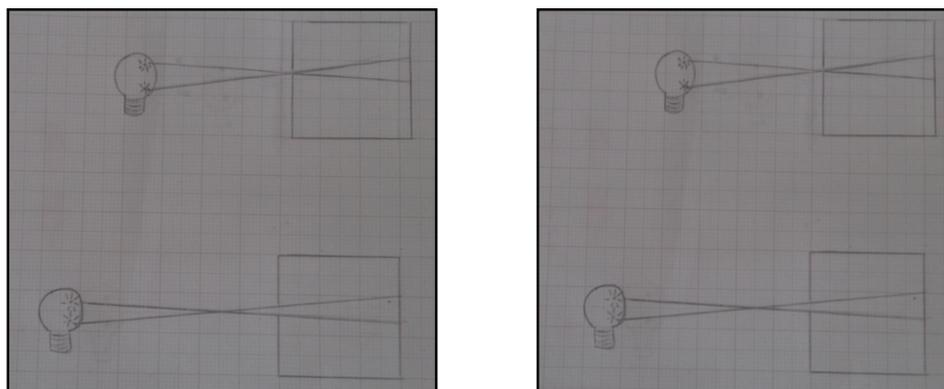


Alguns alunos não conseguiram realizar os desenhos de maneira esperada, não cruzando os raios de luz no orifício, o que não seria possível de identificar a formação de uma imagem (Figura 28).

Neste momento surgiu o espanto de alguns, pois julgavam que a imagem seria maior, tal como acontece quando afastamos um retroprojetor da tela de projeção. Depois desta breve conclusão dos alunos, pediram para aproximar a fonte de luz do anteparo e puderam perceber que, tal como previsto nos desenhos deles, a imagem aumentava de tamanho.

Outro momento importante também foi quando eles relataram sobre a nitidez da imagem quando estava perto e quando estava longe.

Figura 28- A falha mais comum nos desenhos feitos por alguns dos alunos: os raios se cruzam fora da região do orifício.



Depois de mais algum tempo entre perguntas e algumas respostas, conversou-se abertamente e de forma muito sincera. Foi perguntado o que haviam achado da atividade e que

importância davam a ela. Todos responderam que gostaram muito da atividade, que acharam importante e que conseguiram comprovar o que já havia lhes ensinado em sala de aula.

A pesquisadora julgou importante e interessante a facilidade que eles tiveram de dizer as palavras, as principais palavras ou as que se esperava aparecer, brilho, raio, intensidade, fóton entre outras. Muito interessante também que duas alunas, citaram Efeito Tyndall. A pesquisadora pesquisou a respeito e é um efeito muito legal ligado a óptica. Foi importante também como todos participaram e interagiram, fizeram inúmeras perguntas, e ainda no final da aula, ao sair da sala foi possível ouvir os comentários: “Que aula legal, diferente, divertida”. Isso foi muito gratificante para a pesquisadora.

Após essa primeira e importante etapa, a pesquisadora afastou a câmera e perguntou aos alunos o que aconteceria com a imagem a ser formada. Tiveram opiniões diferentes, então a pesquisadora pediu que os alunos novamente fizessem os desenhos, esperando que eles identifiquem que a imagem formada seria menor do que o objeto.

Em um primeiro momento a caixa foi mostrada a eles com um furinho pequeno, o qual foi observado também por eles, para permitir a entrada de luz e formar uma imagem nítida. O que causou certo espanto e deslumbre, pois como apenas um pequeno furinho pode proporcionar uma imagem com tal qualidade. Então os questionamentos continuaram a aparecer, o que é de vital importância para sequência da atividade. O que ocorreria se o furinho fosse maior, ou se o mesmo fosse maior e colocado distante? Foi evidente a curiosidade dos alunos sobre a atividade, e conseqüentemente a pesquisadora demonstrou-se mais motivada ainda para realizar suas atividades.

Desta forma, na descrição sobre as principais formas de abordagem da experimentação em sala de aula procurou-se discutir, além de suas vantagens, suas principais limitações no contexto educacional, bem como estratégias que possam torná-las pedagogicamente mais eficientes.

Acredita-se que as discussões de tais aspectos da experimentação no ensino de ciências são importantes para que os professores – em formação inicial ou em exercício – possam (re) pensar sua prática pedagógica de forma mais crítica, com critérios mais definidos e, então, fazer escolhas mais conscientes quanto à implementação de atividades experimentais no contexto escolar.

Após a realização deste trabalho encontrou-se um número julgado satisfatório de bons resultados. Esses “bons resultados” são caracterizados por algumas evidências.

Maior interesse por parte dos alunos em aprender Física, a partir das atividades experimentais propostas, detectada como mencionado acima na metodologia (questionários, observações “in loco” da pesquisadora, elementos da revisão bibliográfica).

Os alunos tornam-se mais interessados, naturalmente ocorreu uma motivação e a participação em aulas tanto teóricas como práticas. Mostraram-se dispostos a novas experiências, e alguns descobriram um mundo novo na Física, e isso pode ser aferido por eventuais sugestões dos alunos a respeito de novos temas a pesquisar, por exemplo, lentes esféricas, espelhos planos e esféricos, magnetismo, dilatação e etc.

Como consequência observou-se então um melhor desempenho em sala de aula, em atividades em grupo (detectado pela observação participante da pesquisadora), melhores rendimentos em trabalhos e provas e também no relacionamento entre colegas e com o professor (esse relacionamento foi também observado cuidadosamente pela pesquisadora). Alunos extremamente tímidos, inibidos, quietos, aos poucos deixaram esta que para eles era uma dificuldade, de lado não somente na disciplina de Física, bem como nas demais disciplinas, assim relatadas pelos demais professores. Tal fato foi percebido no momento em que se realizaram atividades práticas. Todos os alunos realizaram os desenhos dos traçados de luz, todos eles participaram de forma ativa na execução da atividade com câmera escura, ajudando na montagem parcial da câmera escura, escurecendo a sala e ainda em outro momento todos fizeram o mapa conceitual.

Quando estes experimentos começaram a fazer sentido, ocorreu um possível entendimento destes. Os alunos se tornaram mais críticos, o que proporcionou um desafio maior a pesquisadora, pois este deverá estar cada vez melhor preparado para enfrentá-los.

Além de tornarem-se mais participativos, tornaram-se também um pouco mais desafiadores, pois além das experiências com Óptica, que é o foco do estudo, foram realizados outros experimentos com o mesmo propósito. Começaram a fazer ligações de situações cotidianas com a Física vista em sala de aula. As expectativas eram, enquanto pesquisadora, desenvolver as atividades experimentais, a construção e o manuseio, feitos pelos alunos, tornando as aulas mais agradáveis e divertidas. Para confirmar (ou não) essa expectativa, atitudes lúdicas dos alunos (brincadeiras, posturas, atitudes, perguntas com caráter provocativo) foram observadas e relatadas, de modo a permitir uma análise argumentada.

Essas posições da pesquisadora exigiram dele atitudes bem definidas: abertura ao diálogo, incentivo ao novo, sensibilidade às dificuldades encontradas pelos alunos, posição de parceria na busca de encaminhamento a questões que nem ela nem os alunos sabiam responder,

são alguns exemplos. Aumentando assim a responsabilidade da pesquisadora, que também se motivou muito mais por encontrar alunos interessados e dispostos a aprender.

Foi possível motivar e ao mesmo tempo despertar a atenção dos alunos, desenvolvendo a capacidade de trabalhar em grupo, a tomada de iniciativa pessoal e a tomada de decisão, estímulo da criatividade, capacidade de observação e registros de informações. Em cada momento da atividade foi possível verificar novos indícios de melhora na aprendizagem devido à realização da atividade, bem como a capacidade de análise dos dados e as hipóteses formuladas, aprendizagem de conceitos científicos, e ainda detectar e corrigir erros conceituais.

Tratando-se da Física foi notável também o papel do cientista em uma investigação, compreendendo as relações entre ciência, tecnologia e sociedade, e aperfeiçoar habilidades manipulativas.

A partir de tudo o que foi exposto, desde o início do trabalho, com perguntas, questionamentos, mapas mentais e posteriores mapas conceituais, a construção de vários experimentos focando sempre na parte de Óptica, discussões entre outros foi possível verificar uma melhora significativa neste conjunto de ações.

Através do conjunto de experimentos propostos, e em especial da forma com que eles foram abordados, foi possível constatar que a aprendizagem pode se tornar potencialmente significativa para os alunos através de aulas experimentais, bem como não somente elas, mas também através de uma investigação mais profunda em que visa à qualidade da experiência, e que permite ao aluno fazer ligações com o seu dia a dia. Instigando os alunos desde um primeiro momento, descobrindo o que ele já sabe a respeito do assunto, dando importância a isso e tornando o aprendizado eficiente.

4.5. Mapas conceituais elaborados pelos alunos

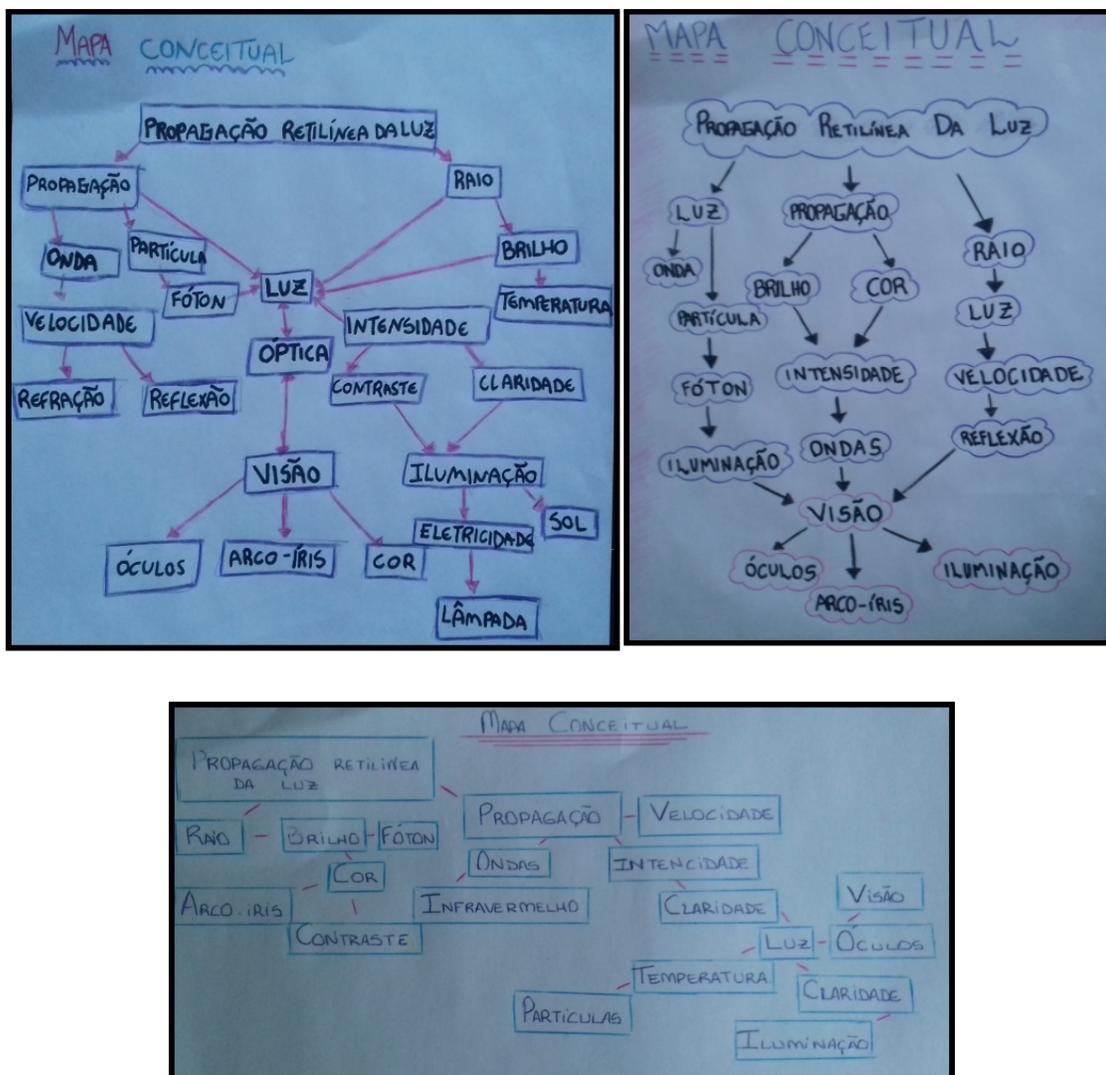
Mapas Conceituais não são fluxogramas, que possuem uma estrutura rígida quanto à direção preferencial. Outra característica é não possuírem um caráter único, ou seja, para um mesmo tema podem ser elaborados diferentes mapas conceituais (GOMES, CAETANO e ALVES, 2017).

Consoante ao que foi estabelecido na sessão 2.2, os mapas conceituais são caracterizados por mostrar um maior número de interconectores entre os diversos elementos, enquanto que os mapas mentais caracterizam-se por conexões predominantemente radiais ou sequenciais. Na figura 29, a seguir, é possível perceber essa riqueza maior de conexões.

Segundo Almeida et al. (2003), Novak instituiu os mapas conceituais como uma ferramenta de organização do conhecimento. MC não possuem uma estrutura prévia e podem ser desenhados da forma como o seu autor preferir. Para Almeida et al. (2003), a única preocupação na elaboração de um mapa são os conceitos e o cuidado para que eles estejam dispostos de forma adequada para facilitar a leitura.

Portanto os mapas abaixo embora sejam sobre o mesmo assunto, possuem formatos diferentes.

Figura 29 - Três mapas conceituais elaborados pelos alunos



5. PRODUTO FINAL

Ao término de uma longa trajetória de estudos, pesquisas, leituras, construção e manuseio de experimentos, análises e discussões, obtiveram-se como resultado além da construção de equipamentos com materiais de baixo custo retirados do cotidiano do aluno, com ênfase em Óptica, especificamente com a construção da câmara escura, um resultado muito positivo diante deste trabalho. Além de construírem a experiência, que em um primeiro momento é algo que os agrada muito, simplesmente por saírem da rotina de quadro negro e giz, os alunos conseguiram verificar sua funcionalidade, ou seja, por que tal fenômeno ocorre, e de que forma ocorre. Depois de estudar a parte teórica, foi possível fazer-se entender o real objetivo do experimento.

Durante o processo de realização desta dissertação, também foi possível entender e distinguir mapas mentais e conceituais, dando sua devida importância para o trabalho acadêmico e na carreira docente.

Embora estes temas (mapas mentais e conceituais), não sejam o foco principal deste trabalho, estes possibilitaram um leque de novas oportunidades para se trabalhar em sala de aula, não apenas no conteúdo de Óptica, mas em praticamente todas as áreas do conhecimento.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para concluir esse trabalho, foram retomadas algumas questões, tentando respondê-las, argumentando com base nos resultados apresentados (capítulo 4 – resultados e discussão) e também a partir do quadro teórico apresentado.

A primeira questão sobre a qual a pesquisadora se debruçou foi: a aprendizagem dos alunos foi potencialmente significativa? A melhor evidência para uma resposta afirmativa são os mapas conceituais produzidos pelos alunos, e apresentados na sessão anterior; o nível de interligações por eles apresentados é um indício favorável de que os diversos elementos postos em ação na oficina foram favoravelmente incorporados. Também pode ser percebida uma evolução quando o mapa mental (também apresentado no capítulo 4), comparado com os mapas conceituais que aparecem a seguir: a quantidade e a qualidade das ligações crescem, de forma evidente.

Ainda a respeito dos mapas conceituais, cabe também ressaltar que eles – muito provavelmente – sofreram influência dos diversos aspectos que foram colocados em ação, como a coleta das palavras chave, a proposta investigativa dada à oficina, e os cuidados com as raízes históricas das teorias postas em ação. Aspecto esse que será mais abordado a seguir.

A segunda questão diz respeito ao número e qualidade das perguntas e hipóteses formuladas pelos alunos. Um apanhado dessas perguntas e hipóteses pode ser visto no apêndice 2 - questões que surgiram durante a execução da atividade. A avaliação feita aqui tem uma componente subjetiva (todas as avaliações têm!). Convivendo então com essa subjetividade, é possível afirmar que o número e a qualidade dessas questões excedem largamente o número e qualidade daquelas que eventualmente surgiriam se não existisse uma intencionalidade nessa oficina. E essa intencionalidade é justamente a de fazer dessas perguntas um “motor” para novas investigações. O professor que eventualmente ler essas considerações deverá levar em conta que o conjunto de questões apresentado no apêndice 2 é de certo modo único, e não reproduzível. Se o leitor – professor executar por ele mesmo essa oficina, as questões serão – em grande parte – diversas. É claro que é bastante razoável esperar que exista certa semelhança com algumas das questões aqui apresentadas, mas nada muito maior que isso. Esse aspecto (a não reproduzibilidade das questões) é um ponto desse trabalho que parece de grande valor.

Se a proposição de perguntas foi, como argumentado anteriormente, bastante prolífico, o que é que se poderia dizer sobre a busca de respostas? Os alunos fizeram isso de forma (razoavelmente) autônoma? A resposta é afirmativa, e fundamentada nas observações

realizadas pela pesquisadora que aqui escreve. A iniciativa dos alunos foi notada desde a fase de implementação da estrutura para a execução da oficina (os alunos propuseram medidas mais efetivas para o escurecimento da sala, e sugeriram alternativas para a conclusão da montagem da câmara escura) até a fase da elaboração das “explicações” para o que era obtido, a partir das sucessivas explorações feitas. Relata-se brevemente um episódio ocorrido: alguns alunos lançaram a questão sobre o que ocorreria se vários orifícios fossem feitos, em vez de apenas um. Imediatamente, outro grupo de alunos retrucou que sim, várias imagens deveriam aparecer, e tudo isso se deu sem a intervenção da pesquisadora.

Uma questão adicional pode ser feita a respeito da fluência (ou não) que os alunos demonstraram no uso do modelo de traçado de raios. Aqui, é necessário ponderar que essa fluência foi em grande parte construída, com a intervenção direta da pesquisadora. Para ilustrar esse aspecto, refere-se às imagens de traçados de raios apresentadas no capítulo 4. Alguns alunos executaram essa tarefa com bastante cuidado, e isso os levou a respostas que posteriormente foram corroboradas pela observação (nesse momento de produção dos traçados de raios, a pergunta a responder – teoricamente – era: a imagem aumenta ou diminui se afastarmos a lâmpada da câmara escura?). No entanto, outros alunos por conta de um traçado menos cuidadoso, chegaram a evidências não conclusivas (o problema maior era o “cruzamento” dos raios que penetravam na câmara escura, cruzamento esse que se dava fora do orifício, o que é geometricamente implausível). Nesses casos, a pesquisadora agiu de modo a auxiliar na construção adequada da imagem. Em suma: a recomendação final a respeito dessa fluência no traçado de raios é a que segue: ela deve ser construída com calma e cuidado, em sala de aula, e a pesquisadora tem aqui um papel decisivo.

Outra questão à qual se tenta propor uma resposta é: os cuidados com os obstáculos epistemológico-didáticos foram justificados? Inicialmente, é possível afirmar que, nesse trabalho, não foram produzidas evidências que permitissem uma resposta cabal e completa a essa questão. Talvez essa impossibilidade se deva à dificuldade em quantificar atitudes. Explicando melhor: ao longo da oficina, uma atitude perseguida foi àquela típica do pesquisador: fazer perguntas, procurar respostas, autonomamente sempre que possível. O efeito que essa “formação para a pesquisa”, mesmo que restrita a uma oficina apenas, é muito difícil de evidenciar, e exigiria um acompanhamento posterior dos alunos, o que não foi feito. Mas, pode-se procurar – e encontrar – alguns indícios. Um deles pode ser encontrado na questão apresentada aos alunos, e mencionada no parágrafo anterior: o que ocorre com a imagem se a lâmpada fora afastada da câmara escura? As primeiras respostas dos alunos podem sugerir uma

generalização indevida (ver sessão 2.4.2, o conhecimento geral). Os alunos previram (erroneamente) que a imagem iria aumentar de tamanho, pois é isso que ocorre quando, por exemplo, um retroprojetor é afastado da tela de projeção. A questão (didática) agora é a seguinte: como o professor deve proceder nesse caso? Declarar sumariamente que a generalização é injustificada? O que a pesquisadora fez, nesse caso, foi diverso: em vez de uma resposta, ela encaminhou o procedimento de traçado de raios; depois de realizado, foi curioso verificar a reação de muitos alunos, eles mesmos constatando que não, a imagem não deveria aumentar, e sim diminuir. O procedimento experimental (feito posteriormente ao traçado de raios) confirmando essa hipótese, não resultou em frustração dos alunos (por terem supostamente errado a resposta). Ao contrário, os alunos viveram momentos de empolgação por terem feito uma pequena descoberta, mas não uma descoberta exclusivamente observacional. A descoberta se deu inicialmente no papel, no traçado dos raios, e depois no “mundo real” do experimento.

A questão dos obstáculos epistemológicos e (ou) didáticos leva quase que automaticamente a uma questão adicional: a imagem da ciência e da experimentação e o papel da história foram suficientemente explorados? A resposta, aqui como no parágrafo anterior, não pode ser conclusiva. Têm-se, novamente, indícios, fortes, é certo, mas não evidências. Iniciando pelos indícios. No parágrafo anterior, o leitor /professor poderá ter ficado com a impressão de que o “experimento” (afastar a lâmpada da câmara escura) “comprovou que a resposta era correta” (sim, a imagem diminui de tamanho, como previsto pelo traçado de raios). A ação da pesquisadora, para relativizar essa possível conclusão (que os alunos poderiam facilmente adotar) foi a de encerrar a oficina com a exploração visual de um fenômeno ótico de difração (observar a chama de uma vela através de uma fenda estreita). E qual era a “lição” esperada dessa observação? Sim. A ideia de propagação retilínea da luz funciona”, e os alunos tiveram evidências disso ao longo de toda a oficina. Mas, e essa foi à intenção aqui, a propagação retilínea da luz não funciona sempre! Serão necessárias novas teorias (no caso da difração, a teoria ondulatória da luz passa a dar respostas melhores). Mas não só isso: teorias “novas” e teorias “velhas” convivem umas com as outras, e os cientistas as usam, hoje, de acordo com a conveniência (traçados de raios são usados hoje, rotineiramente, por engenheiros óticos, no desenho de novos instrumentos). Essa foi à intenção, em boa parte, de apresentar a linha do tempo da óptica, na sessão 2.6 (a historicidade dos conteúdos escolares de Física). Em qual medida essa “lição” foi aprendida pelos participantes dessa oficina? Não se tem, ainda, elementos para uma resposta definitiva. Mas, pode-se afirmar; os indícios são animadores.

Depois de tantas “perguntas difíceis” termina-se com uma, fácil dessa vez. Essa atividade, tal como proposta aqui, pode ser implementada sem grandes dificuldades por outros professores? Formulando alternativamente a questão, o produto (veja o apêndice 1) que daqui resultou é acessível? Aqui, a resposta é plenamente afirmativa. Os recursos necessários são de baixo (ou nenhum) custo, talvez algumas dezenas de reais para a lâmpada de LED, fios e soquetes. E, uma vez adquirido esse material, ele funcionará a contento por muitos anos. O restante do material pode ser obtido da cozinha da escola (papel alumínio) ou na secretaria (caixas de papel de Xerox). O que de fato tem valor aqui é o contexto, o ambiente escolar que é possível implementar. Um ambiente onde é a pergunta que adquire proeminência, e a resposta vem depois, e é sempre construída. Um ambiente onde há alguma competição (quem consegue dar a resposta mais plausível?), mas que é muito mais de colaboração (“olha, faz assim, os raios precisam se cruzar bem no burquinho”).

Este trabalho é finalizado com a certeza de que cada professor que desejar realizar suas atividades experimentais, sejam elas em laboratório ou em sala de aula, depende apenas de si, embora a “receita” do bolo seja a mesma, cada um que a realizar encontrará situações inesperadas, diferentes, questionamentos diferentes, porém dentro do mesmo tema. Ou seja, com a mesma “receita” do bolo é possível obter inúmeros tipos do mesmo.

A atividade descrita nesta dissertação obteve êxito na maioria de suas atividades. Nesse tipo de atividade é comum que nem tudo saia como o esperado o tempo todo, foi o que aconteceu, por exemplo, no traçado dos raios, e também em alguns mapas conceituais elaborados pelos estudantes, é o que dá veracidade ao trabalho, demonstrar que algumas situações inesperadas podem ocorrer, o que em nada prejudicaram o desenvolvimento e conclusão do trabalho.

7. REFERÊNCIAS

7.1. Livros

AUSUBEL, David. P. **Educational Psychology: a cognitive View**. Nova York: Holt, Rinehart and Winston. (1968).

AUSUBEL, David P, NOVAK, Joseph e HANESIAN, Helen. **Psicologia Educacional**. Tradução Eva Nick. Rio de Janeiro. Editora Interamericana. (Página 61, 1980).

AUSUBEL, D. P. A aprendizagem significativa: **A teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982

BACHELARD, Gaston. **La formation de l'esprit scientifique**. Paris: J. Vrin, 5ª ed. 1947.

BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BAIERLEIN, R. **Newton to Einstein: the trail of light**. Cambridge: Cambridge University Press (1992).

FEYNMAN, R. **QED. The strange theory of light and matter**. Princeton: Princeton University Press, 2006.

FEYNMAN, R. P.; R. B. LEIGHTON e M. SANDS. **Lições de Física de Feynman**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

GASPAR, A. Museus e Centros de Ciências- **Conceituação e proposta de um referencial teórico**. In NARDI, R. (org.) Pesquisas em Ensino de Física. Editora Escrituras. São Paulo. (1998).

HALLIDAY, D.; R. RESNICK e J. WALKER. **Física. Óptica e Física Moderna**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

KOYRÉ, A. **Estudos de história do pensamento científico**. Rio de Janeiro: Forense Universitária (1991).

MILES, M.B.; HUBERMAN, A. M. **Qualitative data analysis: an expanded sourcebook** California: Sage, 1994.

MORAES, R; GALIAZZI, M. C. **Análise Textual Discursiva**. Ijuí: Editora Unijuí, 2011.

MOREIRA, Marco. A. **Aprendizagem significativa**. Brasília: Editora Universidade de Brasília. (1999).

MOYER, Albert E. "Edwin Hall and the Emergence of the Laboratory in Teaching Physics". **The Physics Teacher**. v.14, n. 2, p. 96-103, February 1976.

NEWTON, Isaac. **Optica, o Tratado de las Reflexiones, Refracciones, Inflexiones, y Colores de la Luz** (tradução de Carlos Solís). Madrid: Ediciones Alfaguara, 1977.

NOVAK, Joseph David. **Aprender, criar e utilizar o conhecimento: Mapas conceituais TM como ferramentas de facilitação nas escolas e empresas**. Lisboa: Plátano Edições técnicas, 1998.

PIAGET, Jean. **O Nascimento da Inteligência na Criança**. Trad. Alvaro Cabral. Rio de Janeiro: Zahar, 1970. 387p.

PIAGET, Jean. **A epistemologia genética**. Rio de Janeiro, Zahar Editores. (1973).

PIAGET, Jean. **Psicologia da inteligência**. Rio de Janeiro, Zahar Editores. (1977).

POPPER, Karl R. **A Lógica da Investigação Científica**. São Paulo: Abril, Os Pensadores, v. 44, 1975.

SHULMAN, L.S. e TAMIR, P. Research on teaching in the natural sciences, 1098-1148. **In Second handbook of research on teaching**. Rand McNally, Ed. R. Travers. Chicago. 1973

TARÁSOV; L.; TARÁSOVA; A. **Charlas Sobre La Refraccion de la luz** (da serie "Física al Alcance de Todos). Moscou: Editorial Mir, 1982.

TRAVERS, Robert M. ed. **Second Hand book of Research on Teaching**. Chicago: Rand McNally & Co., 1973.

YIN, Robert. K. **Estudo de caso. Planejamento e métodos**. trad. Daniel Grassi- 2.ed.- Porto Alegre: Bookman, 2001.

7.2. Artigo em periódico/revista

ANDRADE, B. L.; ZYLBERSZTAJN, A. & FERRARI, N. As analogias e metáforas no ensino de ciências à luz da epistemologia de Gaston Bachelard. Ensaio – **Pesquisas em Educação em Ciências**. v. 2, n. 2, 2002.

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 176 – 194, jun. 2003.

ARAÚJO, Fabrício. V; PAZZINI, Darlin. A. O uso do vídeo como ferramenta de apoio ao ensino e aprendizagem. Artigo Conclusão de Curso de Especialização em Mídias na Educação. Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul. 2013.

BARROS, J. Acacio de; REMOLD, Julie; SILVA, Glauco S.F. da; TAGLIATI, J.R., Engajamento interativo no curso de Física I da UFJF. In: **Revista Brasileira Ensino Física**. vol.26, no.1, São Paulo, 2004.

BASSALO, J. M Filardo; Fresnel: O formulador Matemático da Teoria Ondulatória da Luz. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Vol5. (Pág 79 a 87) Belém do Pará, 1988.

BLOSSER, Patrícia. E; Matérias em pesquisa de Ensino de Física: O Papel do laboratório no Ensino de Ciências. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis, 5 (2): 74-78 ago. 1988. (Traduzido por M.A.Moreira com permissão da autora).

CATELLI, Francisco. Pense e responda. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.13, n 2: p.172-173, ago.1996.

CATELLI, Francisco. GIOVANNI, Odilon, LAURINDO, Valdinei. “Demonstração” da lei da Inércia? **Revista Brasileira de Ensino de Física**. vol.38 no.4 São Paulo 2016 Epub 15-Ago-2016.

COELHO, S. M. et al. Formação continuada de professores numa visão construtivista: contextos didáticos, estratégias e formas de aprendizagem no ensino experimental de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 25, n. 1, p. 7-34, abr. 2008.

COLOMBO, E.& JÁEN, M. Polarização da luz: uma proposta de experiências simples. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, V. 8, 1, 37-55, 1991.

FAY, Paul J. “The History of Chemistry Teaching in American High Schools”. **Journal of Chemical Education**. v.8, n. 8, p. 1533-1562, August 1931.

GASPAR, Alberto; MONTEIRO, Isabel Cristina de Castro. **Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: Uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky**. Investigação em Ensino de Ciências, Rio Grande do Sul, v. 10, n. 2, p. 227-254, 2005.

GATTI, Bernardete. A. O professor e a avaliação em sala de aula. **Estudos em Avaliação Educacional**, (n. 27, jan-jun/2003).

GOMES F. H. F; CAETANO E. W. S; ALVES F. R. V;O uso de mapas conceituais no ensino de Física. **Revista de Educação Ciência e Tecnologia, Canoas**, v.6, n.1, 2017

GOMES,H. J. P.;OLIVEIRA,O. B. Obstáculos epistemológicos no ensino de ciências: um estudo sobre suas influências nas concepções de átomo. **Ciências & Cognição**, v.12 p.96 - 109, 2007.

Mc DERMOTT, Lillian. C; Como ensinamos e como os estudantes Aprendem: Um Desencontro?**American Journal of Physics** (volume 61, n. 4, abril de 1993, página 295);tradução por Márcio Quintão Moreno, do Departamento de Física, ICEX/UFMG.

MORAES, Roque; GALIAZZI, Maria do Carmo. Análise textual discursiva: Processo reconstrutivo de múltiplas faces. **Ciência & Educação**, v. 12, n. 1, p. 117-128, 2006.

MORAES, J.U.P; SILVA Junior. R.S; Experimentos didáticos no ensino de Física com foco na aprendizagem significativa. **Aprendizagem Significativa em Revista/Meaning Review–V4(3)**, PP. 61-67, 2014.

NEVES, Margarida; CABALLERO, Concesa; MOREIRA, Marco.A. Artigo : Repensando o papel do Trabalho Experimental, na Aprendizagem da Física, em Sala de Aula – Um estudo Exploratório. **Investigação em Ensino de Ciências**. – V11(3), pp.383-401, 2006.

NOVAK, Joseph. (2000). A demanda de um sonho: a educação pode ser melhorada. In J. Mintzes, J. Wandersee & J. Aprendizagem Significativa em Revista/**Meaningful Learning Review** – V1(1), pp. 36-57, 2011.

PELIZZARI A; KRIEGL M. L; BARON M. P; FINCK N. T. L; DOROCINSKI S. I . Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. **Rev. PEC, Curitiba, v.2, n.1, p.37-42, jul. 2001-jul. 2002**

POPPER, K. Lógica da Investigação Científica, in Os Pensadores, **Abril Cultural**, São Paulo, 1975.

QUIRINO, W. G; LAVARDA, F.C. Projeto Experimentos de Física para o Ensino Médio com materiais do dia-a-dia. **Caderno Catarinense de Ensino de Física.**, v. 18, n.1: p.117-122, abr. 2001

REZENDE, F.; LOPES, A. M. A.; EGG, J. M.. Identificação de problemas do currículo, do ensino e da aprendizagem de física e de matemática a partir do discurso de professores. **Ciência & Educação, Bauru**, v. 10, n. 2, p. 185-196, 2004.

REZENDE, F.; OSTERMANN, F. A prática do professor e a pesquisa em Ensino de Física: novos elementos para repensar essa relação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 22, n. 3, p. 316-337, dez. 2005.

SILVA, J. H. D. Algumas considerações sobre o ensino e aprendizagem na disciplina Laboratório de Eletromagnetismo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 471-476, dez. 2002.

SILVA, E. S.; BUTKUS, T; Levantamento sobre a situação do ensino de Física nas escolas do 2º grau de Joinville. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 2, n. 3, p. 105-113, dez., 1985.

SILVA. J. C. X.; LEAL. C.E. S dos. Proposta de laboratório de física de baixo custo para escolas da rede pública de ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 39, nº 1, e1401 (2017)

SILVEIRA, F. L. Filosofia da Ciência de Karl Popper: o Racionalismo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, V. 13, no. 3, 1996.
<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7046>

TAVARES, R. Construindo mapas conceituais. Departamento de Física, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, Paraíba, Brasil. **Ciências & Cognição** 2007; Vol 12: 72-85

VILLANI, A.. Considerações sobre a Pesquisa em Ensino de Ciência - A interdisciplinaridade. Instituto de Física - USP (**Revista de Ensino de Física** - Vol. 3, n. 3. Set. 1981).

7.3. Artigos acessados na rede mundial de computadores

ARAÚJO, V.M; **A aprendizagem significativa torna o aluno mais confiante e ágil no aprendizado.** Disponível em <<https://www.cpt.com.br/cursos-metodologia-de-ensino/artigos/aprendizagem-significativa-aluno-confiante-aprendizado>>

BOSCHETTI, Diego. **Um Pouco da História da Luz Segundo o Olhar do Homem.** Ano 1, Vol.6. Editores: Giovane Iribarem de Mello, Elisandra Souza de Oliveira, Carolina Abs. Porto Alegre. 2001. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/tex/edu02220/sem012/po6/texto616.html>>. Acesso em 12 dez. 2015.

HERMAN. Walther e BOVO Vivian. **Mapas Mentais: Enriquecendo Inteligências. 2005.** Disponível em: <http://www.idph.net/download/mmapresent.pdf>. Acesso em 27 de março de 2017.

LOPES, A. **Livros Didáticos: Obstáculos Verbais e Substancialistas* ao Aprendizado da Ciência Química.** Revista Brasileira. Estudos pedagógicos. Brasília, v.74, p.309-334, maio/ago. 1993. Disponível em <<file:///C:/Users/User/Downloads/346-1748-1-PB.pdf>>. Acesso em 10 abril. 2015.

MOREIRA, M.A. **Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 23 de abril de 2010.** Aceito para publicação, Qurriculum, La Laguna, Espanha, 2012.

MORAN, J. Aprendizagem significativa. **Entrevista ao Portal Escola Conectada da Fundação Ayrton Senna,** publicada em 01/08/2008. Disponível em <www.escola2000.org.br/comuniqu/entrevistas/ver_ent.aspx?id=47> Acesso 22/08/2017.

MORAES. Ronny. M. **A Teoria da aprendizagem Significativa – tas.** Construir notícias. 2016. Disponível em <<http://www.construirnoticias.com.br/a-teoria-da-aprendizagem-significativa-tas/>> .

MOREIRA, M.A. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. RS. Disponível em <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>>. Acesso em 20 setembro 2016.

NÚÑEZ, B.I.; RAMALHO, L.B.; SILVA, I.K.P. & CAMPOS A.P.N. **A seleção dos livros didáticos: um saber necessário ao professor.** O caso do ensino de ciências, 2003. Disponível em :<<http://www.rieoei.org/profesion4.htm>>. Acesso em 07 mar. 2015.

OLIVEIRA, M. **A óptica adaptativa.** Blog Professor Marcelo A. Leigui de Oliveira. Agosto 2015. Disponível em: <<http://leigui.blogspot.com.br>>. Acesso em 07 mar. 2015.

PAVÃO, David. **A importância dos mapa mental.** (2009). Disponível em :<<http://www.administradores.com.br/mobile/artigos/negocios/a-importancia-do-mapa-mental/34790/>>. Acesso em 27 de março de 2017.

SANTOS, Júlio C. F. **O desafio de promover a aprendizagem significativa.** Disponível em: <<http://www.juliofurtado.com.br/textodesafio.pdf>>. Acesso em 11 ago. 2014.

SILVA, Anderson. Blog: **Ensino de Física: Abordagem Tradicional ou Abordagem Cognitiva?** Brasil; (14 de agosto de 2008). Disponível em: <<http://stoa.usp.br/andersonalves/weblog/29728.html>>. Acesso em 14 out. 2015.

TORRES JÚLIO. José. **Mapa Mental: Mapa mental feito com Software Minjet Mind Manager Pro.** www.teoriadacomplexidade.com.br. 2012. Acesso em 27 de março de 2017).

7.4. Dissertações de mestrado

BRASIL ESCOLA. Monografias. **Dificuldades na aprendizagem da Física no primeiro ano do Ensino Médio da Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Osvaldo Cruz.** Disponível em: <<http://monografias.brasescola.uol.com.br/fisica/as-dificuldades-na-aprendizagem-fisica-no-primeiro-ano-ensino-medio.htm>>. Acesso em 09 Jan.16.

ESPÍNDOLA, Karen.;MOREIRA, Marco. A. **A estratégia dos projetos didáticos no ensino de Física na educação de jovens e adultos (EJA)** – Textos de apoio ao professor de física, v. 17, n. 2. UFRGS – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2006.

FINZI, Sandra. N. **Os livros didáticos de Química para o Ensino Médio: Critérios de análise e concepções de professores.** 2008. 102f. Tese (Mestrado em Ensino de Ciências). USP, São Paulo.

LIMA, Felipe D. A; **As disciplinas de Física na concepção dos alunos do Ensino Médio na rede pública de Fortaleza/CE;** Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Licenciatura em Física do Centro de Ciências e Tecnologia, da Universidade Estadual do Ceará/CE; Brasil. (2011).

MARTINELLI, Fábio. **Uma interpretação para as dificuldades enfrentadas pelos estudantes num laboratório didático de Física.** Dissertação (mestrado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Física. Departamento de Física Aplicada. 2007.

NACIMENTO, Tiago. L; **Repensando o Ensino da Física no Ensino Médio.** Monografia apresentada ao Curso de Física Licenciatura Plena, do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará. (2010).

OLIVEIRA, Cleidson S. **Atividade experimental investigativa: Construção do Termômetro de Coluna Líquida.** Dissertação de Mestrado. São Carlos. RS. 2012.

SILVÉRIO. Antônio A. **As dificuldades do Ensino/Aprendizagem da Física**. Monografia apresentada no Curso de Especialização Em Ensino de Física na UFSC, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Ensino de Física. Florianópolis (SC) Abril — 2001.

VIEIRA. Leandro. S. **Experimentos de Física com Tablets e Smartphones**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Mestrado Profissional em Ensino de Física UFRJ – 2013.

7.5. Artigos apresentados em congressos

ALMEIDA, Fabiana C.P. de et al. **Mapas conceituais**: avaliando a compreensão dos alunos sobre o experimento do efeito fotoelétrico. In: IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2003, Bauru, Anais... Bauru, 2003

FILHO ROCHA, J.B; SILVA, M; Artigo: O Papel Atual da Experimentação no Ensino de Física. **XI Salão de Iniciação Científica** – PUCRS, 09 a 12 de agosto de 2010.

GARCIA, Nilson. M. D; GARCIA, Tânia. M. B; HIGA, Ivanilda. **Simpósio Nacional de Ensino de Física**. O Projeto de Ensino de Física (Pef): um Modo Brasileiro de Ensinar Física da Década de 1970. Universidade Federal do Paraná. 2007.

MORETZSOHN, Ricardo S. T; NOBRE, Eloneid F; DIEB, Vagner; CINTRA, Alda. Introdução ao ensino da Física: uma abordagem fenomenológica ou matemática? **Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Universidade Federal do Ceará Colégio Juvenal de Carvalho (pg 904 a 909). 2003.

PINHEIRO, L.A; COSTA, S.S.C . Construindo materiais para aprender óptica. **VI encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007, Florianópolis**. Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007.

APÊNDICE 1 - PRODUTO

Oficina: explorando a câmara escura

Produto resultante da dissertação de mestrado, de autoria de Suzana França de Oliveira da Silva, intitulada “Aprendizagem potencialmente significativa de óptica geométrica em laboratório”.

1- Apresentação. A proposta dessa oficina tem como objetivo contemplar alguns princípios pedagógicos, tais como: partir do que os alunos conhecem valorizar sua autonomia, incitá-los à investigação, situar historicamente os conteúdos trabalhados, promover atividades nas quais eles tenham participação ativa, avaliá-los de forma contínua a partir da participação nas atividades, propor mapas conceituais e usá-los como diagnóstico de um aprendizado potencialmente significativo.

Todos esses aspectos são detalhados na dissertação referida acima. O conteúdo desse texto possui as características de um guia rápido que permita o encaminhamento por parte dos professores interessados nessa atividade, mas não possui vocação de “receita”. Sendo assim, incentivam-se os colegas professores que usem esse texto para que o tomem como um “atalho” para algumas ações, mas que não deixem de imprimir um enfoque pessoal às atividades propostas, alterando-as e (ou) adaptando-as sempre que julgarem conveniente.

2- Sequência dos procedimentos adotados na oficina. Lista-se a seguir a sequência das atividades propostas, que serão posteriormente explanadas em detalhe. 2-1: material necessário; 2-2: aplicação de questionário para avaliação de conhecimentos prévios; 2-3: compilação de palavras chave em torno da ideia de luz; 2-4: elaboração de um mapa mental; 2-5: descrição da atividade; 2-6: a propagação retilínea da luz nem sempre funciona! 2-7: elaboração de uma linha do tempo na ótica; 2-8: elaboração de um mapa conceitual.

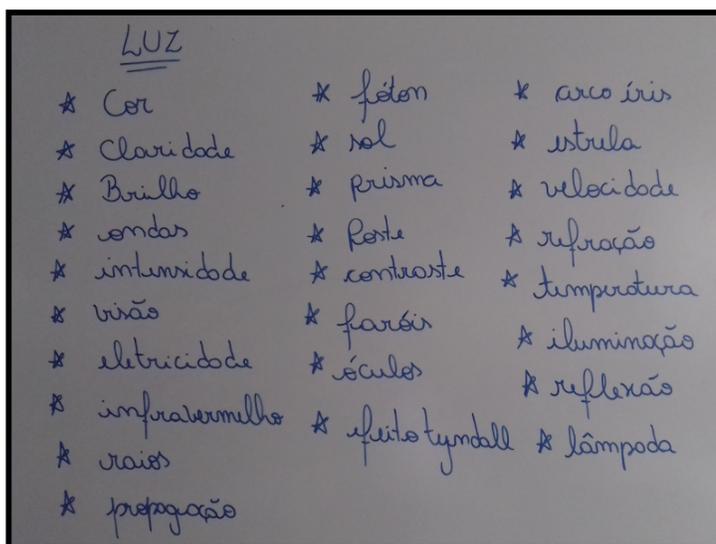
Passa-se a seguir à descrição de cada uma dessas etapas.

2-1: material necessário. O item mais importante é sem dúvida o acesso a uma sala que possa ser completamente escurecida. Isso se deve ao fato de que as imagens produzidas são em geral de baixa intensidade, e difíceis de discernir em um ambiente com muita luz. Material adicional: uma lâmpada de LED, 6 W ou maior (as lâmpadas de LED produzem pouco calor), um soquete com rabicho e flecha para ligar a lâmpada; duas caixas de papelão de embalagem de 500 folhas A4, ou equivalente, papel vegetal (uma folha de tamanho A4), papel alumínio (um pedaço de 20 cm X 20 cm é suficiente), fita adesiva, uma agulha ou alfinete, um CD gravável de cor clara (ele será “destruído” no final da oficina), e uma tesoura. Para cada aluno: uma folha A4 de papel quadriculado, régua, lápis ou caneta.

2-2: aplicação do questionário para avaliação de conhecimentos prévios. Esse é um passo de grande importância; mas em casos nos quais o tempo disponível é muito curto, as questões podem ser feitas verbalmente e anotadas de forma resumida pelo professor. Exemplos de questões podem ser encontrados no apêndice 2 da dissertação.

2-3: coleta de palavras chave em torno da ideia de luz. Aqui, a pesquisadora escreve no quadro o termo “luz” e pede para que os alunos proponham palavras que, na percepção deles tenham algum tipo de relação, mesmo que indireta, com a palavra “luz”. A pesquisadora (ou um estudante voluntário) anota cada uma das palavras, mas não interfere nessa etapa. Todas as palavras ditas pelos alunos serão consideradas. Esse espaço de tempo nem deve ser tão curto que iniba alguns dos alunos a falarem, nem tão longo a ponto de a atividade tornar-se tediosa. Essas palavras (veja figura 1) poderão servir do ponto de partida para a próxima atividade.

Figura 1. Exemplo de um conjunto de palavras ligadas à luz, ditas pelos alunos.



2-4: elaboração de um mapa mental. Nesse momento, os alunos recebem uma orientação breve da pesquisadora a respeito da elaboração de um mapa que ligue diversos conceitos entre si. Se os alunos já possuírem experiência prévia de construção desses mapas, a etapa de explicação poderá ser consideravelmente reduzida. Os mapas serão guardados pela pesquisadora, para posterior comparação com mapas que os alunos farão ao término da atividade (provavelmente eles construirão mapas mais conceituais do que mentais). Cabe ressaltar aqui uma diferença entre mapas mentais e mapas conceituais: nos primeiros os diversos termos são conectados ao conceito central (nesse caso, luz); há poucas conexões (às vezes, nenhuma) dos termos entre si. Já o mapa conceitual apresenta uma riqueza muito maior de interconexões. Em geral, a tendência dos alunos é a de produzir inicialmente mapas mentais; depois, a partir de um domínio maior do tema estudado, os alunos podem ser capazes de

produzir mapas conceituais, mais complexos e ricos (não necessariamente todos apresentarão essa habilidade). A produção de mapas conceituais seria, de acordo com a literatura, um indício de que o aprendizado foi significativo.

2-5: descrição da atividade. Antes de iniciar, um alerta: se os passos aqui apresentados forem seguidos, a atividade “funcionará” adequadamente. Mas há muitas variações possíveis, e a pesquisadora, com seus alunos, poderão (e mesmo, deverão) alterar esse roteiro de acordo com o contexto.

Garantida a possibilidade de escurecimento da sala, a pesquisadora apresenta o material, já previamente preparado: a câmara escura, já munida da “tela de projeção”, feita com papel vegetal, e do lado oposto à tela, uma janela, de aproximadamente 5 cm por 5 cm (ver a figura 2, a seguir).

Figura 2: a câmara escura, parcialmente pronta. Um anteparo de papel vegetal ocupa a parte da frente da caixa (à direita); na parte traseira, pode-se ver a janela, tapada por uma lâmina de papel de alumínio de 5 cm por 5 cm. No centro da janela de papel alumínio será feito um orifício com uma agulha. À esquerda, aparece a tampa da caixa.



A segunda caixa servirá para conter a lâmpada, de modo a permitir que a luz por ela emitida saia apenas por uma “janela” frontal, de aproximadamente 10 cm por 15 cm. Com isso, o ambiente terá menos luz espalhada, o que atrapalharia um pouco a visualização da imagem (figura 3).

A seguir, os alunos pintam a “careta” na lâmpada, colam um papel de alumínio de modo que ele tape por completo a janela de 5 cm por 5 cm, e fazem um pequeno orifício no centro desta, por meio de uma agulha. É importante que o furo seja feito por eles, logo antes do escurecimento da sala, de modo que eles se convençam que não há mais nada na caixa que

possa ser responsável pela produção da imagem. A “careta” ajuda a identificar se ocorre a inversão da imagem da esquerda para a direita e de cima para baixo.

A próxima etapa pode ser a obtenção de uma primeira imagem (veja a figura 3, a seguir). A caixa com a lâmpada é colocada a uns 30 cm de distância do orifício, a lâmpada é acesa, e a luz da sala, apagada. Os alunos são convidados a observar a imagem produzida, e a manifestar-se livremente a respeito do que estão vendo lá. A pesquisadora ouve, e memoriza as questões e observações feitas; em seguida, ele encaminha, uma por uma, as observações e questões dos alunos. Muito provavelmente, a primeira observação é a de que a imagem é invertida. No parágrafo a seguir, exemplifica-se um procedimento para a exploração dessa questão.

Figura 3: caixa que contém a lâmpada. A “careta” pintada na lâmpada pode ser desenhada (com caneta do tipo “hidrocor”) pelos próprios alunos, no início da atividade. A tampa, à direita é colocada durante o uso da câmara, com o objetivo de limitar ainda mais a luz espalhada no ambiente.



Porque a imagem é invertida? A pesquisadora, nesse ponto, anuncia que uma das primeiras teorias sobre a luz foi a de que ela se propaga em linha reta, e é essa teoria que será usada a seguir. A base dessa teoria é a de que um objeto que emite luz pode ser pensado como sendo constituído de muitos pontos (infinitos) e que, de cada um desses pontos, raios de luz emanam, de forma radial, tal como pode ser visto na figura 4.

A sugestão a seguir baseia-se na premissa de que, sempre que possível, o aluno deve ser provocado a descobrir por ele mesmo como as coisas funcionam. Então, faça um novo desenho, no qual a câmara escura é colocada à frente da lâmpada, e mostre que apenas um dos raios que emanam do ponto superior passa pelo orifício. Veja as figuras 4 e 5.

Figura 4. De cada um dos “pontos” que formam esse objeto emissor de luz, emanam raios. Dois desses pontos são representados.

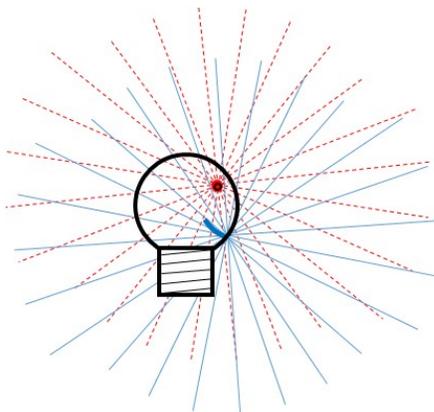
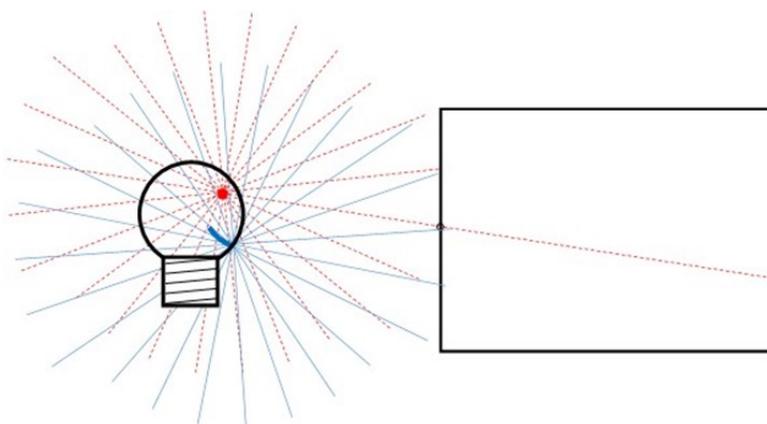


Figura 5. Apenas um dos raios (em vermelho) que partem do ponto superior da lâmpada passa pelo orifício. Os demais, são bloqueados.



Agora, peça para os alunos desenharem, nos papéis quadriculados que eles receberam duas câmaras escuras de mesmas dimensões; na primeira, eles completarão o traçado de raios que a pesquisadora iniciou no quadro, e na segunda, farão um novo traçado, dessa vez com a lâmpada a uma distância maior da caixa.

Veja a figura 6. Um ponto que deve ser ressaltado: os raios que penetram na câmara escura devem passar o mais exatamente possível pelo orifício.

Figura 6. Proponha aos alunos que completem o traçado de raios (iniciado na figura 5). Isso os levará a concluir que sim, a imagem deveria ser invertida. Note que, dessa vez, apenas os raios que passam pelo orifício foram representados. Depois, peça que façam um novo traçado, dessa vez colocando a lâmpada mais distante. Note que as câmaras escuras e as lâmpadas, nos dois

desenhos, devem ter aproximadamente as mesmas dimensões, de modo a poderem ser comparadas. É possível, como base nesses dois traçados responder se a imagem aumenta ou diminui, o afastar a lâmpada da câmara escura?

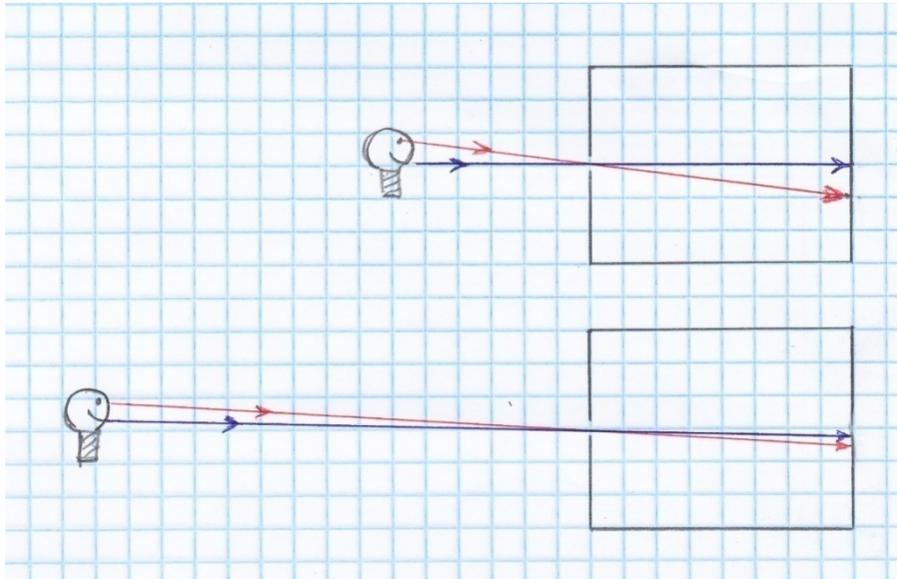
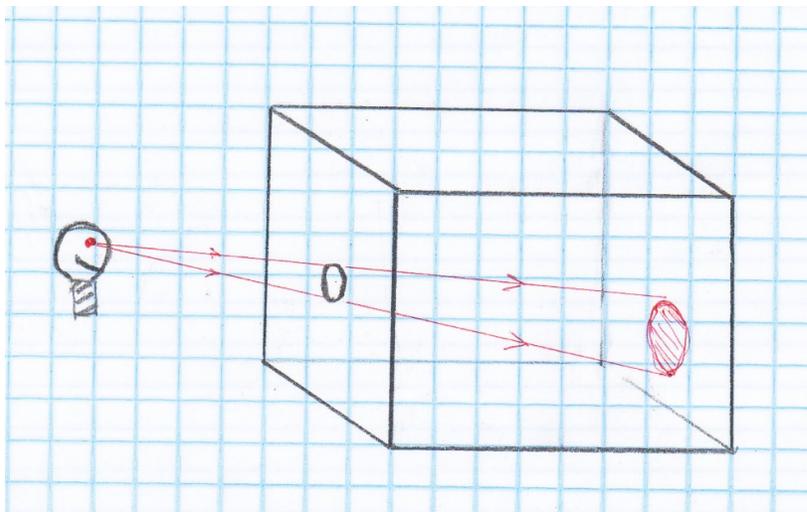
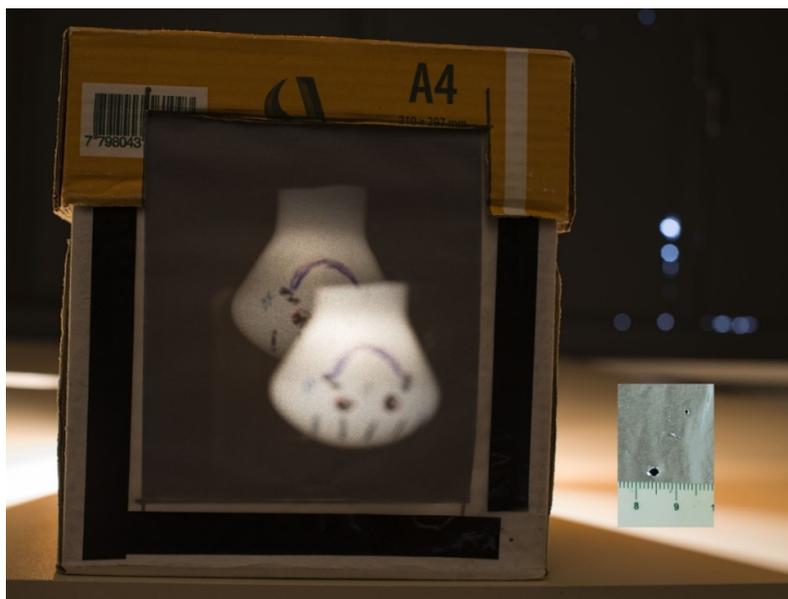


Figura 7. Figura superior: se o orifício for grande, o que deveria ser um ponto na imagem dentro da câmara escura (o olho da careta) virão um “borrão”. Isso faz com que a imagem como um todo fique “borrada”, sem nitidez, como pode ser visto na foto, abaixo. Nessa foto, uma das imagens (borrada e brilhante) é formada pelo orifício de maior diâmetro, e a outra, menos brilhante e mais nítida, é devida a um segundo orifício, esse, de menor diâmetro. Os



orifícios e parte de uma régua podem ser visto no encarte (abaixo, à direita); um dos furos tem dimensão aproximada de 2 mm, o outro, menos de 1 mm.

Outra pergunta muito comum é a seguinte: porque é que tem que ser um “buraquinho”, e não um “buracão”? O professor pode provocar perguntando se entra mais ou menos luz. Mais, é claro, respondem os alunos. Então, a imagem será mais “forte”. Mas antes de testar, pode-se perguntar se, agora que o buraco é maior, um só raio passará. Os alunos dizem que não, e isso pode ser visualizado na figura 7. A cada “ponto” do objeto luminoso, corresponderá um “borrão” na imagem e essa, portanto, perderá a nitidez. Os alunos chegam, em geral autonomamente, a essa conclusão. Para verificar se essas conjecturas se sustentam, basta abrir o buraco, com um lápis, por exemplo. O efeito é espetacular e os alunos vibram, provavelmente por terem feito por eles mesmos essa previsão bem sucedida.



São muitas as perguntas feitas pelos alunos. Algumas são recorrentes; essa, por exemplo: “e se forem feitos mais buracos?” A resposta (os alunos pré veem isso também!) é a de que existirão tantas imagens quantos buracos existirem, e a figura 7 atesta isso. Note que, se o papel de alumínio foi perfurado com um “buracão”, ele pode ser rapidamente substituído por um papel novo, sem buracos. Nesse novo papel novos furos podem ser feitos; a sugestão é fazê-los não muito próximos; nesse caso as imagens ficariam praticamente superpostas.

Distâncias de uns 4 ou 5 cm em geral dão bons resultados. Mas há uma variante espetacular desse efeito de múltiplos buracos. Veja a figura 8 e a figura 9, e suas legendas.

Figura 8: imagens múltiplas do Sol, formadas pela passagem dos raios de luz através de pequenas aberturas na copa de uma árvore. Note as várias imagens claras em formato de disco, todasmias ou menos de mesmo diâmetro. A cada “disco” de luz corresponderá uma abertura na copa da árvore.



Figura 9. Essa é uma imagem um tanto rara. Temos novamente imagens múltiplas do Sol, desta vez obtidas pela passagem dos raios de luz através de orifícios em uma lamina de alumínio, a uns três metros de altura do solo. É possível identificar sete imagens; as imagens mais fracas correspondem a orifícios de menor diâmetro. São 7 orifícios ao todo. Nesse dia (26 de fevereiro de 2017) e horário (aproximadamente 11 h da manhã, em Caxias do Sul, RS) ocorria um eclipse solar, por isso as imagens (do Sol!) lembram imagens da lua.



2-6: a propagação retilínea da luz nem sempre funciona!

O sucesso das previsões feitas a partir da propagação retilínea da luz pode ser tamanho que os alunos pensarão, talvez, que sempre as coisas funcionarão. Mas, na ciência real, feita por seres humanos, sabemos que não é assim. Então, propomos agora uma “experiência”, que não poderá ser explicada a partir da premissa que a luz se propaga em linha reta. Pegue um CD gravável, de cor clara, e coloque-o sobre a mesa, com a etiqueta para cima. Cubra por completo essa etiqueta com fita adesiva, e em seguida arranque-a, lentamente. Isso (usando a expressão dos alunos) “depilará” o CD. Se a etiqueta não sair na primeira tentativa, picote um pouco a borda do CD com um objeto pontudo e inicie novamente a retirada da fita adesiva nesse ponto. Veja o resultado na figura 10, à esquerda. Agora, corte o CD “depilado” em oito fatias, como se fosse uma pizza, e coloque-o em frente à lente da câmara de um telefone celular e faça uma foto, de uma lâmpada fluorescente, por exemplo. Veja o resultado (espetacular!) na figura 10, à direita. Os alunos são informados que não é possível explicar as cores que aparecem por meio da propagação retilínea da luz. Agora, seria necessária a teoria ondulatória da luz, que teve como um dos precursores Huygens, um amigo de Newton. (Newton era adepto da propagação retilínea da luz!)

Figura 10. À direita: o CD sendo “depilado”. À esquerda: difração da luz de uma lâmpada fluorescente através de um CD, fotografada num telefone celular. Esse é um fenômeno tipicamente ondulatório, que não tem explicação plausível por meio da teoria da propagação retilínea da luz (a luz como partícula).

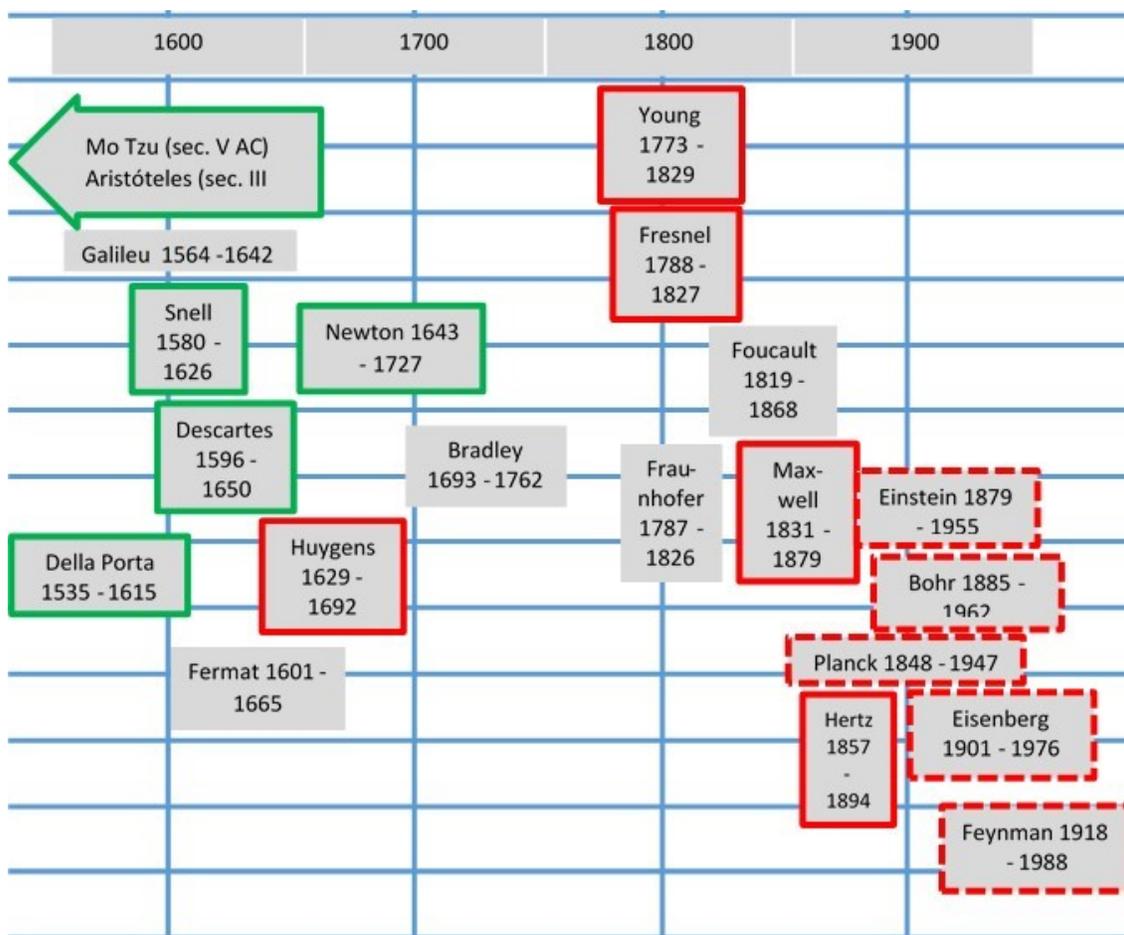


2-7. Elaboração de uma linha do tempo na ótica.

Nesse momento (se o tempo disponível permitir) os alunos são informados que há pelo menos três teorias da luz: a luz como partícula (tal como estudado na câmara escura), a luz como onda (ver a figura 10), e a luz como partícula, mas dessa vez uma partícula sem contrapartida no mundo real, o fóton. Quais foram os principais partidários dessas três teorias? A linha do tempo, apresentada a seguir, pode ser apresentada aos alunos, ou eles mesmos podem construir uma. Veja a figura 11.

Figura 11. Linha do tempo, que contempla alguns cientistas estudiosos da luz. Moldura em verde: indica cientistas adeptos do modelo corpuscular da luz (a luz se propaga em linha reta); moldura em vermelho: modelo ondulatório da luz. Moldura em pontilhado vermelho: a luz como fóton. As molduras que contém os nomes dos cientistas iniciam no ano de nascimento e terminam no ano da morte; a largura da moldura é proporcional ao tempo de vida. Por

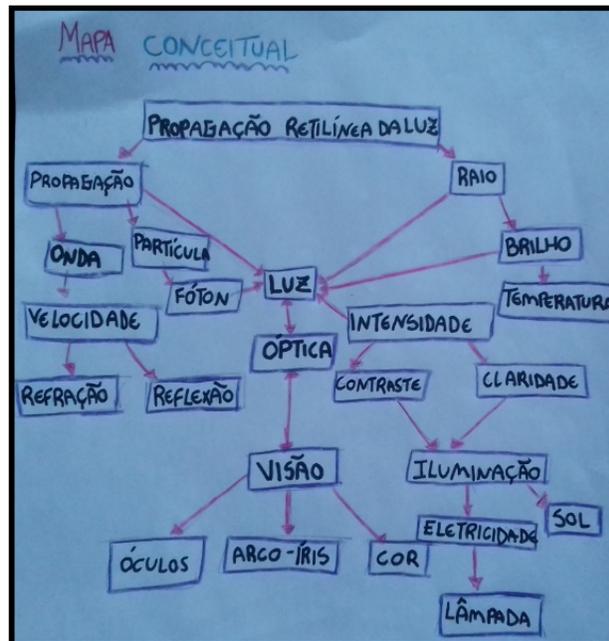
exemplo, logo depois da morte de Galileu, nasce Newton. Hertz teve uma vida curta (veja seu quadro, estreito); já Planck viveu quase 100 anos, e a largura da moldura indica isso.



2-8. Elaboração de um mapa conceitual.

Na dissertação há mais dados sobre o que é um mapa conceitual. A título de exemplo, apresenta-se a seguir (figura 12) um desses mapas, feito pelos alunos.

Figura 12. Exemplo de mapa conceitual elaborado pelos alunos. Note que muitas das palavras que aparecem no mapa aparecem também na figura 1 (palavras ligadas à luz, ditadas pelos alunos).



APÊNDICE 2 - QUESTÕES QUE SURTIRAM DURANTE A EXECUÇÃO DA ATIVIDADE

- 1) As palavras podem ser sobre fontes naturais ou artificiais?

Esta pergunta surgiu praticamente momentânea ao escrever a palavra Luz no quadro, pois era o início do trabalho. E era a partir desta que eles iriam começara a falar as palavras com ligação LUZ. Respondi a eles que sim, poderiam ser tanto naturais quanto artificiais. Salientei mais uma vez que eles poderiam trazer as palavras de forma completamente livre.

- 2) As palavras precisam ter ligação direta com a palavra LUZ, ou algo que lembre?

Quando mencionei a palavra Luz no quadro, não disse a eles se deveriam ter ligação direta com a palavra, apenas pedi a eles que fossem falando outras palavras que lembrassem a palavra luz. Não respondi a pergunta feita por alguns, apenas disse novamente que deveriam falar palavras que para eles lembrassem a palavra LUZ.

- 3) Por que as duas caixas estão forradas?

Após a realização dos desenhos e identificados onde os raios iriam aparecer, mostrei a eles as caixas, e que no mesmo instante que as mostrei eles perguntaram por que as mesmas eram forradas com papel preto. Na sequência, antes que eu respondesse surgiu então à pergunta seguinte.

- 4) Se não estivessem forradas mudaria alguma coisa na experiência?

Esta pergunta surgiu juntamente com a pergunta anterior, então respondi a eles que as caixas estavam forradas de preto, para obter uma qualidade melhor em nosso trabalho, mas que se caso as mesmas não estivessem cobertas com papel preto, a atividade também iria funcionar. Expliquei que o forro preto minimiza reflexões indesejadas da luz, e assim a qualidade das imagens fica melhor. É por isso que muitos instrumentos ópticos (lunetas, telescópios, binóculos, câmaras fotográficas) são pintados de preto por dentro.

5) Que tipo de lâmpada é essa?

Quando mostrei a lâmpada dentro de uma das caixas, alguns alunos perguntaram qual era o tipo de lâmpada, pois nitidamente perceberam que não eram aquelas incandescentes, então a dúvida era se a lâmpada era das chamadas econômicas ou de Led. Respondi então que a lâmpada era de Led. Achei curioso que ninguém perguntou por que estava usando a lâmpada de Led. Mais tarde ao final da atividade eu perguntei a eles se sabiam por que usei lâmpada de Led, alguns responderam que não. Outros disseram por que consome menos energia, outros disseram por que já não é tão comum as lâmpadas incandescentes nos supermercados, e uma aluna disse que por colocar várias vezes e tirar da tomada, a lâmpada incandescente correria mais risco de queimar do que as outras, e por fim outra aluna disse que as econômicas não seria possível fazer algum tipo de desenho devido ao formato da lâmpada. Expliquei então aos alunos que, nesse caso, a maior vantagem é a de que a lâmpada de LED não aquece praticamente nada, e então é mais segura de manusear. Se fosse uma lâmpada incandescente, haveria o risco de alguém se queimar nela.

6) Se usar outro tipo de lâmpada funciona também?

Ao responder a questão anterior, surge esta pergunta, respondi a eles que sim, que funcionaria também.

7) Por que devemos escurecer a sala?

Após visualizarem os raios feitos através dos desenhos, é hora de vermos na prática. Disse a eles então que deveríamos apagar as luzes da sala. Neste momento um aluno perguntou por quê. Respondi a ele por que precisávamos ver com clareza a emissão desses raios, e conseqüentemente a formação da imagem na tela, como era dia, a claridade da sala de aula era intensa, então com o auxílio de tecidos escuros cobrimos todas as frestas que pudessem emitir luz para dentro da sala de aula. Como a quantidade de luz que passa pelo orifício é muito pequena, a imagem é de baixa intensidade. Então, se houver muita luz no ambiente, não conseguimos enxergar a imagem. Para que isso seja convincente, basta acender a luz: já não será mais possível ver a imagem. É pela mesma razão que não vemos estrelas no céu, de dia. A luz do sol é muito mais intensa do que a luz das estrelas.

8) Porque colocar papel laminado na abertura da caixa?

Após mostrar as duas caixas, e as “janelas” feitas nas duas laterais desta, pedi para alguns alunos que me auxiliassem, colocando em um lado papel vegetal, o qual eles já identificaram que seria a tela onde a imagem iria aparecer. Surge então a pergunta de o porquê colocar papel laminado, expliquei então que este seria mais fácil de fazer um furinho com alfinete, que este não permitia a passagem de luz, somente pelo orifício, e que se fosse necessário poderíamos aumentar ou cobrir o orifício podendo fazer outros sempre que fosse necessário. E que se fosse outro material, opaco, também funcionaria.

APÊNDICE 3 - DIAGRAMAS DE RAIOS CRIADOS PELOS ALUNOS