

Kleber Briz Albuquerque

**OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS COMO
METODOLOGIA PARA O ENSINO DE ÓPTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Curso de Graduação em
Física da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do
Grau de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Paulo José Sena
dos Santos



Florianópolis
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Albuquerque, Kleber Briz

Os Três Momentos Pedagógicos Como Metodologia Para O
Ensino De Óptica / Kleber Briz Albuquerque ; orientador,
Paulo José Sena dos Santos - Florianópolis, SC, 2013.
98 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Físicas e Matemáticas. Graduação em Física.

Inclui referências

1. Física. 2. Física. 3. Óptica. 4. Ensino de Ciências. 5.
Momentos Pedagógicos. I. Santos, Paulo José Sena dos. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Física.
III. Título.

Kleber Briz Albuquerque

OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS COMO METODOLOGIA PARA O ENSINO DE ÓPTICA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Licenciado em Física, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Física,

Florianópolis, 10 de novembro de 2013.

Prof. Celso Yuji Matuo, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Paulo José Sena dos Santos, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Sônia Maria Silva Corrêa de Souza Cruz, Dr.^a
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. José André Peres Angotti, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Este trabalho é dedicado a minha
família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, os agradecimentos, mais que especiais, aos meus pais e irmã. A minha querida mãe, por não duvidar em nenhum momento das minhas escolhas, por arrumar minha bagunça e por aguentar meu mau humor devido à preocupação com as coisas da graduação. Ao meu pai, por me ensinar através de atitudes, ao invés de palavras. Talvez não haja ninguém no mundo que eu admire mais. E a minha irmã Mariane, que eu incomodo, mas é o único jeito que eu sei demonstrar o quanto eu gosto dela.

Aos meus eternos amigos Henry, Leonardo, Alan. Desde os tempos de Ensino Médio compartilharam de momentos importantes e compreenderam cada final de semana que eu deixei de fazer companhia a eles para estudar, mas que apoiaram e fizeram os momentos juntos valerem cada segundo.

Ao Prof. Dr. Paulo José Sena dos Santos por orientar esse trabalho e abraçar a ideia sem duvidar que fosse possível no tempo que tínhamos para escrevê-lo. Não posso esquecer-me de agradecer todas as outras disciplinas da graduação ministradas por ele, as Estruturas e Práticas, que sem dúvidas foram algumas das melhores disciplinas que eu tive nesse período de graduação.

À Gabriela Kaiana Ferreira um agradecimento especial. Nos dois últimos anos, fomos colegas de trabalho e partilhamos de momentos marcantes para nossa formação, mas mais do que isso, acredito que construímos uma amizade que eu vou levar para o resto da vida. Este trabalho não ficaria pronto sem sua ajuda. Infelizmente não podemos oficializar suas contribuições, porém eu e o meu orientador sabemos que esse trabalho não sairia sem sua ajuda. Espero participar de outras produções ao seu lado.

Aos colegas do PIBID nesses quatro longos e bons anos de bolsa, digo que esse período foi essencial para minha formação e para construção de amizades, eu espero que sejam tão duradoras quanto às ótimas lembranças que vou levar dessa experiência. Isso inclui a Prof. Dra. Tatiana da Silva, que coordenou toda essa gente passou pelo programa e contribuiu, também, para nossa formação.

E por último, mas não menos importante, aos professores de Física do colégio ao qual essa pesquisa foi desenvolvida, Alfredo, Reginaldo e Sandra, que permitiram a minha participação em sala de aula e, fora dela, nestes últimos dois anos. Por me acolherem em seu ambiente de trabalho, na mesa, durante os almoços, e nas conversas sobre os mais diversos assuntos, de ensino às besteiras. Sentirei saudade



participar desse grupo de professores de Física, tão cheios de vontade.

“Quando a gente acha que tem todas as respostas,
vem a vida e muda todas as perguntas”
(Luis Fernando Veríssimo)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivos a elaboração de uma proposta didática para o Ensino Médio sobre o conteúdo de óptica na disciplina de Física, pautada na metodologia de ensino dos Três Momentos Pedagógicos, com ênfase na investigação do segundo momento dessa proposta. O estudo de óptica, tradicionalmente, restringe-se aos aspectos geométricos e seus desenhos, desconsiderando assim fenômenos físicos relacionados ao nosso cotidiano. É necessário provocarmos uma mudança na abordagem usual, seguindo parâmetros e diretrizes curriculares mais atuais, para privilegiar o estudo e a explicação de fenômenos cotidianos. Assim, optamos por trabalhar com uma proposta temática em grupos, baseados nos três momentos pedagógicos.

Os cinco temas – olho humano, câmeras fotográficas, fotos/filmes 3D, arco-íris, cor do céu – foram elaborados dentro dessa proposta, de forma a enfatizar os conceitos de óptica já presentes no plano de ensino da disciplina. Durante o primeiro momento, a problematização inicial, apresentamos uma introdução ao conteúdo de óptica, seguida da problematização inicial de cada tema. Para a organização do conhecimento, o segundo momento pedagógico, os alunos elaboraram um material (texto, apresentação e experimento) baseados nas discussões realizadas com o professor a respeito do tema, demonstrando os conceitos físicos envolvidos, sistematizados ao longo dessas duas etapas iniciais. No último momento, a aplicação do conhecimento, ocorre a apresentação do material dos grupos, desenvolvido nas etapas anteriores. Também foi realizada uma discussão com toda a turma, na qual os colegas e professores puderam trazer questionamentos ou informações a respeito do tema, buscando ampliar a compreensão dos conceitos envolvidos. Através da análise dos diálogos, obtidos no segundo momento dessa proposta, foi possível investigar a estratégia, que foi implementada juntamente com a professora do colégio. Verificamos que essa abordagem exigiu dos alunos a busca por novos conhecimentos, a fim de encontrarem explicações adequadas para a problematização inicial. Além do mais, permitiu que os professores problematizassem as situações a cerca dos fenômenos ópticos, apresentadas nos materiais de consulta e trazidas pelos alunos, bem como, que sistematizassem os conceitos necessários para explicar o problema inicial. Todo o processo proporcionou uma excelente oportunidade de aprendizagem por parte dos alunos.

Palavras-chave: Óptica. Ensino de Ciências. Momentos Pedagógicos.



ABSTRACT

This work aimed at developing a didactic proposal for High School on the subject of optical physics guided by the teaching methodology of Three Pedagogical Moments and focusing on the research of the second moment of this proposal. The study of optics is traditionally restricted to the geometrical aspects and their designs, disregarding physical phenomena related to our daily life. Given the need to provoke a change in this approach following newer parameters and curriculum guidelines, emphasizing the study and explanation of everyday phenomena, we chose to work with the proposition of thematic groups, based on these pedagogical moments. The five themes - human eye, cameras, photo / 3D films, rainbow, color of the sky - were drafted into the proposal in order to address the contents of optics already present in the course. For the first time, the initial questioning, we present an introduction to the optics contents and to the main issue of each theme. Then, in the organization of knowledge, the students developed a material (text, presentation and experiment) based on discussions with the teacher on the subject, demonstrating the physical concepts involved, systematized along these two initial steps . At the last moment, the application of knowledge, the groups presented the material developed in the previous steps performed. There was a moment of discussion with the whole class, where colleagues and teachers were able to bring questions or informations about the subject to extend the understanding of the concepts involved. From the analysis of dialogues obtained in the second stage of this proposal, it was possible to analyze the methodology and the developed themes, which were elaborated along with the teacher. We observed that the approach required students to seek new knowledge in order to find suitable explanations for the initial questioning. Besides, teachers allowed questioning situations about the optical phenomena presented in the consultation materials and brought by students, to systematize the necessary content to explain these phenomena. As a result, the strategy provided an excellent learning opportunity for the students.

Keywords: Optics. Science Education. Pedagogical Moments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Espectro Eletromagnético.....	42
Figura 2 – Refração das diferentes cores de luz.....	44
Figura 3 - Olho humano.....	48
Figura 4 - Gráfico de sensibilidade em função comprimento de onda.....	49
Figura 5 - Modelo RGB de cores.....	50
Figura 6 - Trajeto percorrido pela luz em diferentes períodos do dia	52
Figura 7 - Espalhamento Rayleigh e Mie.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Proposta de 2012	28
Tabela 2 - Conceitos e temas	38
Tabela 3 - Cronograma de atividades	63



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PCN – Proposta Curricular Nacional

EM – Ensino Médio

GRF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física

PNLDEM – Programa Nacional do Livro Didático do Ensino Médio

MEC – Ministério da Educação

PIBID – Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência

3MP - Três Momentos Pedagógicos

PNLD – Programa Nacional do Livro Didático

RBG – Red-Blue-Green

CMYK – Cyan-Magenta-Yellow-Black

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
2 APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA	27
3 OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS NA PROPOSTA DIDÁTICA DE ÓPTICA	31
3.1 PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL	32
3.2 ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO	33
3.3 APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO	34
4 CINCO TEMAS DE ÓPTICA: PROPOSTA 2013	37
4.1 CONCEITOS PRINCIPAIS	39
4.1.1 Características/natureza da luz	40
4.1.2 Refração	41
4.1.3 Espectro de luz visível	41
4.1.4 Cores primárias	42
4.1.5 Formação de imagem	43
4.1.6 Dispersão	44
4.1.7 Polarização	45
4.1.8 Espalhamento	45
4.2 DISCUSSÃO DOS TEMAS	46
4.2.1 Olho Humano: o que é necessário para enxergarmos?	46
4.2.2 Cor do céu: quais as cores do céu e do Sol?	51
4.2.3 Câmera Fotográfica: como se formam as fotos?	54
4.2.4 Arco-íris: como se forma o arco- íris?	56
4.2.5 Fotos/filmes em 3D: o que é necessário para vermos uma imagem em 3D?	57
5 APLICAÇÃO DA PROPOSTA	61
5.1 MATERIAL DIDÁTICO: SUGESTÕES DE LEITURAS E EXPERIMENTOS	61
5.2 CRONOGRAMA	62
5.3 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	64
6 METODOLOGIA DE ANÁLISE	67
7 DISCUSSÃO DAS TRANSCRIÇÕES	69

7.1 GRUPO A – OLHO HUMANO	69
7.2 GRUPO B - COR DO CÉU	76
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
REFERÊNCIAS.....	89
APÊNDICE A – Modelo do termo de consentimento livre e esclarecido.....	91
ANEXO A – Modelo do cronograma	93
ANEXO B – Modelo de ficha de avaliação	95
ANEXO C – Modelo de Ficha de Entrega	96
ANEXO D – Lista de materiais didáticos para consulta dos alunos	97
ANEXO E – Lista de experimentos	98

1 INTRODUÇÃO

O ensino de Física, há alguns anos, conta com pesquisas e propostas que buscam modificar os programas e estratégias de ensino dessa área. A Proposta Curricular Nacional (PCN), por exemplo, publicada em 2000, pelo governo, demonstra esse esforço e serve como base para metodologias de ensino mais contextualizadas.

“Os objetivos do Ensino Médio em cada área do conhecimento devem envolver, de forma combinada, o desenvolvimento de conhecimentos práticos, contextualizados, que respondam às necessidades da vida contemporânea, e o desenvolvimento de conhecimentos mais amplos e abstratos, que correspondam a uma cultura geral e a uma visão de mundo.”

(BRASIL, 2000, p. 6)

Existem, dentro dessa perspectiva, livros com abordagens diferentes das tradicionalmente utilizadas no Ensino Médio (EM), como os livros do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF), ou, mesmo os didáticos, os mais recentes, que fazem parte do Programa Nacional do Livro Didático do Ensino Médio (PNLDEM). Esses apresentam, por exemplo, discussões voltadas para história da ciência e ciência e tecnologia.

Há, também, um crescimento na utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação no ensino com: materiais disponíveis na rede - artigos, vídeos, aplicativos e ambientes de ensino e aprendizagem, entre outros. Eles ficam cada vez mais acessíveis. Há sites especializados em divulgação científica, e materiais de apoio para professores, como Física Vivencial ou o Portal do Professor do Ministério da Educação (MEC).

Porém, o EM não apresenta grandes avanços na melhoria do ensino. Talvez, porque boa parte dessas iniciativas acaba ficando no âmbito das teorias, não sendo aplicadas nas escolas, ou ainda, não contando com a participação efetiva de professores que estão em sala de aula no EM.

Algumas propostas do governo buscam mudar esse quadro, um exemplo é o Programa de Iniciação à Docência (PIBID). O PIBID, do qual fiz parte durante um bom período da graduação é uma iniciativa

para inserir graduandos em escolas públicas de forma a fazer com que esses graduandos venham a atuar juntamente com os professores que já participam da realidade escolar. O programa busca estreitar os laços entre a teoria e prática e melhorar a Educação tanto no âmbito escolar, no ensino-aprendizagem, quanto na formação dos profissionais da área.

Aproveitando as mudanças ocorridas no cronograma de conteúdos do colégio no qual atuava, optamos, eu e a professora regente, por trabalhar a Óptica. Conteúdo presente nos programas do EM, mas que não possui uma série preferencial, como outros conteúdos mais tradicionais, Mecânica ou Termodinâmica, que em várias escolas é trabalhado na primeira série, outras na segunda. Há ainda aquelas que trabalham na terceira série do EM, isso quando sobra algum tempo para que essa discussão seja feita, pois várias escolas nem sequer trabalham esse conteúdo.

A óptica ensinada no EM, geralmente, consiste na solução algorítmica de problemas através de um conjunto de regras e definições:

“O objetivo da aprendizagem acaba sendo a medida de ângulos, a memorização de regras e a aplicação de fórmulas e princípios da trigonometria. A luz, nesse contexto, passa quase despercebida, com respeito as suas características e propriedades intrínsecas. Também se fala em construção, formação de imagens, mas o observador não aparece ou não é destacado (...)”

(Gircoreano e Pacca, 2001, p.29)

Porém, a Óptica é mais do que isso, os fenômenos que a constituem vão além de regras e definições. Todos os alunos possuem conhecimentos formados a partir do que já vivenciaram. Segundo GREF (2005, p. 170) “a maior parte das coisas que estão à nossa volta podem ser associadas à luz, à visão e às cores, quando olhamos com essa preocupação.”.

Em vista disso, inicialmente, decidimos propor uma atividade para o conteúdo de Óptica, elaborada juntamente a professora regente da disciplina do colégio cenário dessa pesquisa. Contemplando, por exemplo, aspectos relacionados à visão e aos fenômenos observados no dia a dia. Em seguida, foi feita uma análise da etapa desenvolvida pelos alunos através de registros dos diálogos realizados comigo e com

professora do colégio. A partir dessa análise, verificamos se a proposta que constitui essa pesquisa – a metodologia dos três momentos pedagógicos- é viável, não apenas em termos da sua execução, mas também em termos de ensino e aprendizagem dos alunos.

2 APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA

Até o ano de 2012, a Óptica fazia parte do programa da terceira série do EM no colégio que participa dessa pesquisa, no entanto, era sempre deixado de lado, devido à discussão de outros conteúdos do programa: Eletrostática, Eletrodinâmica, Magnetismo e Eletromagnetismo. A partir desse mesmo ano, em decorrência de algumas alterações realizadas no programa da segunda série do EM, surgiu a possibilidade de mudança nessa organização, incluindo tal conteúdo, mais especificamente no terceiro trimestre do ano letivo.

Devido à quantidade elevada de conceitos e fenômenos que constituem a parte de Óptica e o tempo disponível para tanto (um mês, que representa, nesse colégio, dezesseis aulas), optamos por trabalhar com uma proposta temática desenvolvida em grupos. Os grupos seriam compostos por até cinco alunos e os temas foram pensados de forma a abordar os conteúdos já presentes no plano de ensino da disciplina de Física.

Para que fôssemos ao encontro dos pressupostos teóricos já citados, que ressignificam o ensino da Física, selecionamos temas que tivessem alguma relação com o cotidiano dos alunos ou situações vivenciadas por eles. Isso permitiria a elaboração de questionamentos que norteassem o estudo em cada grupo e, assim viabilizaria a discussão dentro do escopo de cada tema. Então, na primeira aplicação da proposta, realizada em 2012 os cinco temas selecionados foram: espelhos, instrumentos ópticos, arco-íris, cor do céu e olho humano.

Contudo, não houve a oportunidade de discutir e refletir com profundidade a construção da proposta. Decidimos apenas os temas, o delineamento da metodologia da aula e o produto final dessa aprendizagem da Óptica. Então, havia cinco temas que deveriam ser expostos de forma a suscitar questionamentos. Esses questionamentos deveriam ser conduzidos de forma a entender uma questão principal a ser respondida pelo grupo. A partir de um cronograma de atividades, em que os alunos tinham objetivos a cumprir em cada aula, eles eram orientados a autoria de um produto final, esse era constituído de uma apresentação, um resumo para ser entregue aos outros estudantes que não fizessem parte do grupo responsável por aquele tema, além de uma demonstração experimental relacionada aos conceitos a serem explorados e discutidos para que houvesse compreensão do tema por parte de todos os alunos, além do próprio grupo.

Apresentamos a seguir, na Tabela 1, os temas da proposta de 2012, os problemas a serem respondidos pelos grupos e os conceitos explorados em cada um.

Tabela 1 - Proposta de 2012

Temas e grupos	Questões a serem respondidas	Conceitos a serem explorados
Espelhos	O que há dentro do espelho?	Tipos de espelho Reflexão da luz: regular e difusa Superfícies espelhadas Formação de imagens Reflexão total: fibra ótica ¹
Instrumentos ópticos	Como enxergamos objetos a longas distâncias ou de dimensões muito pequenas?	Tipo de lentes Refração nas lentes Tipos de instrumentos: lentes, microscópio, telescópio, câmera fotográfica “Formação” de imagens
Arco-íris	Como se forma o arco-íris no céu? Quais as condições para que ocorra?	Formação do arco-íris Difração Refração da luz na gota d’água Velocidade da luz
Por do Sol e cor do céu	Quais as cores do Sol e do céu?	Propagação da luz no céu Refração da luz no céu Espalhamento do nitrogênio Velocidade da luz
Olho humano	Como se forma a imagem no olho humano? Como e por que enxergamos?	Constituição do olho humano Formação de imagem no olho humano Defeitos da visão Ilusões de ótica

Fonte: Elaborada pelo autor.

¹ Para proposta de 2012, incluímos diversos conceitos que estavam relacionados diretamente ao tema de acordo com o conteúdo do livro didático dos alunos. Um exemplo é a reflexão total. Uma das possibilidades de discussão seria utilizar o experimento de fibra óptica ou reflexão total de um laser em um aquário para discutir mais a fundo a reflexão em si.

A avaliação dos projetos desenvolvidos se deu em duas partes:

(1) Por meio do material produzido por cada grupo (resumo, apresentação e experimento) – quando optamos por utilizar boa parte das aulas do cronograma, para que os grupos pesquisassem, discutissem e produzissem os materiais necessários para a apresentação;

(2) E da apresentação – realizada por cada grupo, de acordo com os seguintes critérios que constavam em uma ficha de avaliação:

- Abordou e respondeu os problemas propostos?
- Explorou adequadamente os conteúdos?
- Realizou e explicou, adequadamente, ao menos uma atividade prática ou experimental?
- A apresentação foi organizada e clara, possibilitando a compreensão do tema?
- Comentários sobre a participação dos membros do grupo.

Após o primeiro encontro obtivemos um aumento de envolvimento e interesse dos alunos por fenômenos físicos e explicações bastante satisfatórias dos modelos e problemas propostos. Tanto ao longo das apresentações quanto na relação com o material produzido. Entretanto, verificamos que a proposta carecia de:

- Um embasamento teórico mais detalhado – Era necessário esmiuçar a elaboração e escolha de uma problematização, ou de problematizações, para cada tema, assim como a definição dos principais conceitos a serem trabalhados por cada grupo, para, assim, explicitar o que se esperar das produções;
- Uma justificativa da escolha de cada tema - Mesmo escolhendo temas presentes no programa de conteúdos de Óptica do colégio, seria necessário justificar os motivos que levaram à escolha específica de cada tema;
- Critérios de avaliação objetivos – Avaliar precisa de uma base. A elaboração de critérios mais objetivos a produção do material desenvolvido pelo grupo, a escolha do experimento e a apresentação final de cada tema precisavam ser refinados e explicitados;
- Um momento de discussão com a turma a respeito dos estudos de Óptica, anterior ao desenvolvimento dos

projetos nos grupos - Nessa primeira aplicação não realizamos uma introdução ao conteúdo, apesar de explorarmos cada um deles nos pequenos grupos. Essa apresentação dos estudos de óptica, termos e conceitos mais comuns ou recorrentes nos temas, poderiam ter contribuído para a produção dos trabalhos.

A partir da consciência desses pontos, para o ano de 2013, reformulamos a proposta. Uma forma de resolver isso foi rever a metodologia e os temas selecionados – excluindo alguns, incluindo outros, e reformulando as problematizações e conteúdos a serem explorados.

Para contemplar as necessidades apontadas, decidimos utilizar como referencial teórico os Três Momentos Pedagógicos (3MP), uma metodologia de ensino dividida em três momentos: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento. A seguir, discutiremos um pouco mais a respeito dos 3MP utilizados como metodologia para reformulação da proposta de ensino de Óptica no ano de 2013.

3 OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS NA PROPOSTA DIDÁTICA DE ÓPTICA

Delizoicov e Angotti desenvolveram, durante o processo de formação de professores na região de Guiné-Bissau, baseada nas ideias de Paulo Freire sobre investigação temática² uma metodologia de ensino. Ela permite, através de um processo dialógico entre o professor e o aluno, que ambas as partes adquiram ao longo desse processo uma compreensão a respeito dos conhecimentos e práticas envolvidos sob o tema proposto. Afinal, temos duas realidades diferentes, com visões de mundo idem. Há uma necessidade de aproximação dessas visões de mundo que, grosso modo, sai do conhecimento leigo para o conhecimento científico.

“(...) o esforço do professor de estar sempre procurando compreender a fala do aluno e do contexto em que esse se situa, se no de sua cultura primeira ou no de conhecimento científico que está sendo introduzido. (...) Essa prática docente constitui, de fato, um desafio ao professor, uma vez que não se trata apenas de informar a existência de diferenças, mas também de ir fornecendo elementos contextuais que tornem possível ao aluno apropriar-se da visão do mundo em que a produção científica está inserida.”

(Delizoicov, Angotti & Pernambuco, 2007, p. 197)

Esse diálogo permite que o professor leve em consideração os conhecimentos que os alunos já possuem sobre o tema ou situação apresentada. Com isso, o conhecimento construído ao longo desse processo passa a ter um significado maior para o aluno, tendo em vista

² “Investigação temática é a pesquisa realizada em conjunto pelo educador e comunidade sobre a realidade que os cerca e a experiência de vida do aluno. Através dela, o professor de Ciências, ou equipe de professores, pode identificar os fenômenos de maior relevância na vida sócio-cultural e econômica da população envolvida” (Delizoicov, 1982, pg. 8)

que ele participa do processo de construção do conhecimento através de seus questionamentos e concepções prévias expostas ao longo do diálogo. Ao mesmo tempo o professor apresenta os conhecimentos científicos a respeito do tema ou situação abordados nesse processo, aprendendo e problematizando a partir dos significados e interpretações dos alunos.

Podemos, portanto, interpretar essa postura questionadora do professor ao longo do diálogo como uma maneira de problematizar, no sentido que permite identificar as concepções prévias, contradições e limitações acerca do tema/conteúdo proposto a partir das falas dos alunos, e, assim, buscar formular problemas, situações ou questões que revelem a necessidade de novos conhecimentos, à que alunos ainda não tenham sido apresentados. Essa é a teoria dos 3MP.

A seguir discutiremos brevemente as etapas dos 3MP - Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento - e como cada momento se apresenta dentro da proposta de Óptica que será aplicada.

3.1 PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL

Nesse primeiro momento do processo de ensino aprendizagem da teoria dos 3MP, basicamente, são apresentadas questões ou situações para serem discutidas com os alunos. É o momento de questionamento do professor dentro do universo temático sugerido.

“A problematização poderá ocorrer pelo menos em dois sentidos. Por um lado, o aluno já poderá ter noções sobre as questões colocadas, fruto da aprendizagem anterior na escola ou fora dela. (...) Por outro lado, a problematização pode permitir que o aluno sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém.”

(Delizoicov e Angotti, 1992, p. 29)

Dentro dessa postura problematizadora, verifica-se os conhecimentos que o aluno pode ter a respeito do tema e procura fazer com que ele sinta necessidade de adquirir novos conhecimentos,

necessários para que seja possível entender ou responder aos questionamentos e a situação inicial proposta pelo professor ou construída em uma investigação temática.

Para a proposta em si, esse momento constitui a etapa em que o professor apresenta os temas e introduz a problematização inicial que norteará as discussões procedentes nas próximas etapas da aprendizagem. Outras questões podem surgir na apresentação e reconhecimento do tema, estando ou não, relacionadas à problematização inicial já delineada no planejamento do professor como essencial.

Em nossa pesquisa, durante a problematização são também apresentadas as primeiras informações a respeito dos estudos da Óptica. O professor ministra uma aula com fenômenos que são estudados na Óptica (Geométrica e Física), introduzindo alguns dos conceitos e termos mais comuns - algumas propriedades da luz e reflexão, por exemplo, fazem parte do universo de informações comuns a todos temas propostos para que a turma trabalhasse o conteúdo.

3.2 ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO

A etapa organização do conhecimento, constitui o segundo momento da teoria 3MP. É quando os estudantes devem sistematizar, juntamente com o professor as questões e conhecimentos relacionados ao tema e à questão ou situação inicial suscitados na primeira etapa, a problematização.

“Os conhecimentos de Física necessários para a compreensão do tema central e da problematização inicial serão sistematicamente estudados neste momento, sob orientação do professor. Definições, conceitos, relações, leis apresentadas (...) serão agora aprofundadas.”

(Delizoicov e Angotti, 1992, p. 29)

É, portanto, o momento em que os conhecimentos científicos passam a ser inseridos nas discussões. Os alunos começam a desenvolver uma compreensão a respeito da problematização ou situação inicial e buscam nos conceitos, na aprendizagem deles a

resposta a tais inquietações intelectuais. Entretanto, para que isso ocorra, há que se ter uma preocupação com os materiais que devem ser consultados e as atividades que devem ser sugeridas para complementar as discussões, no sentido de incentivar e melhorar a sistematização dos conhecimentos, que irá subsidiar a aprendizagem de cada tema dentro dos grupos.

Durante a proposta dos 3MP descrita neste trabalho, a organização do conhecimento foi a etapa em que os alunos tinham que elaborar um texto, produzir uma apresentação e preparar uma demonstração experimental que apresentasse a compreensão do tema respondendo à problematização inicial, através dos conceitos envolvidos no mesmo. Durante a produção, o aluno contou com a ajuda do professor para esclarecer dúvidas, levantar outros questionamentos e orientar a pesquisa. Afinal o professor, na perspectiva da teoria dos 3MP, tem o papel de nortear a pesquisa e construção dos materiais, sugerindo questões que levem os estudantes a conceitos básicos previamente selecionados para a proposta. Além disso, conforme previsto havia solicitação de elaboração de um experimento, cuja seleção, a princípio, ficaria a cargo do grupo. Porém, em caso de dificuldade na escolha, o professor poderia sugerir experimentos para cada tema, pensados a partir de uma pesquisa prévia sobre os temas.

Os conceitos gerais relacionados aos temas, que iremos chamar de conceitos principais, serviram de base para o professor verificar se os alunos estavam cumprindo a discussão esperada dentro de cada tema. Dentre esses conceitos existem aqueles que fazem parte apenas de um determinado tema, e outros que são comuns a diferentes temas. Essa seleção prévia não impediu que outros conceitos, além dos previstos, aparecessem ao longo da discussão e fossem inseridos pelo grupo no material produzido e na apresentação.

3.3 APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO

Na última etapa que constitui a metodologia dos 3MP, os conceitos discutidos e as novas concepções devem ser utilizados para conceber uma resposta às questões ou situações constituídas na primeira etapa, a problematização. Essa última etapa intitula-se aplicação do conhecimento e:

“Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem

sendo incorporado pelo aluno para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinam o seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento.”

(Delizoicov e Angotti, 1992, p. 29)

É o momento em que o aluno deve analisar e interpretar, não apenas aquelas situações ou questões que perfilam o tema, mas também as que não estão diretamente ligadas a ele. Espera-se aqui um olhar crítico dos alunos diante de situações reais, um olhar embasado na formação conceitual que acaba de receber. Dentro da proposta delineada para o presente trabalho, esse é o momento em que ocorre a apresentação do que foi desenvolvido nas duas etapas anteriores: a problematização e organização do conhecimento. O grupo de estudantes socializou o texto elaborado para demais colegas da turma e realizou uma apresentação do seu tema contendo uma demonstração experimental relacionada a ele.

Ocorreu, então, a discussão no grande grupo, os colegas e o professor podiam trazer questionamentos ou informações a respeito do que foi apresentado. Porém, outros fenômenos e questões podiam ser sugeridos para discussão desde que estivessem relacionados ao tema. Buscou-se, assim, ampliar a compreensão dos conceitos envolvidos incluindo uma possível interseção com aos outros temas.

4 CINCO TEMAS DE ÓPTICA: PROPOSTA 2013

Óptica é uma área da Física repleta de fenômenos, rica em conceitos e modelos físicos interessantes para realizar uma discussão abrangente com os alunos e mostrar como se constitui a Ciência. Entretanto, ao se trabalhar esses conteúdos no Ensino Médio, a maior parte dos professores acaba realizando uma abordagem muitas vezes distante de fenômenos observados no cotidiano dos alunos, com representações bastante abstratas, como os estudos da formação de imagens em espelhos e lentes, de forma descontextualizada.

“Quando se estuda Óptica no curso de ensino médio, o enfoque tradicionalmente se restringe ao estudo de aspectos geométricos, baseados nos conceito de raio de luz e a análise das características de alguns elementos específicos, como por exemplo, espelhos, lâminas de faces paralelas, prismas e lentes. (...) Os aspectos concernentes à natureza da luz, sua interação com a matéria e sua ligação com o processo de visão, também são, em geral, desconsiderados”
(Gircoreano & Pacca, 2001, p.27)

Como Gircoreano e Pacca (2001) destacam, o estudo de Óptica acaba se limitando aos aspectos geométricos. A Óptica Física, que estuda os fenômenos relacionados ao aspecto ondulatório da luz e sua interação à matéria, muitas vezes é deixada de lado. A fim de evitar tal abordagem, procuramos selecionar temas para a proposta que, além de possuírem conceitos em comum, possibilitassem a introdução tanto de aspectos da Física Geométrica quanto da Óptica Física.

Para o ano de 2013, decidimos retirar o tema espelhos, abordado na primeira aplicação, substituindo-o por fotos/filmes em 3D. Consideramos que os conceitos trabalhados no tema espelhos, tais como características/natureza da luz e formação de imagens, estão presentes nos demais temas. Esse novo “recorte” permite, além do tratamento dos temas anteriormente citados, a oportunidade de uma discussão sobre polarização. Além disso, pretendíamos introduzir, brevemente, durante a problematização inicial um pouco sobre Óptica Geométrica para os alunos, tais como a reflexão e a propagação de luz.

Outra substituição é a de instrumentos ópticos por câmeras fotográficas. Percebemos na primeira experiência, na proposta de 2012, uma preocupação dos grupos em apresentar os diversos instrumentos Ópticos, ao invés de se aprofundarem nos conceitos gerais que estavam presentes em todos eles como: as lentes e suas associações, que são responsáveis no fundo por permitir a construção e funcionamento de instrumentos com características diferentes. Cabe ressaltar que esse problema pode ter sido fruto da falta de orientação durante a realização da proposta anterior. Para que isso não se repetisse, decidimos focar nas câmeras fotográficas, um instrumento óptico mais acessível aos alunos.

Os demais temas foram mantidos e a proposta atual abordou, portanto, os seguintes temas: (1) olho humano, (2) câmeras fotográficas, (3) fotos/filmes em 3D, (4) arco-íris e (5) cor do céu. Dentro desses temas, identificamos alguns conceitos divididos em oito categorias, denominados conceitos principais, que foram abordados ao longo do projeto: (i) características/natureza da luz, (ii) refração, (iii) espectro da luz visível, (iv) cores primárias, (v) formação de imagens, (vi) dispersão, (vii) polarização e (viii) espalhamento. As relações entre os temas de (1) a (5) e conceitos principais de (i) a (viii) estão esquematizados na Tabela 2.

Tabela 2 - Conceitos e temas

Conceito	(1) Olho Humano	(2) Câmeras fotográficas	(3) Arco-íris	(4) Fotos/filmes em 3D	(5) Cor do céu
(i) Características/natureza da luz	X	X	X	X	X
(ii) Refração	X	X	X		X
(iii) Espectro de luz visível	X	X	X		X
(iv) Cores primárias	X	X			
(v) Formação de imagens	X	X		X	
(vi) Dispersão			X		
(vii) Polarização				X	
(viii) Espalhamento					X

Fonte: Elaborada pelo autor.

A ordem dos temas apresentada na Tabela 2, também foi a ordem sugerida para apresentação dos grupos, com isso, um conceito que é trabalhado por mais de um grupo é apresentado em fenômenos diferentes, possibilitando uma interpretação de forma mais ampla e aprofundada. Além disso, houve a introdução de conceitos novos, de forma gradativa, alguns deles relacionados à Óptica Física. Como foi o caso do da polarização no tema de fotos/filmes em 3D e do espalhamento no tema cor do céu.

A seguir, apresentamos os conceitos principais e uma discussão a respeito dos temas selecionados. Em especial, detalharemos dois temas na seção 4.2, olho humano (4.2.1) e cor do céu (4.2.2), que serão objetos de análise deste trabalho. O primeiro selecionado por apresentar boa parte dos conceitos selecionados que também são comuns a outros temas. O segundo, por conter os aspectos mais gerais e a necessidade de um tratamento ondulatório para a luz. Em seguida, na mesma seção, discutiremos, brevemente, os demais temas - câmeras fotográficas, arco-íris e fotos/filmes em 3D.

Ao longo da discussão, evidenciamos as justificativas para a seleção dos temas, acompanhado da problematização inicial e outras questões que podiam aparecer ao longo do diálogo com os grupos. Antes de introduzirmos os temas, explicitaremos os conceitos principais que envolveram cada tema (4.1). E mais adiante, discutiremos detalhes, tais como as sugestões para a aplicação, o cronograma de atividades e os critérios de avaliação relacionados ao material que seriam produzidos pelos alunos - o experimento, a produção textual e a apresentação. Cabe ressaltar que essa discussão será realizada com objetivo de criar subsídios para análise dos resultados obtidos em sala de aula.

4.1 CONCEITOS PRINCIPAIS

Dentro dos estudos de Óptica, assim como qualquer outra área de ensino da Física, existem conteúdos que fazem parte dos programas escolares ou dos livros didáticos utilizados pelas escolas e professores do EM. Sendo assim, tomamos como base para identificar e classificar os temas, os livros didáticos do PNL D 2012 e o programa da disciplina de Física do colégio cenário desta pesquisa.

Como já apresentamos ao longo da discussão e na Tabela 2, identificamos oito conceitos, aos quais esperávamos que os alunos discutissem para que o tema, as questões e o experimento pudessem ser compreendidos. Eles também serviram como base para analisarmos e avaliarmos como foi a elaboração do trabalho de cada grupo.

Os conceitos selecionados para essa análise foram os considerados mais relevantes pelos professores envolvidos na proposta. Eles permitiam a compreensão de uma grande variedade de fenômenos, além daqueles destacados na proposta, surgidos com o planejamento prévio. É preciso destacar que os materiais didáticos encontrados para serem disponibilizados aos alunos apresentavam esses como os conceitos para os temas e a análise iam ao encontro do tempo disponível para elaboração deste trabalho de conclusão de curso.

Para esclarecer como eles podem ser inseridos dentro de cada tema, a seguir iremos apresentar os oito conceitos selecionados para análise – características/natureza da luz, refração, espectro da luz visível, cores primárias, formação de imagens, dispersão, polarização e espalhamento - e as suas respectivas relações com os temas. Esperávamos que eles aparecessem ao longo do diálogo com os alunos e no momento da produção do material, atividade final de cada grupo. Definimos alguns aspectos que consideramos importantes e que expressam se o conceito foi estudado. Neste caso não é necessário que eles apareçam como uma definição, ou equação pronta ao longo da apresentação ou material desenvolvido, eles podem estar inseridos ao longo das discussões realizadas com os grupos e no material elaborado.

4.1.1 Características/natureza da luz

A luz é indispensável em qualquer fenômeno óptico, portanto, é importante que em todos os temas ela, os aspectos que a conceituam, estivessem caracterizadas corretamente: como as mais básicas – comprimento de onda, frequência e velocidade – e outros aspectos sobre sua natureza que devem ser comentados, para que os fenômenos possam ser analisados na perspectiva da óptica geométrica ou óptica física.

As características e a natureza da luz estão intimamente ligadas determinou que trabalhássemos como se esse fosse apenas um conceito na hora de realizar a análise. Não foi fácil, também, separar as características da luz dos demais conceitos, pois são essas características que irão definir como os fenômenos são observados e irão ocorrer.

Sendo assim, estabelecemos algumas condições para que a discussão sobre a luz e suas características fossem contempladas na fala e no material produzido pelos alunos:

- a) Apresentação das características básicas que definem a luz (comprimento de onda, frequência e velocidade);

- b) Apresentação do papel da luz nos fenômenos, que pode ser expressa através dos conceitos preestabelecidos, como reflexão e refração;
- c) Apresentação da natureza da luz no fenômeno, se o mesmo é estudado do ponto de vista da óptica geométrica (luz representado como raios luminosos) ou da óptica física (luz representada como onda).

4.1.2 Refração

A refração, além de ser o fenômeno definido como a mudança de velocidade da propagação da luz devido à troca de meio, como por exemplo, a passagem da luz do espaço para a atmosfera ou do ar para o olho, esse conceito está interligado ao conteúdo de lentes.

A troca de meio acarreta uma mudança de velocidade da propagação da luz, que pode resultar na mudança da sua trajetória³. Vale lembrar, que se a luz incide perpendicularmente na interface do meio, não há desvio, mas ocorre mudança de velocidade de propagação da luz da mesma forma. No caso das lentes, elas possuem o objetivo de utilizar esse desvio para formar a imagem em algum ponto desejado.

Sendo assim, para esse conceito esperávamos que os grupos contemplassem os seguintes aspectos em sua abordagem:

- a) Apresentação do conceito de refração com enfoque na descrição do fenômeno;
- b) Apresentação da importância da troca do meio para que o fenômeno ocorra;
- c) Descrição dos tipos de lentes e suas características.

4.1.3 Espectro de luz visível

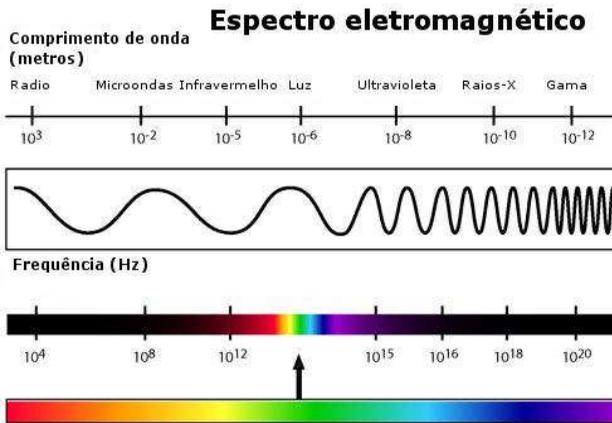
³ Do ponto de vista da óptica geométrica. No caso da óptica física ocorre uma mudança no comprimento de onda da luz, mas a sua frequência permanece a mesma, conseqüentemente tem-se uma mudança em sua velocidade. Deste modo, pode-se entender porque na incidência normal ocorre uma mudança na velocidade de propagação sem uma mudança na trajetória do raio.

Há um fenômeno óptico, que chamamos espectro de luz visível (Figura 1). Ele corresponde a uma forma muito prática de relacionar as características da luz (comprimento de onda e frequência) às cores.

Para ele, esperávamos que os seguintes aspectos contemplados:

- Relação entre as características da luz (comprimento de onda e frequência) e o espectro da luz visível;
- Evidenciação das características da luz e suas cores, incluindo a cor branca (todos os comprimentos de onda juntos) e a cor preta (a ausência dos comprimentos de onda);
- Menção de outros tipos de ondas eletromagnéticas, além da luz (Figura 1).

Figura 1 – Espectro Eletromagnético



Disponível em: <<http://hertzianosfq.webnode.pt/introdu%C3%A7%C3%A3o-teorica/radia%C3%A7%C3%B5es/>>. Acesso em: 28 de Jan de 2014.

4.1.4 Cores primárias

O espectro eletromagnético é composto pela luz branca dividida em uma infinidade de cores dispostas em uma faixa de frequências que chamamos de região do visível. Essa é a região do espectro eletromagnético que nós, seres humanos, podemos observar através dos olhos.

Entretanto, podemos entender as cores que enxergamos através de modelo de cores no qual consideramos que as cores são formadas pela combinação de três cores primárias, geralmente do sistema RGB (vermelho, verde e azul). Existem outros modelos para explicar a formação de cores que também poderia surgir na discussão com os alunos, como o sistema de cores RYB (vermelho, amarelo e azul) ou CMYK (ciano, magenta, amarelo e preto).

Nesse conceito esperávamos, portanto, a abordagem dos seguintes aspectos :

- a) Discussão da formação das cores através das cores primárias do sistema RGB;
- b) Relação do modelo RGB com o que é observado ou captado, em outras palavras, a relação com a nossa visão ou com as imagens produzidas por um câmera;
- c) Menção da existência de outros modelos para explicar a formação das cores.

4.1.5 Formação de imagem

A formação da imagem está interligada com a propagação da luz na Óptica Geométrica. Para entendermos como as imagens são formadas, representamos alguns dos raios provenientes do objeto iluminado, os chamados raios principais. Esses raios descrevem a trajetória da luz e revelam se ao longo desse trajeto houve algum tipo de desvio, o que indica se a luz sofreu, por exemplo, reflexão ou refração.

Quando a luz é focalizada em certa região do espaço, como ocorre em um anteparo, podemos saber por meio da representação de raios que tipo de imagem será formada a partir de sua configuração. Como, por exemplo, a natureza da imagem, real ou virtual, o tamanho da imagem, que pode estar aumentada ou diminuída, e a orientação, que pode ser invertida ou direita – dependendo da posição que o objeto estiver com relação a um espelho ou lente sobre qual a luz irá incidir.

Esperávamos que os grupos discutissem, portanto:

- a) A formação da imagem, bem como suas características;
- b) Representação dos raios principais ao longo dos processos envolvidos;
- c) Apresentação de condições para formação de diferentes tipos da imagem.

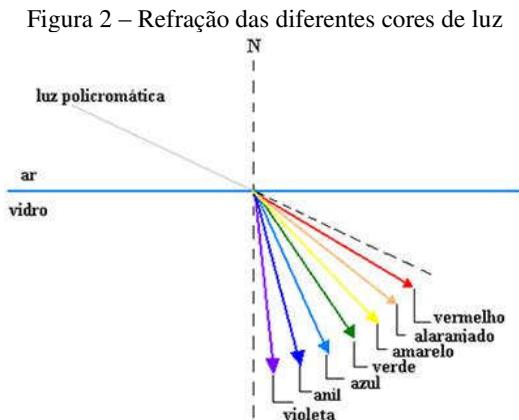
4.1.6 Dispersão

A separação da cor branca em diversas cores ocorre devido à troca de meio, como a passagem da luz branca pela água ou por um prisma, é o que chamamos de dispersão. Ela ocorre, pois os comprimentos de onda da luz têm índices de refração diferente para um mesmo meio (Figura 2). Como a frequência da luz depende apenas da fonte, ela se mantém constante ao longo do processo. Entretanto, quando a luz muda de meio ocorre a refração. Essa faz com que cada comprimento de onda que compõe a luz sofra um desvio diferente devido à mudança de velocidade proveniente da troca de meio.

Esse é um conceito que pode ser discutido em outros temas sugeridos na proposta, porém consideramos que ele seja mais relevante para o tema arco-íris, logo, ele aparece apenas nesse.

Esperávamos que os grupos apresentassem os seguintes aspectos:

- Explicação da dependência da velocidade com o comprimento de onda de acordo com o meio em que a luz se encontra;
- Menção da possibilidade de juntar novamente a luz dispersa para formar a luz branca;
- Relação com os conceitos já discutidos, como a refração, as características da luz e o espectro eletromagnético.



Disponível em: <<http://www.alunosonline.com.br/fisica/dispersao-luz.html>>.

Acesso em: 28 de Jan de 2013.

4.1.7 Polarização

Para o novo tema da proposta, filmes/fotos em 3D, temos a discussão do conceito de polarização. Esse é um fenômeno que acontece com as ondas transversais, ondas que tem o sentido de vibração perpendicular ao sentido de propagação. Sendo a luz uma onda transversal podemos observar esse efeito nela, e é através dessa polarização que podemos reproduzir o efeito tridimensional. Para isso quando na reprodução de um filme, por exemplo, conta-se com a sobreposição de duas imagens, cada uma com uma polarização adequada para uma das lentes dos óculos 3D. Portanto, ao observarmos a imagem com esses óculos, estaremos vendo duas imagens, uma para cada olho e, assim, poderemos observar o efeito tridimensional.

Era de se esperar que o grupo responsável por esse tópico realizasse uma:

- a) Evidenciação da natureza ondulatória da luz neste fenômeno;
- b) Apresentação da luz como uma onda transversal que pode ser polarizada;
- c) Relação da polarização e a formação da imagem em 3D.

4.1.8 Espalhamento

Por último, temos a discussão de mais um fenômeno: o espalhamento relacionado ao tema cor do céu. Com esse fenômeno podemos explicar a cor predominante ao longo do dia, de acordo com o ângulo na qual a luz incide ou é observada. Ele ocorre devido à incidência de luz nas partículas que compõem a atmosfera, especificamente nas partículas dos gases de oxigênio e nitrogênio que são mais abundantes na atmosfera, e irão absorver e reemitir essa radiação.

Esperava se que fossem contemplados pelo grupo responsável pelo espalhamento os seguintes aspectos:

- a) Apresentação das características/natureza da luz relacionadas ao fenômeno;
- b) Evidenciação da dependência do efeito com a partícula na qual a luz incide;

- c) Apresentação dos espalhamentos Mie e Rayleigh, assim como suas características.

Após discutir todos os aspectos relacionados a cada conceito principal, apresentamos a seguir os temas com suas respectivas justificativas e questionamentos, que também servirão de análise da proposta de ensino.

4.2 DISCUSSÃO DOS TEMAS

Faremos agora uma discussão a respeito dos cinco temas escolhidos para a proposta de 2013, elencando possíveis questões e relacionando aos conceitos apresentados na seção anterior. Detalharemos os temas olho humano, cor do céu que serão os objetos de análise deste trabalho. Apesar desses dois temas aparecerem antes dos demais, manteremos a numeração da Tabela 2 como referência para denotar a questão principal e as outras questões sobre ele. Por exemplo, para o tema cor do céu, a questão principal será referenciada por Q5 e as outras questões por Q5a, Q5b, assim por diante.

4.2.1 Olho Humano: o que é necessário para enxergarmos?

Existem diversas concepções espontâneas⁴ a respeito da luz e da visão conhecidas na literatura.

“A visibilidade da luz, independente do meio, é uma concepção detectada em várias pesquisas realizadas. Os alunos consideram que a luz pode ser observada sem que esteja incidindo nos olhos do observador. Não consideram que a luz é refletida em várias direções por partículas suspensas no ar.

⁴ São concepções que os alunos desenvolvem espontaneamente a respeito de conceitos físicos, conhecimentos informais que podem ser confrontados pelos professores com o objetivo de criar um conflito cognitivo. Nessa perspectiva é considerada a bagagem cultural do aluno. O conhecimento adquirido na escola não deve abandonar o conhecimento que o aluno já possui, mas sim incorporá-lo e permitir a superação de algumas de suas limitações. Dessa forma o aluno adquire uma compressão mais geral do conteúdo científico.

Provavelmente, tal concepção surja de forma natural no cotidiano, quando a experiência diária não oferece a propagação no espaço livre.”

(Almeida, Cruz e Soave, 2007, p.13)

“A luz é entendida como um fluido estático, que ocupa todo o espaço, envolvendo os objetos, mergulhados nesse meio, permitindo que sejam vistos pelo observador, sem haver relação alguma entre o olho do observador e a luz que chega nele.”

(Almeida, Cruz e Soave, 2007, p.15)

“Na concepção espontânea, ‘raio visual’ constitui um conceito fundamental para explicar a visão: a luz vai do olho até o objeto para captá-lo visualmente; a visão não depende da existência de luz; objetos com cores claras podem ser vistos independentemente de haver luz no ambiente; cores claras prevalecem sobre as escuras.”

(Gircoreano e Pacca, 2001, p.28)

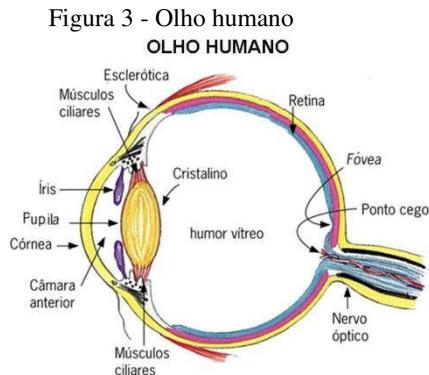
Em vista dessas e outras concepções espontâneas relacionadas à visão e a luz, escolhemos abordar como um dos temas do projeto o olho humano. Buscamos despertar no grupo, e na turma posteriormente, uma discussão sobre o funcionamento da visão e trazer à tona essas concepções para serem debatidas ao longo das apresentações.

A partir dessa ideia, surgiu a problematização inicial, “o que é necessário para enxergarmos?” (Q1), pergunta que tinha como objetivo incentivar o grupo a discutir e pensar sobre o funcionamento da visão, quais as condições necessárias e, posteriormente, o papel dos fenômenos físicos nesse processo. Outras perguntas poderiam surgir ao longo do diálogo:

- Q1a. Qual o papel do olho no processo de visão e das estruturas que o compõem?
- Q1b. Como se forma a imagem do olho?
- Q1c. Como observamos as diferentes cores?

- Q1d. Quais são e o que causa os defeitos da visão?

Para Q1a o grupo deveria destacar o papel do olho humano no processo da visão, afinal é nos olhos que a luz incide e interage para mais tarde ser interpretada pelo cérebro. Além disso, é importante que os alunos apresentem as estruturas principais do olho humano – córnea, íris, pupila, humor aquoso, humor vítreo, retina, músculos ciliares e nervo óptico (Figura 3) – assim como as suas respectivas funções. Afinal a luz proveniente do objeto chega aos olhos e passa por meios diferentes (córnea, cristalino, humor aquoso e humor vítreo), refratando. É possível, também, que ao comentarem sobre o cristalino, ele seja comparado a uma lente, ampliando-se a discussão e contemplando mais uma característica da refração.



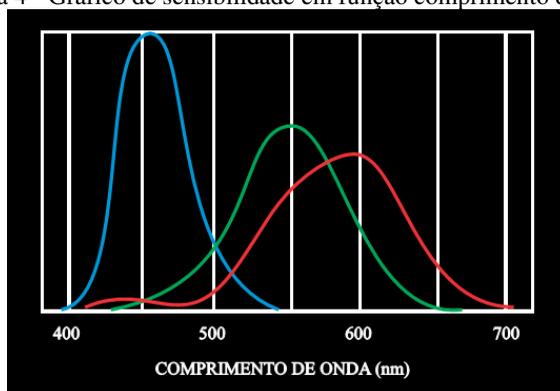
Disponível em :< <http://www.pascal.com.br/ponto-cego>> Acesso: 20 de Jan de 2014

A questão Q1b está relacionada com a formação da imagem no olho. Se traçarmos os raios principais de um objeto para formarmos a imagem na retina, verificamos que essa imagem será invertida. A partir disso, é possível discutir sobre a captação da luz – através do composto químico (rodopsina) que transforma a luz em impulsos elétricos – como, também, a interpretação da imagem pelo cérebro que recebe essa informação pelo nervo óptico.

O grupo que recebeu o tema olho humano deveria discutir como é formada a imagem na retina, apresentando como ocorre a propagação dos raios que a formam e que tipo de imagem é projetado na retina. Neste caso uma imagem real, menor e invertida.

Também relacionado à captação da luz pelo olho, temos a questão Q3c, seu foco é o interesse as cores. O grupo deveria apresentar as células responsáveis por captar a luz, cones e bastonetes, em especial os cones que são os receptores de luz colorida. Cada cone é associado a uma das cores primárias (azul, verde e vermelho), porém a recepção não está apenas restrita a uma cor, sua sensibilidade é variável, tendo um pico mais próximo à cor primária correspondente (Figura 4).

Figura 4 - Gráfico de sensibilidade em função comprimento de onda



Fonte: BRASIL, 2011.

Nessa questão temos três conceitos envolvidos: características/natureza da luz, espectro da luz visível e cores primárias. Para que o grupo compreendesse como o olho interpreta as cores, era necessário que eles considerassem a luz como onda composta por uma infinidade de comprimentos que compõem o espectro da luz visível, na qual cada cor é representada por um comprimento de onda diferente. A combinação desses comprimentos resulta na formação das cores. Para interpretar a formação das cores, geralmente, é utilizado o modelo de cores primárias RGB, já que os cones, células receptoras da luz, são classificados de acordo com a sensibilidade a cada uma das cores primárias azul, verde e vermelho.

No modelo RGB, o vermelho, o verde e o azul podem ser combinados em proporções diferentes para formar as cores que podemos observar. A ideia principal pode ser entendida pela combinação dessas três cores para, assim, formarem cores secundárias. A combinação de vermelho e verde forma a cor amarela, a do vermelho e azul, forma o magenta e o verde com azul forma o ciano. Além disso,

a combinação das três cores forma o branco. Esse processo é o que chamamos de processo aditivo de cores (Figura 5).

Figura 5 - Modelo RGB de cores



Disponível em: <<http://artigosdefotografia.blogspot.com.br/2013/01/modos-de-cor-na-fotografia-digital-rgb.html>>. Acesso: 24 de Nov de 2013.

Por último, a questão Q1d remeta à discussão dos defeitos de visão, tendo como principais defeitos: miopia, hipermetropia e astigmatismo. Esses defeitos estão relacionados a uma má formação do globo ocular, da córnea ou do cristalino. O grupo poderia discutir então, qual a região do olho é o local em que se formam as imagens de cada um desses defeitos de visão. Além desse enfoque seria necessário expor o que poderia ser feito para correção de cada um desses problemas. No caso, qual lente é adequada e o motivo pela escolha dessa lente, ou seja, para abordar os defeitos associados à formação da imagem na retina, era necessário discutir aspectos dos conceitos de refração e formação de imagem.

Outro defeito de visão que poderia ser trabalhado pelos grupos, não é relacionado às lentes, mas às cores, é o Daltonismo. Devido a uma predisposição genética, é possível que uma pessoa não tenha o funcionamento adequado de uma ou duas das células receptoras de cores- os cones-resultando na modificação da interpretação das cores observadas por essa pessoa. Caso o grupo abordasse o Daltonismo, a discussão das cores primárias poderia surgir quando questionassem

sobre defeitos de visão ou quando falassem sobre como enxergamos as cores.

Além disso, esse tema se relaciona estreitamente com o das máquinas fotográficas, tendo em vista que ambos possuem os mesmos conceitos principais (Tabela 2). Através dessa relação, é possível fazer um paralelo entre o funcionamento do olho humano e da máquina fotográfica, aproveitando as semelhanças para ampliar a compreensão sobre os temas estudados. Contudo, cada tema é único, pois apresenta questões próprias. O olho humano, por exemplo, apresenta conteúdos relacionados à explicações da área da Biologia e que influenciam na captação da luz, na formação da imagem na retina, ou mesmo na questão dos defeitos de visão.

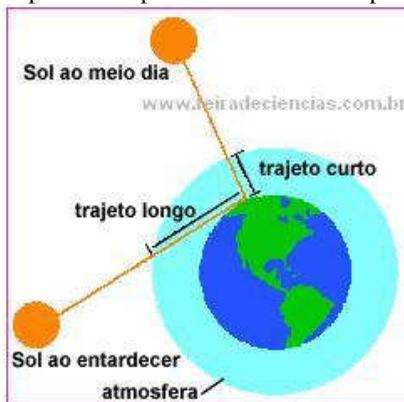
4.2.2 Cor do céu: quais as cores do céu e do Sol?

Não é difícil ouvir a pergunta: por que o céu é azul ou, pelo menos, ter observado pessoas a apreciar a beleza de um por do sol e sua riqueza de cores. Portanto, a problematização inicial, “quais as cores do céu e do Sol?” (Q5), chama a atenção para o fato de o céu e o Sol apresentarem cores diferentes ao longo do dia. Com isso poderiam aparecer, dentro da discussão do grupo a que foi designado tal tema ,outras questões como:

- Q5a. O que faz o pôr do Sol ter uma cor diferente do céu azul observado durante o dia?
- Q5b. Por que o céu tem uma coloração diferente quando observado em direções mais próximas ao Sol?
- Q5c. A visão tem um papel na observação das cores do céu?
- Q5d. Seria possível ter um céu de outras cores, durante o dia, além da cor observada?

Essas perguntas podem surgir por estarem relacionadas às condições que influenciam na cor do céu. A Q5a chama atenção para os possíveis motivos para o céu e Sol terem cores diferentes durante o dia. Isso acontece devido ao fato de que, em horários diferentes do dia – durante o amanhecer, ao anoitecer e ao longo do dia – o Sol está em posições diferentes com relação a um observador fixo na Terra. Isso pode ser observado, por exemplo na mesma cidade, nesses diferentes momentos (Figura 6). Os conceitos de características/natureza da luz e espalhamento são contemplados nessa questão.

Figura 6 - Trajeto percorrido pela luz em diferentes períodos do dia



Disponível em: <[http://fisicacom32.webnode.com.br/por-que-o-ceu-e-azul/-/](http://fisicacom32.webnode.com.br/por-que-o-ceu-e-azul/)>
Acesso: 20 de Jan de 2014

Ao perceberem o papel da atmosfera na coloração do céu, o grupo passará a discutir o espalhamento. Nesse fenômeno, a intensidade da luz espalhada depende do inverso da quarta potência do comprimento de onda da luz incidente ($I \propto 1/\lambda^4$) e das partículas que compõem a atmosfera, no caso da Terra os gases mais abundantes são o nitrogênio e o oxigênio. Esse tipo de espalhamento é conhecido como espalhamento Rayleigh. Essa dependência faz com que a cor azul predomine durante o dia por ter um dos menores comprimentos de onda, junto ao violeta, quando comparado às demais cores⁵.

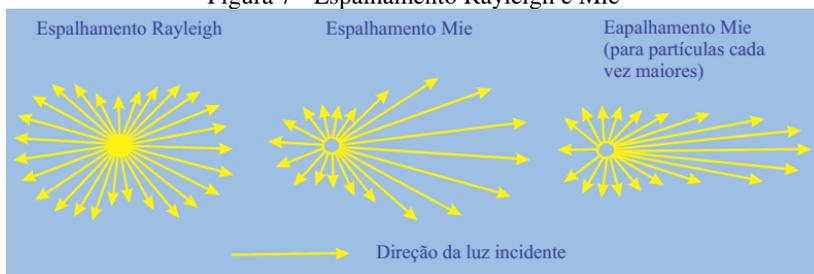
O tamanho das partículas presentes na atmosfera irá contribuir para a cor do Sol e do céu também, mas nesse item consideramos o espalhamento Mie como o mais adequado para explicar o fenômeno, conceito também interligado com questão Q5b. Para diferenciar esses espalhamentos deve estar claro o que é comprimento de onda e como ele irá influenciar nos diferentes espalhamentos. O tamanho do comprimento de onda e o tamanho da partícula combinados com o trajeto de propagação da luz, durante o dia ou durante por do Sol, é que definem qual espalhamento irá prevalecer.

No caso do espalhamento Mie, não há dependência com o comprimento de onda incidente, mas sim com o tamanho da partícula.

⁵ Fazendo a razão entre a intensidade de espalhamento da luz azul (400 nm) com a luz vermelha (700 nm), que são ficam nos extremos do espectro eletromagnético da luz visível, veremos que a intensidade espalhada da luz azul é cerca de 9,4 vezes maior que vermelha. (BRASIL, 2011)

Se a partícula for maior que $1/10$ do comprimento de onda, maior será a intensidade da luz espalhada na direção incidente. Por causa desse espalhamento, o céu observado em direções mais próximas ao Sol adquire uma cor mais clara se aproximando do branco, pois o espalhamento na mesma direção de incidência da luz é maior do que para outros ângulos. Ou seja, a luz praticamente não sofre espalhamento. Dessa forma, na maior parte do dia, o próprio Sol possui uma coloração branca ou amarelada (Figura 7). Com isso, as discussões de espalhamento, refração e características/natureza da luz podem ser aprofundadas.

Figura 7 - Espalhamento Rayleigh e Mie



Fonte: BRASIL, 2011.

Para a questão Q5c existem dois aspectos que poderiam ser destacados. Primeiro a posição do observador com relação ao Sol. Como comentado na Q1a, de acordo com a posição relativa entre o Sol e o observador, a luz do Sol irá percorrer um trajeto menor ou maior até chegar aos nossos olhos, ou seja, um dos dois tipos de espalhamentos pode prevalecer. Ao longo dessa discussão poderia surgir, também, a questão da propagação da luz no espaço⁶ e a refração da mesma ao incidir na atmosfera⁷.

O segundo aspecto de Q5c, permite trabalhar sobre outra perspectiva as características/natureza da luz, é a própria visão e como nossos olhos percebem as cores. Essa é a discussão do grupo do tema olho humano. Nossos olhos possuem células responsáveis por captar e distinguir as cores, os cones. A luz proveniente do espalhamento é mais intensa para os comprimentos de onda menores, no caso, as cores

⁶ A propagação da luz no espaço, onde não há matéria, ocorre devido à luz ser uma onda eletromagnética que se propaga nos campos elétricos e magnéticos.

⁷ A luz incidente do Sol ao chegar à atmosfera sofre refração, sendo assim, o Sol observado é uma imagem em uma posição aparente.

violeta e azul. Entretanto observamos o céu azul, pois o espectro da luz emitido pelo Sol não é constante, sendo mais intenso para a luz azul, e os receptores da cor azul são mais sensíveis aos comprimentos mais próximos do azul do que do violeta (Figura 4). Sendo assim, apesar dos comprimentos de onda da luz violeta serem menores e espalharem mais, o azul predomina devido a sua maior intensidade e a percepção dos cones do olho humano para os comprimentos próximos a essa cor.

Por último, a questão Q5d inclui o que foi discutido nas questões anteriores, inclusive o que foi trabalhado sobre os conceitos, e demonstra se o grupo compreendeu quais são as condições que influenciam nas cores do céu e do Sol. É possível que essa questão aparecesse, caso o grupo encontrasse informações a respeito da cor do céu em outros planetas, como Marte⁸. Além disso, a discussão das mudanças das condições poderia fornecer a resposta para a cor do céu durante a noite e, também, porque o espaço é negro⁹.

Apesar de necessitar de conceitos, que até então não teriam sido apresentados pelos grupos, explicar o fenômeno das cores do céu e do Sol seria um exercício interessante. A expectativa é que com esse tema o grupo visse a necessidade de estabelecer critérios para que o fenômeno ocorresse, definindo, por exemplo, a função da atmosfera ou dos comprimentos de onda/frequências, com maior intensidade no espalhamento, para que a cor azul, ou alaranjada, predomine. Além disso, esse tema tem um papel importante na discussão no grande grupo, pois é possível discutir o papel da visão na observação desse fenômeno, retomando o que já teria sido trabalhado no tema olho humano, e a decomposição da luz em termos de comprimentos de onda ou frequência, com discussão prevista no tema arco-íris.

4.2.3 Câmera Fotográfica: como se formam as fotos?

Em geral, os livros apresentam uma seção chamada de “Instrumentos ópticos”, utilizada inclusive como inspiração para

⁸ A atmosfera de Marte é composta em sua maior parte por dióxido de carbono e as partículas de poeira, compostas por dióxido de ferro. Elas modificam as cores que irão prevalecer no céu, neste caso, tons de cinza e alaranjado, tendo o por do Sol o azulado.

⁹ Em ambos os casos não há espalhamento da luz. Durante a noite, apesar de termos partículas, a atmosfera não recebe luz do Sol, pois nessa condição a luz incide apenas no lado oposto do planeta. No caso do espaço, a luz se propaga sem que haja partículas para ocorrer o espalhamento.

compor um dos cinco temas que utilizamos dentro da proposta realizada em 2012. Porém, percebemos nessa primeira aplicação da proposta que os grupos tiveram dificuldade em tratar desse assunto, devido à grande quantidade de instrumentos ópticos contemplados nas seções dos livros didáticos ou nas pesquisas relacionadas ao assunto na Internet. Sendo assim, decidimos por escolher um desses instrumentos para compor o quadro de temas na reformulação para a proposta de 2013.

Limitamos o tema a apenas a um instrumento, esperávamos que os grupos se dedicassem a entender como funciona um instrumento óptico: a câmera fotográfica. Como problematização principal apresentada com mais tranquilidade e objetividade, decidimos pela câmera fotográfica, por ser um dispositivo de fácil acesso atualmente. Modelos não muito sofisticados de celular, por exemplo, apresentam câmeras com qualidade razoavelmente boa.

“O que diferencia um tipo ou modelo de máquina fotográfica de outra é a sofisticação ou a simplicidade com que desempenham a função básica: fazer com que a luz proveniente do objeto ou cena que se deseja fotografar atinja o filme, formando nele uma imagem.”

(GREF, 2005, p.178)

Tendo em vista a função básica das câmeras fotográficas, teremos como problematização principal “como se formam as fotos?” (Q2). Essa pergunta deveria instigar os alunos a pensar sobre os processos envolvidos na formação da imagem, desde a captação da luz, proveniente ou não do flash, até a formação da foto, polaroide, impressa ou digital. Ao longo do diálogo, as outras questões que podiam aparecer eram:

- Q2a. Quais os componentes de uma câmera fotográfica e suas funções?
- Q2b. Como se forma a imagem na câmera fotográfica?
- Q2c. O que diferencia uma câmera analógica de uma digital?
- Q2d. Qual o papel das múltiplas lentes em uma câmera?
- Q2e. Existe uma relação entre as câmeras fotográficas e outros instrumentos ópticos?

Assim como o olho humano, as perguntas que podem surgir ao longo do diálogo, trazem tanto o papel do instrumento quanto da luz na formação da foto. Elencar as principais partes desse instrumento óptico, também, pode trazer à tona os conceitos o tema.

As lentes têm tanto o papel de refratar a luz para formação da imagem, quanto o papel de aumentar a imagem que queremos observar, neste caso, a associação de lentes da câmara. O filme, ou o CCD¹⁰ no caso das câmeras digitais, absorvem a luz por diversos processos dentro da câmara para formar a foto, e nessa absorção teremos a formação das cores. A partir desses exemplos, identificamos a refração, a formação de imagem e as cores primárias.

A última pergunta, inclusive, podia sugerir questões em torno de como microscópios e telescópios funcionam, ou mesmo outros instrumentos ópticos, abrangendo assim, se o grupo considerasse necessário, a discussão de outros instrumentos ópticos. Afinal, eles basicamente possuem o mesmo princípio de funcionamento: a associação de lentes.

Como já mencionado, a relação entre esse tema e o olho humano, permite a retomada dos conceitos discutidos no outro tema sobre outra perspectiva. Suas diferenças proporcionam novas discussões, dentre elas a relação da interação da luz com a matéria, necessária para entender a formação das fotos polaroides ou digitais.

4.2.4 Arco-íris: como se forma o arco-íris?

O arco-íris é um dos fenômenos ópticos mais conhecidos, logo, escolhemos este como um dos temas para a proposta. Para que ele ocorra, algumas condições são necessárias, dentre elas temos as meteorológicas apropriadas e a posição adequada para visualização.

“Já percebeu que um arco-íris aparece sempre depois de chover? Observou também, que esse arco se forma sempre numa posição oposta à do Sol. Por isso, é mais comum vê-lo de manhãzinha ou no final da tarde. Você também já deve ter notado que as cores dele são as mesmas que vemos através do prisma!”

(Figueiredo e Pietrocola, 2000, p.24)

¹⁰ Charged Coupled-Device – Dispositivo de carga acoplada

Pensando nessas condições e características, a problematização inicial, “como se forma o arco-íris no céu?” (Q3), parece ser adequada o suficiente para despertar questionamentos que levem a essas condições. As outras questões que podem surgir são:

- Q3a. Por que, geralmente, o arco-íris se forma depois da chuva?
- Q3b. Quantas cores têm o arco-íris?
- Q3c. Por que esse fenômeno tem a forma de um arco?
- Q3d. Seria possível formar um “arco-íris”?

No caso do surgimento desses questionamentos, não será difícil relacionar os conceitos ao fenômeno do arco-íris. É necessário que existam gotículas de água na atmosfera, por isso esse fenômeno acontece, geralmente, após a chuva. Quando a luz solar incide sobre essas gotículas ocorre a dispersão da luz branca em várias cores, devido à troca de meio de propagação da luz. Através desse processo, da incidência da luz nas gotículas de água, estão inseridos os a características/natureza da luz e a dispersão.

A discussão das condições e questionamentos a respeito da formação do arco-íris permite que outros fenômenos de Óptica, como reflexão e o espectro eletromagnético da luz visível, sejam trabalhados. Esse, também, é um fenômeno que mexe com o imaginário das pessoas, por ser bonito e por fazer parte da cultura universalmente, seja através de mitos, artes ou mesmo como símbolo social.

O tema apresenta quatro conceitos principais relacionados aos outros temas e um novo, a dispersão. Com isso pretendemos cumprir novamente a ampliação da discussão dos temas anteriores e, ao mesmo tempo, incentivar novos questionamentos, nesse caso através da introdução da dispersão.

4.2.5 Fotos/filmes em 3D: o que é necessário para vermos uma imagem em 3D?

Nos últimos anos o cinema em 3D cresceu bastante, diversos filmes têm sido lançados com suas respectivas versão em 3D, assim como começam a aparecer as primeiras televisões que possuem a função de reproduzir esse tipo de imagem. Talvez não sejam os objetos de consumo mais acessíveis, mas já é possível encontrá-las expostas nas lojas de eletrodomésticos e em propagandas publicitárias.

“Com o filme ‘Avatar’, de James Cameron, a tecnologia de efeitos em três dimensões deixou de ser firula para tornar-se parte integrante da narrativa. Para usufruir da tecnologia, porém, o espectador precisa usar um equipamento especial: os óculos 3D.”

(Brain, 2003)

Sendo assim, não foi difícil chegarmos à problematização inicial para esse tema, “o que é necessário para vermos uma imagem 3D?” (Q4). Não podemos enxergar esse tipo de imagem sem o uso dos óculos apropriados, os óculos 3D. E é, juntamente, o uso desses óculos somado às características da visão e da imagem que podemos ter a percepção de três dimensões. A partir dessa pergunta podemos chegar a outras questões como:

- Q4a. Existem tipos diferentes de imagem em 3D?
- Q4b. Qual o papel das lentes coloridas dos óculos 3D?
- Q4c. Por que alguns óculos não são coloridos?
- Q4d. O que é necessário para fazermos uma imagem 3D?

Esperávamos que essas perguntas surgissem ao longo dos diálogos, pois existem diferentes maneiras de reproduzir uma imagem dessa natureza. As duas mais conhecidas, e que envolvem conceitos de física relacionados aos outros temas pertencentes a proposta, são a anaglifa, na qual as imagens são formadas pela sobreposição de imagens coloridas, geralmente, em azul e vermelho, e a polarização circular simplificada¹¹, bastante comum nos cinemas.

No segundo método a imagem que será formada nos nossos olhos provém da polarização da luz, caracterizada neste caso como uma onda. Combinada com a nossa visão, a polarização é necessária para a interpretação da imagem que é formada nos nossos olhos. Assim, seriam possível discutir mais alguns aspectos importantes da visão e da

¹¹ Este tipo de polarização envolve a projeção de duas imagens, uma polarizada no sentido horário e outra no sentido anti-horário. Cada lente do óculos permite a passagem de uma dessas imagens polarizadas, que resulta, portanto, na projeção de uma imagem diferente para cada olho, que posteriormente permitirá a percepção tridimensional.

formação da imagem, ampliando a compreensão dos conceitos e fenômenos envolvidos nos temas anteriores.

Na visão, cada olho observa uma imagem ligeiramente diferente do outro, devido à posição em que se encontram, que quando combinadas fornecem a noção de profundidade¹². Já nas imagens em 3D, teremos duas imagens levemente diferentes combinadas em uma só, sobrepostas. Cada uma dessas imagens possui cores diferentes, ou uma polarização diferente, e os óculos adequados permitirão que cada o olho receba apenas uma das imagens, deixando para o nosso cérebro a interpretação da imagem em 3D.

Este é o tema escolhido com maior dificuldade entre os cinco, pois possui menor quantidade de material acessível aos alunos. Entretanto acreditávamos que fosse importante a sua inclusão, devido ao crescimento desse tipo de tecnologia fazendo parte do universo que os alunos estão inseridos de forma crescente. Além de, a partir dele, ser possível explorar a questão da natureza ondulatória da luz.

Após introduzirmos os cinco temas para a proposta de 2013, o presente trabalho discorre acerca aplicação dela, com o foco nas etapas de preparação do professor. Essa preparação envolveu a pesquisa de material didático, um cronograma e a elaboração dos critérios de avaliação. A segunda etapa foi importante, pois deu subsídios para definir qual das quatro turmas do colégio seria analisada neste trabalho. As outras duas, a primeira e a etapas, nos forneceram algumas orientações a respeito de como proceder para aplicação da proposta.

¹² Esse método de obtenção de uma imagem tridimensional através de duas imagens é chamado de estereoscopia.

5 APLICAÇÃO DA PROPOSTA

Na aplicação da proposta reformulada em 2013, novamente trabalhamos com quatro turmas da segunda série do EM, turmas que, no máximo, possuem 25 alunos. Esses alunos estão na faixa etária entre quinze e dezessete anos de idade, sendo que a situação financeira deles é bastante variada, já que é utilizado um sistema de sorteio para o ingresso.

Aproveitamos o laboratório de Física do colégio para realizar a produção dos alunos e apresentações. Nesse espaço fornecemos os materiais didáticos para a pesquisa e alguns materiais para confecção dos experimentos. Além das próprias aulas reservadas para aplicação da proposta, foi oferecido atendimento no contra turno com a intenção de esclarecer dúvidas e para produção da atividade experimental solicitada como fechamento do aprendizado.

Então, para compreender o desenvolvimento neste espaço e com esses sujeitos seguem os aspectos do planejamento do professor, discutidos brevemente a seguir. Destacaremos as etapas de realização da seleção de materiais didáticos, construção do cronograma proposto em cada turma, e os critérios de avaliação da produção e apresentação dos alunos.

5.1 MATERIAL DIDÁTICO: SUGESTÕES DE LEITURAS E EXPERIMENTOS

Por se tratar de um trabalho de pesquisa, decidimos fornecer para os alunos alguns materiais que pudessem apresentar os conteúdos de Óptica envolvidos no tema que seu grupo recebeu. Para isso, selecionamos alguns livros do acervo dos professores do colégio e da biblioteca, juntamos com alguns documentos impressos encontrados na rede (artigos, reportagens de revistas e propostas didáticas – como planos de aulas disponíveis na rede e trabalhos de pesquisa). Não necessariamente, todos esses materiais foram utilizados por cada grupo, mas estiveram à disposição para tirarem cópia, ou pegarem emprestado.

Conforme realizamos essa busca bibliográfica, aproveitamos para fazer também uma lista de possíveis experimentos de Óptica que os grupos poderiam produzir para apresentação, experimentos que demonstram conceitos ou reproduzem parcialmente o fenômeno de estudo dos temas. A princípio esses experimentos não foram apresentados aos grupos, entretanto no decorrer da produção, alguns

tiveram dificuldade em encontrar uma montagem experimental, ou decidir qual experimento realizar. Então, utilizamos essa lista para auxiliar nas sugestões aos estudantes.

As listas de consulta de livros e documentos estão no Anexo D e sugestões de experimentos no Anexo E.

5.2 CRONOGRAMA

Para a proposta de 2013 foram previstas quatro aulas semanais, duas de quarenta minutos e duas de quarenta e cinco minutos, e em virtude das atividades do colégio e feriados, acabamos utilizando um cronograma diferente para cada turma¹³. Especificamos um tempo aos alunos se aprofundassem nos três momentos pedagógicos: na problematização inicial de cada tema e produzissem o material do trabalho no momento de organização do conhecimento, que mais tarde seria avaliado e apresentado durante o momento de aplicação do conhecimento.

Nesse cronograma, entregue aos grupos, inserimos informações básicas a respeito da avaliação e orientações com relação a alguns aspectos básicos do trabalho, além do calendário para produção e apresentações. O cronograma expunha, detalhadamente, a quantidade de aulas que cada turma teria para o momento de organização do conhecimento, entre quatro e seis aulas dependendo da turma, além de duas aulas de introdução à Óptica e aos temas do trabalho.

Durante a aula introdutória, foram discutidos alguns aspectos básicos de Óptica, como a propagação da luz, refração, reflexão e cores. Iniciamos a discussão, questionando os alunos sobre o que é a luz e quais seriam os fenômenos estudados em óptica. Em seguida, apresentamos o que é uma fonte luminosa e como ocorre a propagação da luz, aproveitando esse ponto para definir o que é reflexão e refração. Seguimos diferenciando a óptica geométrica da óptica física e terminamos essa aula mostrando os sistemas de cores para luz e pigmento.

Para finalizar a etapa de produção, destinamos uma aula para a entrega do material produzido pelos grupos, seguida de cinco aulas destinadas à apresentação. Com isso, utilizamos tivemos um total entre doze a catorze aulas para aplicação da proposta do ano de 2013.

Vale realçar que, foi necessário pelo menos uma aula para que os grupos:

¹³ Anexo A – Modelo do cronograma

- Se familiarizassem com o tema: de início os alunos fariam a pesquisa apenas no material fornecido pelo professor;
- Buscassem a resposta para o problematização inicial: nesse momento os grupos formulariam explicações para a problematização inicial e levantariam outras questões relevantes para o trabalho, juntamente com o professor;
- Produziram a atividade experimental: tendo em vista que o roteiro para montagem já tenha sido definido e pesquisado pelo grupo durante as aulas anteriores ou durante a produção do trabalho fora da sala de aula;
- Preparassem o resumo e apresentação do trabalho: por último os alunos acertariam os detalhes a respeito das discussões realizadas nas aulas anteriores, produzindo o texto e a apresentação.

Este cronograma de aulas que segue não foi seguido à risca pelos grupos, entretanto deixamos claro que haveria tempo em sala para produção do material solicitado e para preparação da apresentação para a turma. Na Tabela 3 sintetizamos o cronograma das quatro turmas com todas essas etapas.

Tabela 3 - Cronograma de atividades

Turmas	Introdução e familiarização ao tema	Produção: Respostas ao problema	Produção: Atividade experimental	Produção: Texto	Entrega	Total de Aulas
Turma A	1 aula (31/10)	2 aulas (01/11)	2 aulas (01/11)	2 aulas (08/11)	1 aula (14/11)	8
Turma B	1 aula (05/11)	2 aulas (06/11)	1 aula (12/11)	1 aula (12/11)	1 aula (13/11)	6
Turma C	1 aula (31/10)	2 aulas (05/11 e 06/11)	2 aulas (06/11 e 07/11)	2 aulas (12/11 e 13/11)	1 aula (13/11)	8
Turma D	1 aula (30/10)	2 aulas (05/11)	2 aulas (06/11)	2 aulas (12/11)	1 aula (13/11)	8

Fonte: Elaborada pelo autor

Outro ponto importante a ser mencionado é que a entrega do material produzido (texto, apresentação e atividade experimental) foi realizada por todos os grupos na mesma aula, permitindo avaliação da produção dos cinco grupos em conjunto a partir dessa data. Na aula posterior a entrega de trabalhos se deu início às apresentações, seguindo a ordem proposta para os temas: (1) olho humano, (2) câmeras fotográficas, (3) arco-íris, (4) fotos/filmes 3D e (5) cor do céu e pôr do Sol.

5.3 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

A proposta dos 3MP, da maneira que foi aplicada, pode fornecer diversas formas de avaliação. Decidimos separar em duas notas, como consta no cronograma entregue para os grupos¹⁴.

Havia a produção de um texto e de uma apresentação para projeção de slide. Ambos foram elaborados e entregues na data proposta. Ainda como avaliação, havia o critério do comportamento e envolvimento dos grupos, se produziram o que foi solicitado durante as aulas, o que desenvolviam de uma aula para outra e o comportamento individual de cada membro do grupo. O retorno era imediato, para isso, eu e a professora regente, escrevíamos as impressões sobre os trabalhos nos grupos após todas as aulas, como um diário das atividades realizadas. Assim, ao retornar a turma sabíamos quem estimular e como.

Na apresentação, assim como na primeira aplicação da proposta – em 2012 – seguimos as questões previstas para a abordagem de cada tema em uma ficha de avaliação, que também foi fornecida para os convidados avaliarem durante as apresentações. Essa ficha possui as questões apresentadas na seção 2, porém, para 2013, foram incluídas as outras questões sugeridas neste trabalho juntamente com a questão principal¹⁵. Parte dessa avaliação leva em consideração também a demonstração experimental. Dessa forma, se a proposta fosse realizada em outro colégio, ao longo de um bimestre, o professor teria subsídios para avaliar e compor a média trimestral/bimestral dos alunos. Ainda seria possível propor, após as apresentações, a realização de uma avaliação escrita do que foi discutido pelos grupos.

No nosso caso, diante do calendário do colégio que é dividido em trimestres, não foi possível realizar essa avaliação posterior às apresentações. Além disso, os alunos já possuíam pelo menos mais duas

¹⁴ Anexo A – Modelo de cronograma

¹⁵ Anexo B – Modelo de ficha de avaliação

notas na disciplina de física do conteúdo discutido anteriormente, compondo, assim, a média do trimestre.

Apresentamos a seguinte metodologia de análise da que norteia este trabalho para discutir os resultados da aplicação da metodologia dos 3MP, analisando a transcrição de trechos das gravações realizadas com uma turma referente aos temas detalhados nas seções 4.2.1 Olho humano e 4.2.2 Cor do céu.

6 METODOLOGIA DE ANÁLISE

Para análise usamos a transcrição de gravações dos diálogos dos grupos com os professores envolvidos. Essas gravações foram realizadas com o consentimento dos estudantes e pais, coletados através do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido entregue na primeira aula da proposta¹⁶ de 2013. Através dos trechos desses diálogos, com uma das turmas, referente aos temas olho humano, cor do céu, ambos discutidos na seção 4.2, analisamos se os elementos – conceitos, questão principal e outras questões – discutidos na seção 4 apareceram ao logo das conversas gravadas entre professores, eu e a professora do colégio, e os alunos.

Analisaremos os seguintes pontos nos diálogos:

I. Discussão dos conceitos principais: Se os conceitos são identificados e discutidos, verificando se os aspectos apontados na seção 4.1 – características/natureza da luz, refração, espectro da luz, cores primárias, formação de imagem, dispersão, polarização e espalhamento – são contemplados, ou se outros aspectos relacionados são apresentados;

II. Discussão da problematização inicial: Se ocorre discussão da problematização inicial, ou da resposta que envolve a pergunta dos temas analisados pelo grupo;

III. Surgimento de outras questões: Se as outras questões estabelecidas para cada tema surgem ao logo do diálogo, ou se a discussão que envolve a resposta destas pergunta é realizada;

IV. Surgimento de novas questões: Se outros conceitos ou perguntas, além das discutidas nas seções dos conceitos e dos temas aparecem durante o diálogo.

Dentre as quatro turmas, devido ao tempo necessário para análise e elaboração desse trabalho de conclusão de curso, selecionamos a turma que finalizou a etapa de produção primeiro. A turma A, como consta na Tabela 3, tornou-se então o nosso sujeito de pesquisa. Além disso, selecionamos dois grupos, para verificar se esses quatro aspectos aparecem independente do tema selecionado.

¹⁶Apêndice A – Modelo de termo de consentimento livre e esclarecido

A seguir, faremos uma discussão dos resultados dessa análise apresentando trechos dos diálogos entre professores e alunos. Através da comparação dos tópicos das seções 4.2.1 e 4.2.2 com os diálogos verificaremos se esses pontos foram, ou não, contemplados durante a produção realizada pelos grupos. Verificando com mais atenção a construção do segundo momento pedagógico, a organização do conhecimento.

7 DISCUSSÃO DAS TRANSCRIÇÕES

Inicialmente, os grupos tiveram cerca de vinte a vinte e cinco minutos para se familiarizarem com o tema. Em alguns momentos os grupos faziam perguntas espontaneamente ou apresentavam dúvidas a respeito dos temas pesquisados. Em outros, era necessário intervir questionando o grupo ou sistematizando alguns conceitos para que a produção avançasse. Vale lembrar, que os alunos poderiam solicitar a ajuda, ou serem questionados pelo o professor, autor deste trabalho, ou pela professora regente da turma.

A seguir, apresentamos trechos do diálogo entre os professores e cada um dos grupos selecionados que ilustram essas situações, assim como a discussão pautada na análise metodológica apresentada na seção anterior.

7.1 GRUPO A – OLHO HUMANO

No primeiro dia da organização do conhecimento, o grupo teve contato com o material de pesquisa no laboratório. Apesar dos grupos serem compostos por cinco alunos, em geral o diálogo acontece entre um dos professores e um aluno do grupo. Um exemplo do tipo de diálogo desenvolvido pode ser visto abaixo. Ele corresponde a uma situação ocorrida no primeiro dia, na qual o aluno 1, questiona o professor sobre o significado da distância focal na formação da imagem na retina:

Professor: Tá, você perguntou da distância focal. A distância focal é a região onde a imagem se forma melhor, com mais nitidez assim...

Aluno 1: Seria a região da retina?

Professor: Isso, ali seria a região ideal para formar a imagem, que daí ela vai formar com maior nitidez, se ela forma em uma distância diferente, né? Então, a imagem será que vai ser a melhor?

Aluno 1: Acho que não.

Professor: Porque você quer formar a melhor imagem na retina? Se você forma a melhor imagem em outra região, você não vai ter... você vai ter um problema, que é o meu caso. Então, isso ai, já é um... vocês podem trazer as questões dos defeitos de visão, né?

Aluno 1: Aqui tem aqueles que [a imagem] aqui é maior e aqui é menor, daí vai ser refletido [projetado] mais atrás ou mais na frente [da lente].

Professor: Isso, daí você vai ter os problemas de visão.

Dentro dos conceitos estabelecidos para o tema a questão acima está relacionada à formação de imagem. Inclusive, ao longo do diálogo, há indícios de que o aluno estabelece relações entre posição da imagem formada e os defeitos de visão (“Aqui tem aqueles que [a imagem] aqui é maior e aqui é menor, daí vai ser refletido [projetado] mais atrás ou mais na frente [da lente]”). Depois que o professor sistematiza a situação (“*se você forma a melhor imagem em outra região, você não vai ter... você vai ter um problema*”).

Podemos identificar que a discussão dos conceitos principais (ponto I) é contemplada nesse diálogo, pois o aluno sente a necessidade de compreender o que é distância focal para, então, poder entender como ocorre a formação de imagens no olho humano. A partir disso, é possível relacionar essa discussão também à questão “Quais são e o que causa os defeitos de visão?” (Q1.d).

O professor conduziu à discussão relacionando a formação da imagem com os defeitos da visão. Em seguida, o aluno conseguiu identificar na representação do material de consulta que a má formação do globo ocular (“aqui tem aqueles que aqui é maior e aqui é menor”) resulta na formação da imagem afastada da retina (“daí vai ser refletido mais atrás ou mais na frente”). Assim, o surgimento de outras questões (ponto III) também pode ser identificado nesse trecho.

É possível perceber também que alguns termos não são utilizados de maneira adequada pelo estudante. O aluno usa o termo refletido, ao invés de incidido ou projetado, situação bastante comum ao longo dos diálogos entre professor e aluno, apesar de ter ocorrido à apresentação da reflexão e da refração na aula introdutória. Ao longo dos diálogos sobre os elementos de formação de imagens em lentes, parece que a maneira como essa sistematização foi feita não foi adequada, ou não foi suficiente para que os alunos incorporassem o vocabulário a ser utilizado nas explicações dos fenômenos ópticos.

Tendo em vista uma perspectiva de despertar nos alunos a necessidade de pesquisarem e refinarem seu vocabulário científico como é proposto por Delizoicov & Angotti (1992), a “problematização pode permitir que o aluno sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém” (p. 29). Ou seja, essa poderia ter sido uma oportunidade para o professor gerar confronto entre esses termos e, assim, criar uma situação de aprendizagem para o aluno. Percebemos, posteriormente, na etapa aplicação do conhecimento (durante as apresentações) que os demais alunos aparentavam

compreender as explicações, mesmo com termos inadequados, como aconteceu no trecho discutido anteriormente.

Ainda no primeiro dia, o grupo apresentou uma questão interessante relacionando o conteúdo desse tema com o da câmera fotográfica:

Aluno 3: O olho tem definição máxima?

Professor: O olho tem definição máxima? Se não me engano eles [especialistas em câmeras digitais] fazem uma comparação com as câmeras, se o olho fosse uma câmera, quantos megapixels teria, eu sei que tem em algum lugar, não lembro quanto é que é ao certo, lembro que algum grupo trouxe ano passado...

Aluno 1: Tem alguma câmera que seria melhor que o olho?

Professor: Então, é para vocês tentarem responder.

Aluno 2: A câmara de celular é baixinha.

Aluno 3: Tá, mas você não tem nem uma ideia?

Professor: O que, de quanto que é o valor?

Aluno 3: É.

Professor: Eu lembro que é bastante, se lembro bem o olho é bom, o olho tem uma resolução muito boa se a gente fosse transferir para uma resolução de câmera.

Nesse diálogo, surgem novas questões (ponto IV) com a pergunta apresentada pelo aluno 3 (“*O olho tem definição máxima?*”). Essa questão deve ter surgido através da consulta do grupo ao material fornecido para pesquisa¹⁷. Isso nos indica que a seleção de materiais de consulta para serem fornecidos na etapa de organização de conhecimento é importante. Dessa forma o grupo tem em mãos fontes de pesquisa confiáveis, selecionadas pelos professores, e que podem, por exemplo, relacionar dois temas distintos, neste caso o tema das câmeras fotográficas. Como o próprio professor indica (“*Se não me engano eles [especialista em câmeras digitais] fazem uma comparação com as câmeras, se o olho fosse uma câmera*”) essa informação deve ter aparecido em algum momento na pesquisa prévia.

Ainda no primeiro dia, a professora regente sistematizou alguns conceitos para melhorar a compreensão do aluno sobre as representações de formação de imagens utilizadas nos livros didáticos:

Aluno 1: Por que que os objetos [estão] aqui [deste lado da lente]?

¹⁷ O livro *Conexões com a Física* (SANT’ANNA, MARTINI, REIS & SPINELLI, 2010, p. 343) possui um texto sobre pixels da câmara digital.

Professora: Isso não é o objeto que ele chama? Tá vendo que cada livro com uma representação, com umas regrinhas, numa linha diferente, entende? Acho que ele não tá falando não. Geralmente, ele fala onde é o objeto e onde é que é a imagem, vamos ver aqui mais para frente. Aqui (...), formação de imagens nas lentes. Então, aqui tem um objeto, tá? Aqui tem um objeto, os raios que passam por esse objeto, como é que a gente desenha? Desenha eles para saber onde que vai ser formado a imagem. A gente passa, a gente passa um raio na parte superior desse objeto, paralelo ao eixo, e quando ele passa pro outro lado da lente, isso numa lente divergente, ele passa pelo centro, e traça (inaudível), puxa. Quando ele, outro raio que passa direto pela origem e atravessa direto a lente, na intersecção desses, dessa retas, é que vai dar a parte superior do objeto. A parte inferior vai ser no próprio eixo. Claro, eu poderia fazer a mesma coisa para cá, poderia fazer com qualquer ponto, ia ter vários pontos de intersecção e eu ia ligar esses pontos, e eu ia ligar esses pontos e ia ter esse mesmo objeto. Então, cada tipo de lente você vai ter a formação de um tipo de objeto [tipo de imagem]. Na câmera fotográfica, assim como no olho humano, o que que acontece? Vamos pensar. Eu tô olhando aqui o João tomando água, a imagem que se forma no meu olho ou na câmera, é do mesmo tamanho do João, é maior ou menor?

Aluno 1: É menor.

Professora: Hã?

Aluno 1: É menor.

Professora: Bem menor, então a imagem está se formando onde? Onde é que se forma a imagem? Na retina. A imagem se forma na retina, menor que o objeto. Então, olha só, será como que é a lente na nossa, no nosso olho? No nosso olho a gente vai ter lente também, é algo parecido com isso, porque se forma menor, tá? Se forma menor, então é por aí que começa essa representação.

Através da representação dos raios principais (“Desenha eles para *saber onde que vai ser formado a imagem*”), a professora tem a intenção de justificar a posição do objeto indicada pelo aluno (“*Por que que os objetos aqui?*”). Nesse caso começam a aparecer os aspectos discutidos em formação da imagem (4.1.5) e sobre os tipos de lente (4.1.2.c).

Esse diálogo, conduzido pela professora (“*Tá vendo que cada livro com uma representação, com umas regrinhas, numa linha diferente, entende?*”), dá indicativos de que os alunos sentem a necessidade de compreender alguns conceitos e regras – representação das trajetórias

dos raios, posição do cruzamento dos raios provenientes de pontos diferentes do objeto ou influência da posição do objeto com relação a lente – para chegarem à resposta da problematização inicial “O que é necessário para enxergarmos?” (Q1). Podemos relacionar isso à resposta à problematização do tema (ponto II), mas, como ficará evidente mais a frente, o grupo discutir outras questões relacionadas, trazendo, inclusive, perguntas que não foram previstas e evidenciando melhor este ponto de análise.

Ainda nesse trecho, a professora aproveita para estabelecer a relação entre dois temas – o olho humano e a câmera fotográfica – (“*Na câmera fotográfica, assim como no olho humano, o que que acontece?*”), também identificada no trecho anterior. Não fica claro no decorrer do diálogo se o aluno consegue fazer a conexão entre os temas, porém é importante notar que a proposta inicial de utilizar temas com alguns dos seus conceitos semelhantes é uma boa oportunidade para problematizar diversas situações. Isso foi feito pela professora no momento que ela explica sobre a formação da imagem (“*a imagem que se forma no meu olho ou na câmera, é do mesmo tamanho do João, é maior ou menor?*”).

Já no segundo dia, ocorreu um diálogo no qual o aluno 1 solicita ajuda do professor para entender um dos gráficos¹⁸, presente no material fornecido sobre a percepção das cores pelo olho humano¹⁹:

Aluno 1: O que que é isso daqui, que eu não tô entendendo?

Professor: Isso ai ó, tem uns gráficos um pouco diferentes que aparecem também, mas isso aqui é o que? Isso aqui é a sensibilidade do, é o cone ou o bastonete que é o das cores? O cone, né? A sensibilidade do cone azul, do verde e vermelho.

Aluno 1: Tá...

Professor: E a certas faixas de frequências...

Aluno 1: Frequências da onda de...

Professor: Não, do comprimento de...

Aluno 1: De luz [onda], né?

Professor: Isso, o comprimento de onda que ele tá botando, mas também tem um que falam sobre a frequência...

Aluno 1: Tá...

¹⁸ Similar ao gráfico da Figura 4

¹⁹ FIGUEIREDO & PIETROCOLA (1997)

Professor: Tá, então, isso aqui ó, ele tá dizendo que o azul quando, ele enxerga os comprimentos de onda dos quatrocentos nanômetros à quinhentos nanômetros, que essa é a faixa do azul.

Aluno 1: Aquelas coisas de fazer assim [se referindo ao formato da onda], daí o vermelho aumenta.

Professor: Isso, exatamente, então nessa faixa aqui [no livro] ó, se a gente pegasse, deixa eu ver se tem uma foto aqui, quando ele fala do espectro, queria mostrar essa imagem, ia ficar muito claro. Esse aqui é o espectro de luz, a luz branca é formada por todas essas cores aqui.

Aluno 1: Sim.

Professor: Tá, então o [cone] azul de 400 a 500 nm mais ou menos, é nessa faixa aqui ó, que chega um pouco ali no verde. Essa faixa que o cone azul é sensível, que a luz vai interagir com ele e ele vai conseguir identificar.

Aluno 1: Tá.

Professor: Então, esse outro resto aqui ó, de quinhentos [nm] em diante ele não, a luz não afeta [interage com] ele [cone], então ele só pega a parte azul. O cone verde ele é um pouquinho mais para o lado [do espectro], ele é um pouquinho mais para o lado verde, ele pega mais essa faixa do amarelo e verde aqui ó, é sensível a essa parte da luz.

Aluno 1: Ah.

Professor: E o vermelho, a parte do final. Então, aqui que vai tá a sensibilidade, juntando os três tem um, a interpretação das cores.

Aluno 1: Tá.

Professor: Entã, o [cone] azul pega só essa parte aqui, só os comprimentos de onda nessa faixa, o [cone] verde aquela outra faixa e o [cone] vermelho a outra. Quando você junta todos, você tem a sensibilidade com todas as cores.

Aluno 1: Mas isso no olho, dentro do olho?

Professor: Isso, dentro do olho, cada cone é sensível a essa faixa de cor.

Aluno 1: Tá, então tipo ele vai ser primeiro sensível ao azul e depois o vermelho?

Professor: Não, não é que é primeiro... ele tá falando que o cone que é responsável pela cor azul é sensível a essa faixa de luz aqui...

Aluno 1: Ah... tá... então entendi, é tipo ele é sensível quando a [luz], na faixa que tiver esse comprimento.

Professor: Isso.

Aluno 1: Entendi

Professor: Exatamente, então cada parte ali, cada cone é responsável por uma faixa do, da luz.

Aluno 1: Seria a identificação da cor, né? Porque como a luz tá com esse comprimento, então por, por tá havendo esse certo comprimento o cone tem o pico dessa cor vai ficar...

Professor: Isso, exatamente. Você imagina assim, o cone azul vai construir uma imagem que ele pega só essa parte em azul, ele vai pegar todo o mais intenso e menos intenso da, que... tipo uma foto, só com aquela faixa dos comprimentos.

Aluno 1: Então, as cores...

Professor: Verde para aquele lado e o vermelho para aquele outro. Quando você junta as três você tem o colorido.

Aluno 1: Então as cores são na verdade é a identificação de [comprimentos de] onda.

Professor: Isso, identificação dos comprimentos de onda.

Durante esse diálogo ocorreu uma discussão bastante diversificada de aspectos relacionados ao tema, complementando, portanto, a discussão dos conceitos (ponto I). Os aspectos discutidos foram a apresentação de características básicas da luz (4.1.1.a), relação dessas características e suas cores (4.1.3.b) e como o modelo RGB se relaciona com a visão (4.1.4.b). Estes aspectos podem ser identificados em diversos momentos, pois o aluno utiliza os termos comprimento de onda e frequência ao longo do diálogo, como quando o aluno indica a relação entre as cores e a onda de luz (“*Então as cores são na verdade é... a identificação de [comprimentos de] onda*”).

O professor conduz a discussão apresentando características ondulatórias da luz (“*ele enxerga os comprimentos de onda*”) para explicar como ocorre a percepção das cores na visão (“*cada cone é sensível a essa faixa de cor*”). Além disso, é possível verificar a participação ativa do aluno durante as intervenções do professor, quando ele apresenta questionamentos (“*Tá, então tipo ele vai ser primeiro sensível ao azul e depois o vermelho?*” e “*Seria a identificação da cor, né?*”). Esses questionamentos complementam a pergunta inicial, relacionada ao gráfico de sensibilidade dos cones (Figura 4). Isso nos leva ao surgimento de outras questões (ponto III), pois a discussão realizada envolve aspectos diretamente interligados a resposta da pergunta “como observamos as diferentes cores?” (Q1.c).

Em seguida, o Aluno 3 questiona o professor sobre a refração e sua relação com as partes que compõem o olho:

Aluno 3: Isso aqui na refração?

Professor: Em que sentido?

Aluno: Tipo é que o humor aquoso contribui para refração da luz.

Professor: Então, aqui a gente tem três, basicamente três materiais diferentes no olho. Essa parte da córnea – não sei se é a córnea – humor aquoso, córnea e humor vítreo.

Aluno: É a córnea, o humor aquoso, cristalino e humor vítreo.

Professor: Tudo isso, cada um deles tem um índice de refração diferente, de material diferente. Então quando a luz passar, lembra quando ela muda de meio, a luz muda de velocidade e é desviada. Então, aqui você tem vários meios, ela vai refratando a luz e convergindo ela para um ponto, isso dá a imagem, é isso que quer dizer. Tudo, todas essas partes aqui contribuem para a refração da luz.

Aluno: Claro.

Professor: A formação da imagem lá, depois.

Aluno: Tipo, elas fazem diferente o mesmo processo?

Professor: Isso, exatamente. Porque cada uma tem um índice de refração diferente.

O aluno 3 busca entender qual a função do humor aquoso para a refração que ocorre no olho, para isso o professor introduz na discussão a dependência da refração com o meio (“aqui a gente tem três, *basicamente três materiais diferentes no olho*”). Assim, a discussão da refração (ponto I) nome fica explícita, devido à identificação do aluno do termo utilizado para caracterizar o fenômeno (“*o humor aquoso contribui para refração da luz*”). Nesse diálogo, aparece a importância dos diferentes meios na formação da imagem na retina (4.2.1.a e 4.2.1.c).

7.2 GRUPO B - COR DO CÉU

Após o primeiro contato com o material de consulta, o Grupo B parece não compreender bem como ocorre o espalhamento Rayleigh:

Aluno 1: Tá a lei de Rayleigh?

(...)

Professor: Aqui... Rayleigh, tá vendo que tinha aqui ó, explicação dada por Rayleigh, isso aqui é uma das formas que a luz espalha no céu. Ajuda explicar porque o céu é azul, mas ela sozinha, por muito tempo os cientistas acharam “*não, isso aqui é a explicação do por quê que o céu é azul*”, só que daí tem um argumento aqui que ele vai falar

depois que mostra, que ele sozinho não consegue, você vai precisar de mais alguma, uma outra coisa para explicar. Então, esse daqui é um dos tipos de espalhamentos que ocorrem no céu, para ter o céu azul. E o espalhamento é o que? Você já... Apareceu para vocês o que é o espalhamento?

Aluno 2: Tava vendo isso.

Professor: Então, vocês vão ter que descobrir o que que é um espalhamento. O espalhamento de Rayleigh é um tipo de espalhamento, tem mais um outro, responsável pela cor do céu azul. Ele também fala aqui, se não me engano na próxima página.

Aluno 2: É quando a luz tá, quando o negócio da luz [comprimento de onda] lá tem um tamanho menor [que as partículas]?

Professor: Isso tem a ver com isto, a luz tem um tamanho menor ou igual às partículas que ela vai incidir. Essas partículas de gases é que formam a atmosfera. Vocês estão no caminho.

Por ser o primeiro contato sobre a explicação das cores do céu e do Sol, é compreensível que os alunos ainda não estivessem familiarizados com os termos mais adequados, apesar de alguns deles terem sido apresentados na aula introdutória. Ainda sim, nesse pequeno trecho de diálogo, transcrito acima, é possível identificar a discussão dos conceitos (ponto I) quando o aluno 1 questiona a respeito da lei de Rayleigh (“*Tá a lei de Rayleigh?*”) que está diretamente relacionada ao espalhamento (4.1.8).

Apesar de o aluno 2, ter conseguido identificar que o espalhamento de Rayleigh influencia na cor do céu, o professor sugeriu que esse espalhamento sozinho não explicaria, por completo, o fenômeno, apontando inclusive para a existência de outro tipo de espalhamento no material (“O espalhamento de Rayleigh é um tipo de espalhamento, tem mais um outro”)²⁰. Logo após afirmar a existência de outro tipo de espalhamento, o aluno 2 relaciona o fenômeno do espalhamento às características da luz (“*quando o negócio da luz lá [comprimento de onda] tem um tamanho menor [que as partículas]*”), mostrando ter identificado o espalhamento Mie e reforçando a discussão dos aspectos relacionados ao fenômeno (4.1.8.a). No mesmo dia, durante a mesma aula, surgiu uma discussão das condições que envolvem a resposta para a problematização inicial para o tema (ponto II) – “Quais as cores do céu e do Sol” (Q5). Durante essa discussão, ocorreu uma participação mais significativa do grupo, com três alunos contribuindo para

²⁰ BRASIL (2011)

discussão, buscando explicações para o fenômeno observado após o professor questioná-los sobre a pergunta inicial:

Professor: Tá, qual a pergunta de vocês mesmos?... só pra... Quais as cores do céu e do Sol? Tá, então, só tem uma cor?

Aluno 2: Não.

Professor: Não.

Aluno 3: O céu tem várias.

Professor: O céu tem várias. O Sol também ou [não]?

Aluno 3: O Sol às vezes é amarelo, as vezes é laranja.

Aluno 2: É branco o Sol, o Sol é branco,

Professor: Ela já viu branco, e agora?

Aluno 3: Eu nunca vi o Sol branco.

Aluno 2: Eu também, mas eu já li que o Sol é branco.

Mais uma vez, ficou evidente a influência do material fornecido para pesquisa. Nesse trecho de diálogo um dos alunos indicou que está acompanhando a discussão e verificando o material de consulta (*“aqui tá dizendo que a lua muda de cor”*). Em outro momento, anterior a esse diálogo, o aluno 2 indica ter obtido informações importantes sobre a luz do Sol no material (*“eu já li que o Sol é branco”*), porém ele não se questiona a respeito dessa informação e como isso poderia estar relacionado à afirmação do aluno 3 (*“O Sol às vezes é amarelo, às vezes é laranja”*).

Em seguida, o professor questiona a respeito das diversas cores:

Professor: Tá e agora, porque que tem várias cores se só tem um, um Sol?

Aluno 2: Porque reflete [espalha] a ondinha [os comprimentos de onda] lá, e a gente vê uma ondinha só [um comprimento de onda mais intenso].

Essa fala do aluno 2, remete novamente a questão do uso dos termos científicos de forma correta, que também aconteceu com o Grupo A. Nesse caso, o aluno 2 usa reflete para representar o espalhamento e ondinha para os comprimentos de onda. O professor diante dessa situação consegue compreender o que o aluno quer dizer, provavelmente por estarem com o material didático relacionado aberto em cima da mesa. Porém o adequado seria esse aluno ter sido questionado a respeito desses termos, criando, assim, mais uma situação de aprendizagem.

O diálogo continua com a confirmação do professor sobre a afirmação do aluno 2:

Professor: Isso, aí tá, vocês já estão chegando nas coisas que influenciam. E é sempre na mesma hora do dia?

Aluno 2: Não.

Professor: Estar em horas diferentes quer dizer o que?

Aluno 3: Que a [o comprimento de] onda é maior ou menor.

Professor: Tá, maior ou menor, a ondinha [comprimento de onda] maior ou menor, tá vocês estão no caminho legal, mas isso aí, e porque que uma hora do dia, ela fica maior e na outra hora do dia vai ter uma ondinha [comprimento de onda] menor?

Aluno 2: Isso eu não sei.

Professor: Tá, mas vamos tentar, quando você olha para o céu, o Sol tá sempre no mesmo lugar?

Aluno 3: Rotação.

Aluno 2: Da posição.

Professor: Isso da posição, porque a Terra roda, né?

Aluno 3: Por causa da rotação da Terra.

Professor: Isso, daí em horas do dia diferentes.

Aluno 1: Mas a lua também muda de cor, aqui tá dizendo que a lua muda de cor.

Vale destacar, nessa parte do diálogo, que o Aluno 1, apesar de não participar tanto quanto os outros colegas do grupo na interação oral ocorrida na aula, conseguiu relacionar as questões que estão sendo discutidas com as mudanças de cor da lua (“*Mas a lua também muda de cor*”). Isso ocorreu, provavelmente, e mais uma vez, por ter sido utilizado um dos materiais²¹ previamente escolhidos pelos professores

O diálogo continua com o aluno 3, justificando a mudança de cor da luz, através da rotação da Terra e da Lua:

Aluno 3: Tá, mas a Terra continua girando e a Lua também gira em volta dela.

Professor: Então, isso ela tava certa, a posição. A posição em que a Terra tá do Sol faz alguma coisa com a luz.

(Inaudível)

Aluno 2: A intensidade da luz também?

Professor: Tem haver com a intensidade da luz.

²¹ SILVEIRA & SARAIVA (2008)

Aluno 3: Eu não entendi isso aqui: a intensidade da luz é inversamente proporcional a quarta potência do comprimento da onda. Isso eu não entendi.

Professor: Você não entendeu?

Aluno 3: É inversamente, mas a gente precisa ver isso, porque é por causa disso que tem uma diferença.

Nessa discussão a respeito das cores do céu e do Sol, podemos verificar três pontos da análise sugerida: a discussão dos conceitos (ponto I), a resposta à questão principal (ponto II) e o surgimento de outras questões (ponto III). O ponto I aparece quando os alunos identificam que em determinadas situações a cor com maior ou menor comprimento de onda (“*Que a [o comprimento de] onda é maior ou menor*”) irá prevalecer no espalhamento da luz no céu. Isso está interligado aos aspectos de apresentação de características básicas da luz (4.1.1.a) e com o tratamento do fenômeno do ponto de vista da óptica física (4.1.1.c).

O ponto III pode ser destacado, pois conceitos necessários para responder a questão “O que faz o por do Sol ter uma cor diferente do céu azul observado durante o dia?” (Q5.a) aparecem ao longo do diálogo, quando os alunos evidenciam a influência da posição relativa entre o observador na Terra e o Sol (“Rotação”) pelo aluno 2 e da luz do Sol incidente no fenômeno (“*a intensidade da luz também?*”) pelo aluno 3.

O aluno 3 consegue ainda identificar a importância da intensidade da luz, mas não a relação com os comprimentos de onda (“*Eu não entendi isso aqui: a intensidade da luz é inversamente proporcional a quarta potência do comprimento da onda. Isso eu não entendi*”), porém essa fala revela, também, a necessidade que o aluno tem em adquirir novos conhecimentos, esses, por vezes, podem ser explorados através da pesquisa no material disponível ou com a intervenção do professor, que fazem parte do momento de organização do conhecimento.

Mais tarde, ainda no primeiro dia, o aluno 4 chegou na segunda aula do dia demonstrando que já havia pesquisado sobre o tema em casa, contribuindo bastante para a discussão do grupo:

Aluno 4: Olha só, aqui diz que tipo, o céu noturno assemelha-se bem ao que se espera encontrar na ausência de atmosfera, então de noite não tem atmosfera?

Professor: De noite não tem atmosfera ou não tem outra coisa?

Aluno 4: O Sol no caso, a luz do Sol. Ai tipo, a luz do Sol, tipo, junto [interagindo] com a atmosfera é, a Terra seria [teria] a atmosfera [para interagir], então?

Professor: Aí a importância da [composição da] atmosfera na cor do Sol, do céu. Eu te pergunto, será que não poderia ter um céu de outra cor?

Aluno 4: Pode

Professor: Pode, a gente consegue ver várias cores durante o dia, mas se eu quisesse fazer de verde? Será, o que será que seria preciso?

Aluno 4: A luz, a luz.

Aluno 2: Aqui diz que a luz azul se propaga.

Aluno 4: A luz se propaga, porque a luz do Sol atinge nitrogênio, quer dizer hidrogênio e oxigênio, ai a... A luz predominante é a azul.

Professor: Isso, por causa da composição da nossa atmosfera.

Aqui temos mais um trecho em que ocorre a discussão dos conceitos (ponto I) e elementos de outras questões (ponto III). A questão do aluno 4 (“*de noite não tem atmosfera?*”) inicia um diálogo com o professor sobre a cor noturna e do espaço, elementos que poderiam surgir na discussão da questão “Seria possível ter um céu de outras cores, durante o dia, além da cor observada?” (Q5.d), pois a ausência, ou não, de atmosfera indica se haverá ou não espalhamento e a sua composição indica quais as cores que serão espalhadas com mais intensidade.

É possível identificar ainda, os aspectos relacionados ao espalhamento, a dependência do efeito com a partícula na qual a luz incide (4.1.8.c), quando o aluno 4 questiona sobre a atmosfera no início do diálogo ou quando afirma sobre a incidência da luz na atmosfera (“*porque a luz do Sol atinge nitrogênio, quer dizer hidrogênio e oxigênio, ai a... A luz predominante é a azul*”).

O diálogo procede com mais questionamentos, agora do aluno 2:

Aluno 1: Era isso que tu [aluno 3] queria saber antes? Fechou.

Aluno 2: E quando que o céu tá rosa? É por causa da luz vermelha?

Professor: Não por causa da luz vermelha, por causa da luz do Sol ela vai tá do mesmo jeito de quando tá a luz azul, céu azul?

Aluno 2: Não.

Professor: Não né, o Sol vai tá em uma posição diferente, então essa posição diferente que vai fazer o vermelho predominar...

Aluno 4: Sempre tem nuvem quando o céu tá rosa. Sempre tem as nuvenzinhas.

Aluno 2: Nem sempre.

Aluno 4: O céu tipo, dominante rosa.

Aluno 2: Eu tenho foto do céu rosa sem nuvem.

Aluno 3: É porque a nuvem tava rosa e ela tirou foto achando que era o céu.

Aluno 2: Deixa eu ver na minha foto.

Aluno 3: Jogaram Nesquick [produto alimentício cor de rosa].

Professor: Não sei se vocês se lembram, na apresentação [aula introdutória] que eu trouxe, qual que era a cor do por do Sol? Na fotinho? Era amarelo, tava meio verde e tudo, era um esverdeado assim, era um negócio meio, bem diferente.

Aluno 2: Por isso que é vermelho?

Professor: Por isso que é vermelho, porque tem algumas coisas que influenciam.

Segundo Delizoicov & Angotti, na metodologia dos 3MP “a problematização inicial visa à ligação desse conteúdo com situações reais que os alunos conhecem e presenciam”, justamente o que os alunos 2 (“*Eu tenho foto do céu rosa sem nuvem.*”) e 4 (“*É porque a nuvem tava rosa e ela tirou foto achando que era o céu*”) conseguem realizar. Logo, isso evidencia que a problematização inicial instiga os alunos a buscarem novos conhecimentos e a questionar as situações em conflito apresentadas.

Por fim, no último dia da organização do conhecimento, ocorre uma situação similar a do Grupo A, a professora realiza uma intervenção com o intuito de sistematizar e formalizar alguns conceitos importantes para o tema que o grupo já havia identificado (o papel da atmosfera e a necessidade de tratar a luz como onda):

Professora: Tá, então a gente ó, vocês sabem que tem a ver com a constituição da atmosfera e sabem que a luz, nesse caso para explicar isso é considerado uma onda, isso é importante, a gente agora vai ver algumas coisinhas [conceitos] para afinar essa, essa explicação, tá? Deixa eu o pegar aqui o material.

Aluno 1: Foi esse que a gente usou.

Professora: Então, olha só, a gente tá entendendo aqui a luz como onda, ela vai ter essa forma aqui. (...) a gente só vai entender ela como onda e a gente vai ver as características dela, como onda. Então, aqui a gente tem comprimento de onda, que é a distância entre cada uma das

partes é (...) cristas ou vales, os extremos, a gente chama de cristas e vales, tá? E aqui, no meinho, quando ela muda a orientação, aqui ela a descer, quando ela tá mudando a gente chama de nó, tudo bem. E aqui é a frequência, frequência é o número de vezes que ela oscila, então, tá? Aí, a gente tem o espectro eletromagnético, vocês devem ter chego aqui também, não? Então, nesse espectro vai mostrar todas as radiações eletromagnéticas, tudo que é onda eletromagnética, sendo que a luz visível que vocês tão trabalhando agora tá aqui ó, nessa faixa muito pequenininha, tá? (...) O professor mostrou pra, pra gente lá na sala [aula introdutória] uma figurinha que mostrava como eram as cores do vermelho até o violeta, oscilando lá na onda, cada partezinha da onda tinha uma cor, então o que é que a gente tem? O vermelho é o que tem maior comprimento de onda, ou seja, o maior, a maior distância entre cada uma delas, cada uma das cristas ou dos vales, só que tem a menor frequência. Eu desenhei aqui.

O primeiro aspecto exposto no diálogo (a composição da atmosfera) está interligado ao espalhamento – dependência do efeito com a partícula na qual a luz incide (4.1.8.b). Porém, a ênfase está no segundo aspecto (tratar luz como onda) que está relacionado ao tratamento do fenômeno do ponto de vista da óptica física, caracterizando a luz como uma onda (4.1.1.c).

É possível também, verificar nesse diálogo, que aspectos importantes para responder a problematização inicial (ponto II) – “quais as cores do céu e do Sol?” (Q5) – fizeram parte da sistematização. A professora deu indícios de que os alunos identificaram algumas condições para o fenômeno (“*vocês sabem que tem a ver com a constituição da atmosfera e sabem que a luz, nesse caso, para explicar isso, é considerada uma onda*”), porém ela sente a necessidade de trabalhar melhor os conceitos envolvidos, pois essas informações são importantes para responder a problematização inicial.

Como no Grupo A, foi possível identificar a discussão das características/natureza da luz e do espalhamento (o ponto I), a discussão foi realizada pela professora. Essa intervenção pode ser compreendida de acordo com segundo momento pedagógico (organização do conhecimento), no qual o professor tem o papel de ajudar e orientar a pesquisa no sentido de melhorar a sistematização dos conhecimentos. A fala do aluno 1 (“*Foi esse que a gente usou*”) indica que o grupo consultou o material fornecido, ilustrando novamente o segundo momento, os alunos organizaram seu conhecimento. Porém, essa consulta, assim como quando da problematização, necessitou da

intervenção do professor para sistematizar os conceitos envolvidos ao longo da discussão e para validar informações encontradas nesses materiais.

Além disso, através dos diálogos apresentados para o Grupo B, não conseguimos verificar se o grupo conseguiu estabelecer a diferença entre os dois tipos de espalhamentos – espalhamentos Rayleigh e Mie – propostos para explicar a problematização inicial sobre o tema do grupo. Na verdade, o próprio espalhamento surge através de alguns elementos, como a influência da composição da atmosfera, mas não é explorado a fundo pelos professores ou pelo grupo de alunos designados a esse e tema.

A discussão dos conceitos principais (pontos I) e o surgimento de outras questões (ponto III) apareceram em boa parte dos diálogos registrados durante a organização dos conhecimentos realizada pelos grupos. Porém, foi possível identificar os outros pontos de análise. A discussão da problematização inicial (ponto II) em si, não apareceu com tanta frequência nos diálogos, em geral os alunos perguntam sobre diversos conceitos e trazem, eventualmente, novas questões relacionadas (ponto IV). Isso pode ser um indicativo de que a problematização inicial realmente serviu como norteadora da discussão. A partir dela, os alunos procuraram adquirir novos conhecimentos e fazer outras perguntas sobre o tema, para que conseguissem elaborar uma resposta para a problematização inicial.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos deste trabalho foram elaborar uma proposta didática, juntamente com um professor em atividade, para os conteúdos de óptica, baseada nos 3MP, e analisar os diálogos professor-aluno, da proposta aplicada, de dois grupos de uma turma da 2ª série do EM durante a organização do conhecimento para verificar a viabilidade, tanto em termos de execução quanto de ensino e aprendizagem.

A elaboração contou com a pesquisa de informações relacionadas a cinco temas – olho humano, câmera fotográfica, arco-íris, fotos/filmes em 3D e cor do céu– para estabelecer alguns conceitos comuns entre os temas, incluindo a óptica física, e criar algumas problematizações relacionadas. Os conceitos e temas selecionados foram resultado de discussões realizadas com a professora do colégio e outros professores, que também trabalham com a área de física. Além disso, foi levado em conta o próprio programa e o livro didático adotado pelo colégio. Dessa forma, foi possível constatar que o conteúdo de óptica é bastante diversificado e permite diversas possibilidades além daquelas apresentadas nos programas:

- Apresenta boas possibilidades interdisciplinares – o tema olho humano permite discutir conteúdos de biologia, e os temas câmera fotográfica, e cor do céu permitem a discussão de conteúdos de química, dentre outras possibilidades;
- A óptica física, geralmente pouco discutida, apresenta conceitos que trazem à tona a interação da luz com a matéria e revelam a característica ondulatória da luz, intimamente ligada com a física moderna e contemporânea;
- E seguindo essa metodologia adotada, a óptica permitiria a elaboração de outros temas e problematizações, permitindo que os grupos tivessem mais autonomia na escolha.

Dentre esses cinco temas, dois temas, olho humano e cor do céu, foram aprofundados, a partir de suas problematizações. Para que fosse possível realizar a análise do processo de aprendizagem mediante a metodologia dos 3MP, utilizamos as gravações das discussões com os grupos e os trabalhos entregues para identificar a presença dos conceitos principais e pontos indicados no capítulo 4.

A partir dessa análise, foi possível verificar que a problematização inicial, apesar de não aparecer com tanta frequência nos diálogos entre professor-aluno, serviu como geradora de outras

questões e fez com que os alunos sentissem necessidade de adquirir novos conhecimentos (Delizoicov & Angotti, 1992). Muitos desses conhecimentos já se encontravam inseridos dentro dos conceitos principais estabelecidos, previamente, na proposta para o tema trabalhado por aquele grupo.

Diversas questões foram discutidas ampliando assim a problematização inicial, tanto pelos alunos quanto pelos professores, durante a etapa organização do conhecimento, demonstrando a importância de um planejamento para a aplicação da proposta. É necessário conduzir adequadamente cada etapa dos 3MP. Os materiais de consulta tiveram um papel fundamental ao longo da discussão, pois, em diversos momentos, os alunos indicavam terem utilizado com bastante frequência esses materiais, apresentando diversas questões relacionadas às figuras, gráficos e explicações inseridas nos mesmos.

Também, durante esse segundo momento, boa parte dos conceitos previstos para os temas apareceram durante as discussões através dos aspectos elencados para cada um deles, sendo que esses foram em alguns momentos problematizados e em outros sistematizados pelo professor (Delizoivoc & Angotti, 1992).

O planejamento da atividade teve, portanto, um papel importante para a realização das discussões conduzidas pelos professores. Porém, mesmo obtendo resultados bastante satisfatórios, existem vários aspectos que poderiam ser repensados a respeito da execução da metodologia de ensino. Os professores envolvidos na proposta poderiam ter aproveitado diversas oportunidades nos diálogos para questionar os alunos a respeito dos termos utilizados, pois esses trocavam, por exemplo, incidido por refletido ou espalhado por refletido. Além disso, os professores poderiam ter tido mais atenção na utilização dos mesmos, como foi possível observar na análise do Grupo B.

Em muitos momentos, por estarem obtendo a compreensão geral das situações apresentadas pelos alunos, os professores utilizavam os mesmo vocabulário inadequado dos alunos. Isso propiciava a possibilidade de discutir com mais profundidade o conteúdo de física através do confronto entre estes termos adequados e inadequados para os fenômenos estudados nestes temas. Tendo em vista que para entender a diferença entre eles seria necessário entender os fenômenos envolvidos, o que poderia resultar em um aprendizado maior para ambas as partes.

Esse problema, a utilização dos termos inadequados, foi percebido pelos professores principalmente durante o momento de aplicação de conhecimento. Foi possível discutir a utilização e adequação desses termos com toda a turma. Quando as últimas

apresentações foram realizadas os grupos já começavam a utilizar o vocabulário, cientificamente, correto devido ao confronto dos termos realizado ao longo de todos os 3MP pelos professores.

Cabe destacar que o método de análise a partir das gravações dos diálogos, limitou-se a obtenção de dados apenas para as discussões entre professor-aluno. Teria sido interessante verificar, também as discussões aluno-aluno, que ocorriam nos grupos enquanto o professor não estava presente, e durante as apresentações, para verificar, por exemplo, se o uso dos termos inadequados continuou aparecendo.

Durante as apresentações, o momento de aplicação do conhecimento, apareceram discussões bastante interessantes sobre os temas, nas quais os grupos trouxeram muitas informações além das previstas pela proposta. Além disso, a discussão dos experimentos realizados pelos grupos foi bem realizada. Eles conseguiram relacionar os elementos do experimento com os fenômenos estudados nos temas, e alguns alunos conseguiram ainda, interligar os diversos conceitos entre eles, tornando a discussão final bastante completa.

Através dessa proposta, a dos 3MP, foi possível também discutir os conteúdos de óptica com a exploração de temas mais próximos da realidade dos alunos, contemplando aspectos da óptica geométrica e física e evitando apenas o ensino algorítmico apontado por Gicoreano e Pacca (2001). Sendo assim, a modificação dos cinco temas, substituindo espelhos por fotos/filmes em 3D e alterando instrumentos ópticos para câmera fotográfica, contribuiu para as discussões mais diversificadas e objetivas dos grupos.

Quando questionados a respeito da proposta, diversos alunos expressaram terem gostado da atividade, pois, para eles, foi um momento no qual conseguiram relacionar os conteúdos de física às coisas do seu dia-a-dia. Outros consideraram que o tempo de realização foi muito curto, alegando dificuldade em realizar a discussão no nível cobrado pelos professores. Tiveram ainda alguns alunos que afirmaram preferir uma metodologia mais expositiva e com avaliação de conteúdos por meio das provas tradicionais. Isso mostra que o ideal é diversificar as metodologias de ensino, para proporcionar a oportunidade de uma aprendizagem para todos os alunos.

Tendo em vista que a proposta de 2013, utilizada para análise neste trabalho, se mostrou uma estratégia de ensino viável para o conteúdo de óptica, esperamos que o trabalho desenvolvido, assim como os resultados obtidos na primeira aplicação em 2012, sirva de base para novas propostas a serem aplicadas em escolas do EM. Aproximando

assim, a teoria da prática e buscando melhorar cada vez mais a elaboração dos temas e dos momentos pedagógicos inseridos na mesma.

Por último, a estratégia utilizada – a metodologia dos três momentos pedagógicos, é versátil o suficiente e serve ao trabalho com outros temas ou outros conteúdos de Física, como Mecânica, Eletromagnetismo ou Física Moderna e Contemporânea. A única sugestão a essa metodologia é o cuidado com o planejamento inicial, realizando um bom do levantamento de materiais de pesquisa para apoiar o trabalho a ser realizado pelos grupos, além da escolha adequada de problemas pertinentes ao tema. Por exemplo, para Eletromagnetismo alguns temas possíveis seriam raios, motor elétrico, aparelhos resistivos, indução magnética e ondas eletromagnéticas. A partir desses temas, tão presentes no cotidiano dos alunos, seriam criadas problematizações para que a proposta pudesse ser desenvolvida.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, V. D. O.; CRUZ, C. A. D.; SOAVE, P. A. Concepções alternativas em óptica. **Texto de Apoio ao Professor de Física**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, 2007. ISSN 1807-2763.
- BÔAS, N. V.; DOCA, R. H.; BISCUOLA, G. J. **Física**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, v. 2, 2010.
- BRAIN, M. Howstuffworks - Como funciona os óculos tridimensionais. **HowStuffWorks? - Como Tudo Funciona**, 2007. Disponível em: <<http://eletronicos.hsw.uol.com.br/oculos-3d.htm>>. Acesso em: Novembro 2013.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)**. Ministério da Educação. Brasília. 2000.
- BRASIL. Observatório Nacional. **As cores do céu**, 2011. Disponível em: <http://www.on.br/pequeno_cientista/conteudo/revista/pdf/cores_ceu.pdf>. Acesso em: 14 Novembro 2013.
- DELIZOICOV, D. **Concepção problematizadora para o ensino de Ciências na educação formal : relato e análise de uma prática educacional na Guiné-Bissau**. USP. Instituto de Física. São Paulo, p. 227. 1982.
- DELIZOICOV, D. **Conhecimentos, tensões e transições**. FEUSP. São Paulo. 1991.
- DELIZOICOV, D. Problemas e problematizações. In: PIETROCOLA, M. **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora**. 2. ed. Florianópolis: UFSC, v. 1, 2005. Cap. 6, p. 125-150.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Física**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1992.
- DELIZOICOV, D.; PERNAMBUCO, M. M.; ANGOTTI, J. A. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2007.
- FIGUEIREDO, A.; PIETROCOLA, M. **Luz e Cores**. São Paulo: FTD, 1997.
- GICOREANO, J. P.; PACCA, J. L. D. A. O ensino da Óptica na perspectiva de compreender a luz e a visão. **Caderno Caterinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 1, p. 26-10, Abril 2001.
- GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA. **Física 2: Térmica / Óptica**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade da São Paulo, 202.
- LUNAZZI, J. J. Estereoscopia. **UNICAMP**. Disponível em: <http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/prof_lunazzi/Estereoscopia/estere.htm>. Acesso em: 17 Novembro 2013.

MARENGÃO, L. S. L. **Os Três Momentos Pedagógicos e a elaboração de problemas de Física pelos estudantes**. Goiânia: [s.n.], 2012.

PIETROCOLA, M. et al. **Física em contexto: pessoal, social e histórico: energia, calor, imagem e som**. 1. ed. São Paulo: FTD, v. 2, 2010.

RIBEIRO, J. L. P.; VERDEAUX, M. D. F. D. S. Atividades Experimentais no ensino de óptica: uma revisão. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, Dezembro 2012.

RIBEIRO, J. L. P.; VERDEAUX, M. D. F. D. S. Experimento simples, explicação nem tanto! Reflexão e polarização em óculos 3D. **Física na Escola**, v. 13, n. 1, p. 14-16, Maio 2012.

ROCHA, M. N. et al. O azul do céu e o vermelho do por do Sol. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, Setembro 2010.

SANT'ANNA, B. et al. **Conexões com a Física**. 1. ed. São Paulo: Moderna, v. 2, 2010.

SILVEIRA, F. L. D.; SARAIVA, M. D. F. O. As cores da lua cheia. **Física na Escola**, v. 9, n. 2, p. 20-24, 2008.

TORRES, C. M. A.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. D. T. **Física - Ciência e Tecnologia**. 2. ed. São Paulo: Moderna, v. 2, 2010.

TRAGTENBERG, M. As belezas do arco-íris e seus segredos. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 3, n. 1, p. 26-35, Abril 1986.

ZYLBERSTAJN, A. Concepções espontâneas em física: exemplos em dinâmica e implicações para o ensino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Dezembro, v. 5, n. 2, p. 3-16, Janeiro 1983.

APÊNDICE A – Modelo do termo de consentimento livre e esclarecido

Você está sendo convidado(a) a participar de uma pesquisa desenvolvida junto ao Departamento de _____. Ao ser convidado(a), você receberá todos os esclarecimentos e as informações a respeito da pesquisa. Ao aceitar colaborar, de forma voluntária, por favor, assine o termo que consta neste documento. Caso for de seu interesse, lhe será fornecido uma cópia deste documento, sendo que a original ficará com os pesquisadores. Em caso de recusa, você não será penalizado(a) de forma alguma. desse houver dúvida, você poderá esclarecê-las com os pesquisadores relacionados abaixo.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA

TÍTULO DO PROJETO:

PESQUISADOR RESPONSÁVEL:

PESQUISADORES PARTICIPANTES:

TELEFONE:

ENDEREÇO:

Descrição da pesquisa (conforme Res. CNS nº 196/96)

O objetivo geral da pesquisa é investigar as possibilidades de aprendizado sob uma determinada proposta metodológica que será experimentada pelos estudantes durante o desenvolvimento do projeto. Para isso, necessitamos coletar dados através da gravação dos diálogos e apresentação, em forma de áudio ou vídeo, que será aplicado nas quatro turmas da 2ª série do Ensino Médio do _____, que posteriormente será analisado. A obtenção de dados será realizada durante o horário e período normais de aulas, não sendo necessários deslocamentos em horários extraclasse.

IMPORTANTE: Ao aluno participante garantimos sigilo das informações, as quais somente serão utilizadas como dados de pesquisa. Assim sendo, apenas os pesquisadores terão acesso ao material coletado e, em nenhum momento serão divulgados os nomes dos participantes. Além do mais, as gravações serão realizadas na presença do professor da escola. Ressaltamos ainda que, para alunos com idade inferior a 18 anos, os pais ou responsáveis deverão consentir com a participação do estudante assinando esse Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Caso haja participantes com idade igual ou superior a 18 anos, ele próprio poderá assinar este termo. Nenhum dos participantes terá gastos financeiros com a pesquisa. Por fim, garantimos que a participação na pesquisa não oferecerá nenhuma penalidade ou prejuízo aos alunos e é voluntária, sendo que o seu consentimento poderá ser retirado a qualquer momento.

Após análise, a transcrição dos diálogos constituirá a parte empírica do trabalho de conclusão de curso do graduando e pesquisador _____, que se compromete trazer nesse trabalho contribuições em relação ao ensino e a aprendizagem de Ciências, em especial para a educação básica. O encerramento da pesquisa se dará após avaliação final do material coletado que será arquivado para possíveis análises futuras.m

Caso necessitem de maiores informações, os pesquisadores estão à disposição para esclarecer as dúvidas, pelo correio eletrônico ou pessoalmente.

Nome do Orientador
Pesq. Respon. (E-mail)

Nome do Prof. Colégio
Pesq. Part. (E-mail)

Nome do Graduando
Pesq. Part. (E-mail)

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO (Assinado pelo(a) estudante)

Eu, _____, RG/CPF _____, abaixo assinado, concordo em participar da pesquisa Nome do projeto. Fui devidamente informado(a) e esclarecido(a) pelo pesquisador e por meio desse termo sobre a pesquisa e os procedimentos envolvidos, assim como possíveis prejuízos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me explicado e garantido a participação voluntária e o sigilo das informações coletadas.

Florianópolis, _____ de _____ de 2013

Assinatura _____

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO (Assinado pelo(a) responsável)

Eu, _____, RG/CPF _____, abaixo assinado, responsável pelo(a) aluno(a) _____, autorizo sua participação na pesquisa Nome do projeto. Fui devidamente informado(a) e esclarecido(a) pelo pesquisador e por meio desse termo sobre a pesquisa e os procedimentos envolvidos, assim como possíveis prejuízos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me explicado e garantido a participação voluntária e o sigilo das informações coletadas.

Florianópolis, _____ de _____ de 2013

Assinatura _____

ANEXO A – Modelo do cronograma

TEMAS E GRUPOS	Problemas a serem respondidos	Data de entrega e de apresentação
Olho humano	O que é necessário para enxergarmos?	Entrega: XX/XX Apresentação: XX/XX
Câmeras fotográficas	Como se formam as fotos?	Entrega: XX/XX Apresentação: XX/XX
Arco-íris	Como se forma o arco-íris no céu?	Entrega: XX/XX Apresentação: XX/XX
Fotos/filmes em 3D	O que é necessário para vermos uma imagem em 3D?	Entrega: XX/XX Apresentação: XX/XX
Cor do céu e por do Sol	Quais as cores do céu e do Sol?	Entrega: XX/XX Apresentação: XX/XX

Etapas: PRODUÇÃO	Etapas: APRESENTAÇÃO
<p>1) Participação: a participação de toda a equipe determinará em grande medida a qualidade do trabalho que será construído e apresentado. Por isso, em cada aula as equipes serão orientadas e avaliadas quanto a presença e trabalho de todo o grupo.</p> <p>2) Resumo: produção de um resumo de uma página sobre o tema explorado</p> <p>3) Atividade experimental: construção de pelo menos uma atividade experimental, com o auxílio da professora e dos bolsistas, que exemplique algum conceito ou aborde</p>	<p>1) Apresentação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cada equipe terá o tempo de 1 aula (45 minutos) para apresentar seu trabalho à turma. • A apresentação será avaliada com base nos seguintes critérios: organização, clareza, adequação dos conceitos físicos, abordagem dada ao tema e ao problema principal, participação dos membros da equipe. • Atividade experimental <p>2) Responder o problema ou questionamento:</p>

o problema a ser respondido.	<ul style="list-style-type: none"> • Cada equipe terá um problema ou questionamento relacionado ao seu tema que deverá ser respondido durante a apresentação, com base nos conceitos e fenômeno abordados.
------------------------------	---

CRONOGRAMA	
DATA	ATIVIDADE
XX/XX	Apresentação do projeto, definição dos grupos, sorteio dos temas
	Introdução + Familiarização com o tema
XX/XX	Familiarização com o tema
	Pesquisa e elaboração da RESPOSTA AO PROBLEMA
XX/XX	Pesquisa e preparação da ATIVIDADE EXPERIMENTAL
	Pesquisa e preparação do RESUMO
XX/XX	Entrega do material: Pasta virtual com arquivo ou link da apresentação PRONTA, resumo redigido em editor de texto PRONTO e atividade experimental SELECIONADA (TODAS AS EQUIPES)
	Apresentação do grupo 1
XX/XX	Apresentação do grupo 2
	Apresentação do grupo 3
XX/XX	Apresentação do grupo 4
	Apresentação do grupo 5

ANEXO B – Modelo de ficha de avaliação

GRUPO	Abordou e respondeu os problemas propostos?	Explorou adequadamente os conceitos?	Realizou e explicou, adequadamente, ao menos uma atividade prática ou experimental?	A apresentação foi organizada e clara, possibilitando a compreensão do tema?	Comentários sobre a participação dos membros da equipe.
Olho humano	[Problematização Inicial] [Outras questões]				
Câmeras fotográficas	[Problematização Inicial] [Outras questões]				
Arco-íris	[Problematização Inicial] [Outras questões]				
Fotos/filmes 3D	[Problematização Inicial] [Outras questões]				
Cor do céu e por do Sol	[Problematização Inicial] [Outras questões]				

ANEXO C – Modelo de Ficha de Entrega

GRUPO	1ª Turma A			2ª Turma B		
	Resumo	AE	AP	Resumo	AE	AP
Olho humano						
Câmeras fotográficas						
Arco-íris						
Fotos/filmes em 3D						
Cor do céu e por do Sol						

ANEXO D – Lista de materiais didáticos para consulta dos alunos

- BÔAS, N. V.; DOCA, R. H.; BISCUOLA, G. J. **Física**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, v. 2, 2010.
- BRASIL. Observatório Nacional. **As cores do céu**, 2011. Disponível em: <http://www.on.br/pequeno_cientista/conteudo/revista/pdf/cores_ceu.pdf>. Acesso em: 14 Novembro 2013.
- FIGUEIREDO, A.; PIETROCOLA, M. **Luz e Cores**. São Paulo: FTD, 1997.
- GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA. **Física 2: Térmica / Óptica**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade da São Paulo, 202.
- LANDIM, W. Como funciona os diferentes tipos de 3D? **Tecmundo**. Disponível em: < <http://www.tecmundo.com.br/3d/8154-como-funcionam-os-diferentes-tipos-de-3d-.htm>>. Acesso em: 17 Novembro 2013.
- MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Cusdo de Física**. São Paulo: Scipione, 2011.
- PIETROCOLA, M. et al. **Física em contexto: pessoal, social e histórico: energia, calor, imagem e som**. 1. ed. São Paulo: FTD, v. 2, 2010.
- RIBEIRO, J. L. P.; VERDEAUX, M. D. F. D. S. Experimento simples, explicação nem tanto! Reflexão e polarização em óculos 3D. **Física na Escola**, v. 13, n. 1, p. 14-16, Maio 2012.
- ROCHA, M. N. et al. O azul do céu e o vermelho do por do Sol. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, Setembro 2010.
- SANT'ANNA, B. et al. **Conexões com a Física**. 1. ed. São Paulo: Moderna, v. 2, 2010.
- SILVEIRA, F. L. D.; SARAIVA, M. D. F. O. As cores da lua cheia. **Física na Escola**, v. 9, n. 2, p. 20-24, 2008.
- TORRES, C. M. A.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. D. T. **Física - Ciência e Tecnologia**. 2. ed. São Paulo: Moderna, v. 2, 2010.
- TRAGTENBERG, M. As belezas do arco-íris e seus segredos. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 3, n. 1, p. 26-35, Abril 1986.
- YAMAMOTO, K.; FUKU, L. F. **Física para o Ensino Médio**. 1 ed. São Paulo: Saraiva, v. 2, 2010.

ANEXO E – Lista de experimentos

CÂMARA ESCURA. Disponível em:
<<http://www.youtube.com/watch?v=yZlt8VgjKdc>>. Acesso em: 28 de nov de 2013

CORES PRIMÁRIAS. Disponível em:
<<http://www.uesc.br/caminhaocomciencia/expluzcores.htm>>. Acesso em: 28 de nov de 2013

LENTE MACRO COM A CÂMERA DO CELULAR. Disponível em:
<<http://www.youtube.com/watch?v=O8-f-XfXQd8>>. Acesso em: 28 de nov de 2013

DISPERSÃO DA LUZ COM UM PRISMA OU ÁGUA. Disponível em:
<<http://www.youtube.com/watch?v=f9ZSX-JtsCs>>. Acesso em: 28 de nov de 2013

DISCO DE NEWTON. Disponível em: < <http://fisicanoja.blogspot.com.br/>>.
Acesso em: 28 de nov de 2013

PROPAGAÇÃO DA LUZ NA ÁGUA/REFLEXÃO TOTAL. Disponível em:
<http://www.youtube.com/watch?v=X_E9kmiUpsw>. Acesso em: 28 de nov de 2013

ÓCULOS 3D. Disponível em:
<<http://www.manualdomundo.com.br/2012/10/como-fazer-oculos-3d/>>. Acesso em: 28 de nov de 2013

ESPALHAMENTO DA LUZ COM LEITE - Disponível em:
<<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v32n3/v32n3a13.pdf>>. Acesso em: 28 de nov de 2013