



Licenciatura de Física  
Instituto de Física  
UFRJ

**PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO DE FINAL DE CURSO**

**A PERCEPÇÃO DA COR E DA LUZ:  
DIFERENTES ABORDAGENS DE APLICAÇÃO  
MOTIVADORA NO ENSINO**

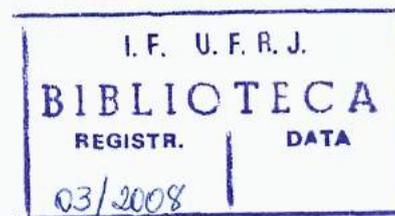
**Bianca da Costa Margato**

**Orientador:**  
Ricardo Barthem

**Banca:**  
Francisco Artur Braun Chaves  
Marcos Binderly Gaspar  
Vitorvani Soares

**Março de 2008**

**03/2008**



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS por permitir que até aqui eu pudesse chegar.

Agradeço a mim, pela minha ambição.

Aos meus amados pais, Luci e Coca, pelo imenso apoio em todos os momentos da minha vida e por terem me dado a base dos meus conhecimentos e meus princípios.

Aos meus avós, por serem meus segundos pais.

Á minha irmã e aos meus primos por entenderem minha maluquice, mas mesmo assim continuarem me “zuando”.

Aos meus tios que torceram por mim o tempo todo. Ao meu tio Wanderley, por me oferecer uma ampla base cultural em nossas conversas. Ao meu tio Fernando...

Aos meus amigos de faculdade (Bruno, Cabral, Felipe, Maylla, Richard e Quintela) pelo estudo, companheirismo e pelos passeios que não existiram.

Ao meu amigo e namorado, Rodrigo, por estar sempre do meu lado.

Enfim, a todos que direta e indiretamente estiveram me apoiando para que este trabalho se concretizasse.

## RESUMO

Os estudantes consideram a Física como apenas um amontoado de fórmulas usadas para resolver problemas. A resolução de problemas consiste apenas em escolher as equações apropriadas, substituir os números e calcular as incógnitas. Devemos mostrá-los que a Física consiste em descrever uma grande variedade de fenômenos com um conjunto muito limitado de leis e princípios fundamentais. Para que isso possa ser possível, acreditamos que aplicação de diferentes abordagens escolhidas em função do objetivo do professor e do individualismo da turma, possam suprir a necessidade de mudança e motivar a aprendizagem.

O uso de estratégias de ensino é de irrevogável importância. O desinteresse apresentado pela maioria dos alunos em aprender, não só Física como qualquer conteúdo, é desesperador. Não temos que fazer qualquer coisa para chamar a atenção do aluno. O conteúdo continua sendo o mais importante, mas podemos tentar melhorar sua atratividade diversificando a maneira pela qual o apresentaremos.

Este trabalho contém uma proposta para ser aplicada em aulas de Física, tentando diversificar o ensino que encontramos hoje nas escolas, contextualizando-o, mas com o objetivo principal de motivar o aluno. Destina-se aos alunos de licenciatura em Física, bem como aos da área do ensino médio, com a intenção de levar os alunos a compreender melhor o conceito da interação da luz com a matéria através de várias sugestões de aulas, descritas em seus aspectos técnicos, teóricos e didáticos.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> -----	1
<b>1 - HISTÓRIA</b> -----	4
1.1- Justificativa -----	4
1.1.1. Introdução -----	4
1.1.2. Contribuições -----	4
1.1.3. Dificuldades -----	5
1.1.4. Estratégias -----	7
1.1.5. Considerações Finais -----	8
1.2- Exemplo -----	8
1.2.1. Evolução da Concepção da Luz -----	8
1.2.2 Evolução da Concepção da Cor e da Visão -----	17
<b>2 - LABORATÓRIO</b> -----	24
2.1- Justificativa -----	24
2.1.1. Tipos de Laboratório -----	24
2.1.2. Estratégias -----	27
2.1.3. Considerações Finais -----	29
2.2 - Exemplo -----	30
2.2.1. Caixa de Imagem -----	30
2.2.2. Disco de Newton -----	33
2.2.3. Cor da Cor -----	35
2.2.4. Espectrógrafo -----	36
<b>3 – INFORMÁTICA</b> -----	39
3.1- Justificativa -----	39
3.1.1. Introdução -----	39
3.1.2. Contribuições -----	40
3.1.3. Dificuldades -----	41
3.1.4. Estratégias -----	42
3.1.5. Considerações Finais -----	42
3.2- Exemplo -----	43
3.2.1. Breve Teoria -----	43
3.2.2. Cores Primárias -----	44
3.2.3. Misturas -----	45
3.2.4. Mais Exemplos -----	47
<b>CONCLUSÕES</b> -----	49
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> -----	51

## INTRODUÇÃO

Por muito tempo o Ensino Médio foi considerado como apenas uma preparação para o Ensino Universitário, treinando o aluno para a realização do vestibular. Porém, a realidade atual é totalmente diferente. A escola média deve estar voltada para formação de jovens para se tornarem cidadãos, porque, nem todos os alunos buscam o Ensino Superior. Então, ao invés de considerar o que um indivíduo precisa saber para sua jornada na vida acadêmica, temos que tomar como referência o que esse jovem precisa saber para viver em um mundo complexo, tecnológico e em constante transformação [1].

O Ensino Médio é a última etapa da formação básica de um cidadão e espera-se que, ao final desse nível de ensino, o aluno esteja em condições de realizar seus projetos pessoais e coletivos. Essa etapa é considerada como a formação necessária para a constituição do cidadão, na concepção da lei [2]. Por isso, a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico são considerados como seus objetivos centrais [3].

Na realidade, a escola tem sido criticada pela baixa qualidade de seu ensino, pela sua incapacidade em preparar os estudantes para ingressar no mercado de trabalho ou na universidade, por não cumprir adequadamente seu papel de formação das crianças e adolescentes e pelo fato de que o conhecimento que os estudantes exibem ao deixar a escola é fragmentado e de aplicação limitada. A escola também não tem conseguido formar pessoas acostumadas a tomar decisões, avaliar alternativas de maneira crítica e independente e a trabalhar em cooperação.

Além dos problemas encontrados na escola, queremos discutir aqui alguns problemas específicos do Ensino de Física, pois são conhecidas as dificuldades que muitos alunos apresentam na compreensão dos fenômenos físicos. Para a maior parte dos alunos, a Física não passa de um conjunto de códigos e fórmulas matemáticas a serem memorizadas e estudo de situações que, na maioria das vezes, estão totalmente alheias às suas experiências cotidianas. Em geral, estes alunos não fazem uma conexão entre a Física aprendida e o mundo ao seu redor. Entre as razões do insucesso na aprendizagem em Física são apontados métodos de ensino desajustados das teorias de aprendizagem mais recentes, assim como falta de meios pedagógicos modernos. A necessidade de diversificar métodos para combater o insucesso escolar conduziu ao uso crescente e diversificado de novas estratégias didáticas [4].

Nós, professores, temos que nos perguntar: qual é o objetivo do ensino da Física e sobre quais conteúdos devem ser abordados. Mas isso por si só não basta, temos que nos

perguntar principalmente: qual é a melhor maneira de abordarmos os assuntos ensinados. Devemos discutir sobre a forma de pensar o trabalho de ensinar. Não podemos nos restringir a repensar qual parte da Física devemos ensinar, mas à busca de uma postura diferente em muitos e diversificados aspectos.

A realidade que temos hoje no Ensino de Física é uma grande dificuldade apresentada pela maioria dos alunos em compreender a complexidade dos conceitos físicos. Essas dificuldades, muito das vezes, são justificadas pela própria linguagem utilizada para a descrição dos fenômenos físicos, a matemática. Essa apresentação do conteúdo tem um nível de abstração e idealização tal que o aluno não consegue acompanhar o raciocínio do professor. Isso faz com que ele memorize as fórmulas e as empregue de forma aleatória; que grave o que cada “letrinha” quer dizer e suas unidades, ou seja, pare de tentar entender o sentido físico e preste maior atenção na parte matemática, até porque isso é o que é necessário para obtenção de seu certificado de aprendizagem, uma nota acima de média.

O professor deve ter em mente, antes de qualquer coisa, qual é o objetivo do ensino e qual o papel da escola na aprendizagem. Depois verificar se sua atuação em sala de aula está a favor ou contra a esses princípios. Se estiver a favor, ótimo; se estiver contra ele deve adequar sua fala e atuação a esses objetivos. Analisando quais modificações seriam necessárias.

Mas antes de empenhar-se na geração de qualquer modificação no ensino, o professor deve tentar diagnosticar ao máximo os problemas que existem em sala de aula, justificando assim o porquê de algumas modificações serem imprescindíveis. Depois que isso for estabelecido, deve criar estratégias para tentar melhorar a relação ensino/aprendizagem. O uso das abordagens apresentadas nesse trabalho pode auxiliar ao professor que busca analisar possíveis alterações na estrutura de uma aula. Mas a maneira na qual serão inseridas as abordagens em seu plano de aula deverá ser estruturado de acordo com sua própria análise e experiência.

Esse trabalho foi elaborado da seguinte maneira: cada um dos três capítulos a seguir apresenta um exemplo de abordagem a ser utilizada no ensino de Física. Estas abordagens foram escolhidas por serem consideradas as mais usuais. Cada capítulo é constituído por duas partes, na primeira teremos uma justificativa do porquê do uso dessa atividade, além de ser citadas estratégias de aplicação, fala das dificuldades e facilidades do uso; na segunda parte há exemplos de conteúdo a ser utilizado em sala de aula.

Acreditamos que mudanças na estrutura do ensino de Física são necessárias. Um dos pontos que podem ser mudados, gerando mudanças rapidamente e sem muitos

empecilhos para a sua realização, seria a utilização de novas tecnologias de ensino em aulas de Física. Essas diferentes abordagens devem ser feitas como ferramentas auxílio, recursos a mais no processo de ensino/aprendizagem, nunca de forma única, devendo ser aliada aos demais recursos existentes. Cabe ao professor a responsabilidade de dosar o tempo de uso de cada recurso e o da criação de um ambiente em que o aluno possa perguntar, refletir, debater, pesquisar, onde ambos possam se sentir responsáveis pelo processo ensino/aprendizagem [5].

Independente da abordagem escolhida pelo professor, ela deve se adequar tanto a sua fala quanto ao conteúdo a ser introduzido, porque o objetivo de utilizá-la é tentar dispor ao aluno situações onde haja uma efetiva aprendizagem. É claro que os trabalhos aqui apresentados são meras exemplificações, cabe ao professor remodelá-las ou estruturar novas atividades de acordo com seus objetivos e conteúdos a serem abordados. Qualquer que seja o método de ensino escolhido, ele deve mobilizar a atividade do aprendiz em lugar da passividade. Quando o aluno participa da estruturação do conhecimento, ele cria um conhecimento muito mais sólido.

Nosso interesse maior é motivar estudantes, e a escolha do tema de exemplo foi definida pela importância da luz e da cor no mundo em que vivemos. Já que o assunto aplica-se em diversas áreas do conhecimento, como na iluminação em que publicitários utilizam a cor para influenciar a escolha de um produto, no estudo de como plantas e animais usam as cores para a defesa e procriação, na TV colorida em que a tela é constituída de linhas com estruturas individuais de pontos coloridos brilhantes de cores primárias, na tecelagem e em muitos outros lugares em que podemos identificar a técnica que será vista nos experimentos [6].

Devemos tentar dar mais sentido aos conceitos físicos abordados em sala de aula e compreender melhor as dúvidas trazidas pelos alunos. Os exemplos das abordagens aqui citadas têm o objetivo de introduzir modificações no ensino de Física, dar um significado para as informações aprendidas, contextualizando-as.

É preciso ter em mente que a educação não é algo que envolve apenas a informação. Educar consiste, igualmente, em fazer as pessoas pensarem sobre a informação e a refletirem criticamente. A Educação vista de uma forma global, lida com a compreensão, com o conhecimento e com a sabedoria. É preciso estimular a mente dos nossos estudantes e não apenas abarrotá-las de informações, de imagens enlatadas.

## 1. HISTÓRIA

### 1.1. Justificativa

#### 1.1.1. Introdução

Consideramos o uso da História da Ciência (HC) como uma estratégia facilitadora na compreensão de conceitos, modelos e teorias. Além disso, muitos professores têm interesse por ela, sendo indicada por vários autores, inclusive pelos próprios Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) [5].

A utilização de uma abordagem histórica na sala de aula no Ensino Médio pode ser justificada por vários motivos. Esta introdução foi elaborada como uma estratégia didática para substituir ou complementar outras abordagens na aprendizagem dos conteúdos já existentes e não deverá ser aplicada de maneira isolada, ou como uma nova disciplina, mas como parte de uma aula. É encargo do próprio professor, analisar o conteúdo e sua melhor aplicabilidade junto ao modelo científico que deseja introduzir, tendo sempre a função de motivação ao aluno. A exemplificação dessa abordagem, que será apresentada posteriormente, poderá ser tratada antes da aplicação do conteúdo a ser exposto. Mas a forma de como seria aplicada dependeria do objetivo de cada professor. Mais a frente apresentaremos algumas sugestões.

Os alunos vêem a Física como um amontoado de fórmulas e equações com pouco sentido, já que eles não têm a menor idéia de onde elas saíram e tudo passa a ser somente “decoreba”. Nosso objetivo é não só superar a fragmentação do ensino, como também a falta de significado da maioria dos conteúdos para os alunos. Propomos então a inserção da História dentro do conteúdo de Física, fazendo com que o aluno situe qualquer informação dentro de seu contexto.

Acreditamos que, para uma efetiva compreensão da Ciência e de seu papel no desenvolvimento da sociedade contemporânea, é fundamental que se discuta as condições históricas e filosóficas do desenvolvimento científico. A história mostra o desenvolvimento temporal de um saber científico, apresentando a ciência como uma verdade temporária e que a Ciência seria um estudo em contínuo processo de formação, pois do contrário, a Matemática e a experimentação se apresentariam como um simples passe de mágica.

#### 1.1.2. Contribuições

Há vários motivos que justificam a implementação da HC no Ensino Médio. Analisaremos cada um deles nos parágrafos que se seguem [7].

Muitos alunos adquirem ao longo de sua vida educacional uma idéia errônea de que a ciência é uma verdade absoluta. Isso nada mais é do que um absurdo imposto pelo próprio tipo de ensino que mais encontramos sendo utilizado nas escolas, onde o professor é o detentor de todo o conhecimento. Tomemos o simples exemplo da natureza da luz, que era puramente filosófica até, aproximadamente, o início do século XVII. Porém, no meado desse século essa controvérsia passou do campo filosófico para o campo científico. No decorrer do tempo essa polêmica cada vez aumentava mais. Esse conflito de idéias pode ser exemplificado, de um lado, pela teoria da refração de Huygens que era baseado na teoria ondulatória da luz, acreditando também que a velocidade da luz deveria ser menor em meios mais denso. Do outro lado temos Newton que considerava a teoria corpuscular da luz, onde sua interpretação da luz e prestígio fez prevalecer por todo o século XVIII sua teoria.

Isso demonstra ao aluno que a construção da Ciência não é pontual, que não é criada ao simples cair de uma maçã sobre a cabeça de alguém. Ela é construída através dos anos por pessoas diferentes que vão contribuindo cada um da sua maneira e de maneira conjunta no processo de formação do conhecimento.

Ter uma noção de um panorama histórico, não apenas amplia o horizonte do aluno, como também, pode chamar a atenção dos alunos voltados para as Ciências Humanas. O desenvolvimento científico é visto como tendo todo um fundamento de caráter social, religioso, histórico e, algumas vezes, até mesmo, financeiro. Apresenta, também, a importância na sociedade do desenvolvimento científico e que este por sua vez, faz parte da cultura. Além disso, ajuda o aluno a entender melhor os conteúdos, a origem dos conceitos, facilita o aprendizado das leis, princípios e dá sentido ao conhecimento, contextualizando-o. E ainda, ajuda a despertar a curiosidade dos alunos e o seu interesse pela ciência tornando o ensino mais prazeroso, proporcionando ao aluno um contexto mais participativo em sala de aula.

A desmistificação da ciência contribui para uma formação crítica, mostrando que a Ciência se constrói em cima de erros e acertos e que ela só se estabelece através de um processo contínuo de formação ao longo do tempo. Isso mostra que o conceito que ele está aprendendo é uma verdade até que se prove o contrário e não uma verdade absoluta.

### 1.1.3. Dificuldades

Acreditamos que a maior dificuldade para a aplicação da HC no trabalho realizado pelo professor seja a enorme falta de material didático adequado, e a pouca ou nula presença desse tipo de conteúdo nos livros existentes [8]. E quando está presente, vem abordada de maneira muito sucinta, fragmentada e com conteúdos descontextualizados, apresentando relatos esparsos e desconexos da História.

Mas a produção de material didático de qualidade, não é o único problema a ser considerado no contexto de dificuldades a serem enfrentadas. Há a necessidade de um trabalho em diversas outras frentes. Existe, por exemplo, a questão dos exames vestibulares e dos conteúdos exigidos pelas escolas, aos quais os indivíduos sentem-se presos. Esse problema estaria relacionado à estrutura do sistema de ensino, que apresenta uma fragmentação e formatação no conhecimento adquirido pelo aluno, que são treinados para se adaptar ao currículo escolar e dos exames vestibulares. Podemos perceber que os professores sentem-se amarrados a uma lista de conteúdos presente nos livros didáticos e impostos pelas escolas, quase sempre visando ao vestibular. Nesse sentido, entramos em contato com um novo empecilho: existe uma extensa lista de conteúdos já presentes no ensino médio e pouco tempo disponível para aplicá-los.

Apontamos também, como outro obstáculo, a própria formação e a falta de preparo dos professores. Em algumas justificativas, a responsabilidade é explicitamente dirigida aos cursos de formação inicial. Em outras, essa responsabilidade não fica claramente determinada, podendo ser tanto dos currículos das licenciaturas quanto relativas a uma busca pessoal dos professores em prol de sua própria formação. Também pode acontecer a falta de interesse ou vontade do professor, que pode ser justificada devido a sua inércia diante dos problemas educacionais, ou o mais aceitável, sua falta de tempo, porque o professor, na maioria das vezes, não trabalha em apenas um colégio e a maioria de suas turmas tem uma grande quantidade de alunos.

Verificamos que a História e a Física, tal como nós estudamos, não apresentam nenhuma relação, o que acarreta problemas ao se integrar as duas disciplinas. Isso é justificado pela própria formação de alunos e professores, preparados para pensar separadamente; e devido ao formato do ensino que temos hoje, que favorece a fragmentação do conhecimento. Além disso, nossa estrutura de ensino favorece o aparecimento de idéias que conduzem o aluno a olhar e a considerar, por exemplo, o passado como inferior, acreditando que o tempo presente é o melhor.

Devemos assinalar, ainda como dificuldades enfrentadas, a leitura e a interpretação de texto por parte dos alunos, o pouco hábito de leitura dos alunos e textos pouco

amigáveis, com também, a possibilidade de colocar esses elementos como leitura complementar.

Muita das vezes existe também, uma resistência dos alunos e da própria escola a qualquer inovação: um apego ao tradicionalismo. Os sujeitos temem romper com práticas estabelecidas e comuns nas escolas, e com isso passarem por “maus professores”. O interessante é que isso mostra certa falta de conhecimento e de convicção em relação ao uso de estratégias didáticas que fujam ao verbalismo e à simples exposição de conteúdos. Também pode indicar um desconhecimento do funcionamento real das escolas e até certo grau de acomodação. De certo modo, atribui-se ao outro (os alunos, a direção, etc) um receio que pode ser do próprio docente.

O planejamento e a execução das aulas em si, a possibilidade da aula ficar cansativa ou monótona. A dificuldade pode estar relacionada com a forma como esses conhecimentos devem ser introduzidos no ensino, ou seja, como fazer para levar esse conhecimento para sala de aula.

#### 1.1.4. Estratégias

A percepção que tivemos de que, independentemente do tema, a HC é vista como um tipo de conteúdo a ser usado como introdução de um assunto, em geral. Não parece ser parte integrante de outros momentos do desenvolvimento do programa, mas algo que se utiliza com a perspectiva de motivar os alunos para estudos posteriores, ou apresentar o assunto. Nesse sentido, ela seria também uma estratégia, mas vinculada à motivação [9].

Muitos são os aspectos de natureza metodológica no trabalho com a HC. Algumas delas envolvem, em geral, o uso de textos/leituras, seminários, pesquisas, discussões coletivas e debates.

Foi encontrada uma enorme quantidade de artigos com alguns tipos de metodologia. Num deles temos a realização de um julgamento [10], onde um professor propõe uma situação (que seria a ré), dividiu a turma em três grupos, um sendo os advogados de defesa, outros sendo os promotores e o terceiro sendo os jurados, grupo do qual sairia o juiz. Os dois primeiros grupos deveriam criar personagens históricos que auxiliariam a defender seus pontos de vista e os jurados e juiz deveriam incrementar com perguntas relevantes até que chegassem ao veredicto. Porém, antes do trabalho proposto, cujo desenvolvimento demorou cerca de três meses, foi indicado aos alunos a leitura de um livro e a visualização de um filme, sendo que todo o processo (realização das perguntas,

criação dos personagens e etc.) foi acompanhado pelos professores. Cabe ao professor adaptar as atividades realizadas de acordo com seus interesses. [11]

#### 1.1.5. Considerações Finais

Como saída para sanar as algumas das dificuldades encontradas, os professores poderiam estruturar seus próprios textos, resgatando com isso as relações existentes entre as diferentes disciplinas, produzindo um material que contenha conhecimento histórico e técnico, de acordo com seu próprio objetivo.

Do ponto de vista da formação de professores, não basta que tenhamos disciplinas de HC nas licenciaturas. É preciso refletir sobre o como fazer. Devemos usar a HC como uma estratégia didática facilitadora na compreensão de conceitos, algo a ser acrescentado ao currículo e que contextualize o conteúdo físico. Temos também, que refletir, sobre qual seria os melhores aspectos metodológicos, como será o planejamento e à execução das aulas, de acordo com cada objetivo que o professor queira atingir. Não podemos deixar as aulas monótonas e nesse sentido, a questão do material didático passa para um segundo plano, uma vez que como usá-lo torna-se o ponto crucial. Os cursos de formação inicial e continuada de professores precisam levar isso em conta, pois de nada adianta o conhecimento do conteúdo sem o conhecimento pedagógico do conteúdo. Se quisermos contemplar a HC no ensino médio, devemos trazer esse debate metodológico para os currículos das licenciaturas buscar uma maior integração com outras áreas do conhecimento, como a Pedagogia e a História, entre outras, que seriam extremamente necessárias para que o aluno possa adquirir um conhecimento permanente.

Como objetivo geral, queremos que o aluno consiga enxergar a realidade à sua volta com outros olhos, livre, na medida do possível, de preconceitos e interpretações equivocadas do que seria a Ciência. Temos que fazer com que os alunos entendam que a incerteza vivida pela Ciência exerce um papel relevante no desenvolvimento do conhecimento científico. Trabalhando com a história da Física damos a idéia de que esta é continuamente construída. Que evolui com o tempo. E torna os cientistas, e a própria Física, mais próximos deles.

#### 1.2. Exemplo [12-17]

##### 1.2.1. Evolução da Concepção da Luz

As questões sobre a estrutura e o funcionamento das partes do olho, ou questões sobre como a luz se comporta na reflexão e refração, não chegaram nem perto da sofisticada pergunta sobre a natureza da luz. Para progredir em respostas sobre essa questão, muitas observações refinadas foram realizadas. Antes de 1600, houve um grande progresso que foi obtido em negociação com a mecânica da visão e o comportamento dos raios de luz quando estes se movem de um meio ao outro. Simples leis de óptica foram formuladas, o uso de lentes foi explorado, e maneiras de contornar defeitos na visão foram desenvolvidas. Mas muito pouco foi respondido da mais profunda questão: qual a verdadeira natureza da luz? Depois de 1600, essa se tornou uma das principais questões para serem resolvidas pela comunidade científica.

A evolução do nosso entendimento sobre a natureza da luz é um dos maiores acontecimentos da história da ciência. Desde o alvorecer da Física Moderna no século XVI e XVII, a luz era imaginada como partícula ou como onda, ou seja, os modelos não eram compatíveis. Cada cientista escolhia sua opção para a natureza da luz. No século XX, essa idéia começou a clarear mostrando que, de algum modo, a luz era dual, ou seja, tanto onda quando partícula, contudo não era precisamente nenhuma opção separadamente. Por algum tempo essa conturbada situação, conhecida como a dualidade da onda-partícula, motivou a maioria dos cientistas a procurarem uma saída para esse aparente contraditório modelo para a luz. A solução foi alcançada com a criação do quantum eletromagnético.

No que segue, nós vamos descrever breves acontecimentos para o desenvolvimento dessa compreensão. O resultado final é que a luz e as partículas subatômicas, como por exemplo, elétrons, são ambos considerados manifestações da matéria ou energia que se encontram sobre o mesmo princípio físico.

Os antigos gregos examinaram a luz meticulosamente e chegaram a diversas conclusões. A escola Pitagórica presumia que todo o objeto visível emitia uma corrente constante de partículas. Aristóteles (384-322 a.C.) foi a primeira pessoa, que se tem notícia, a adotar a natureza ondulatória da luz, pois para ele a luz era uma espécie de fluido imaterial que chegava aos nossos olhos, vindo dos objetos visíveis, através de ondas.

Com o passar do tempo os gregos começaram a perceber que para identificar qualquer coisa: sólido, líquido, gasoso, ou pura energia, precisavam estudar suas propriedades, com isso conseguiram desenvolver novas teorias, como por exemplo, consideraram que a luz se propaga em linha reta. Heron de Alexandria (10-70 d.C.) fez uma segunda descoberta importante sobre a luz. Fazendo experiências com espelhos, Heron observou que todo o feixe luminoso que incidia em ângulo no espelho retornava em um ângulo igual. Essa observação levou a seguinte lei básica: o ângulo de incidência e o

ângulo de reflexão são sempre iguais. Mas tivemos que esperar até o século XI para colocar os dois no mesmo plano.

Robert Grosseteste (1168-1253) concebia a luz como a primeira forma de matéria-prima a ser criada, uma substância física que se propagava a partir de sua fonte, de onde surgiam as três dimensões do espaço. Estudou a Óptica, que considerava uma ciência física básica, e muito contribuiu para o avanço da ciência. Leonardo da Vinci (1452-1519) também se interessou pela luz, mais do ponto de vista científico do que artístico, o que o levou a estudar fenômenos ópticos e a conhecer a câmara escura, precursora da máquina fotográfica e filmadora.

Durante séculos outro fato estranho vinha sendo observado: um bastão reto colocado obliquamente na água não mais parece reto a um observador. A parte submersa parece inclinar-se em outra direção. Em 1621, um matemático holandês, Willebrord Snell (1580-1626), explicou finalmente esse fenômeno. Disse que um raio de luz que deixa um meio transparente e penetra em outro muda geralmente de direção na superfície de separação dos dois meios. Uma parte é refletida de acordo com a lei de Heron. A outra parte continua dentro do segundo meio. O motivo de um bastão parecer desviar-se na entrada do segundo meio é que os raios luminosos que levam sua imagem aos olhos mudam subitamente de direção nesse local. Ele demorou muito tempo para elaborar o princípio da refração, porque este parecia ser extremamente incerto, até que descobriu mais uma coisa: o ângulo de incidência da luz também tem relação com a quantidade de refração.

Ainda que essas idéias fossem aos poucos sendo modificadas à medida que o homem começou a estudar a luz com equipamentos mais complexos, 20 séculos mais tarde, a essência da controvérsia, estabelecida pelos gregos, continuou. Apesar de muitos sábios continuarem a meditar sobre a natureza da luz, até o século XVII o progresso nesse campo foi lento. Somente nos séculos XVII e XVIII foram produzidas respostas parciais sobre essa questão fundamental.

A contribuição de Descartes (1596-1650) que apresentou uma teoria da natureza da luz que serviu para o começo da teoria moderna. A proposta da existência de algo que preenchia todo o espaço, o éter, provavelmente foi colocada por ele ao descrever a luz como um tipo de onda mecânica que se propaga pelo éter. Essa proposta é extremamente natural já que todas as ondas conhecidas até então eram mecânicas, ou seja, tinham necessidade de um meio pra se propagarem. Em sua teoria, ele diz que a velocidade da luz aumenta em um meio mais denso. Essa conclusão foi desafiada pelo matemático francês, Pierre de Fermat (1601-1665), que argumentou corretamente que a velocidade da luz

deveria ser menor, de acordo com a lei de Snell ( $n_1 \cdot \text{sen}(\theta_i) = n_2 \cdot \text{sen}(\theta_r)$ ). Fermat dizia que os raios de luz viajam de um ponto a outro pelo menor caminho geométrico possível. Para ser consistente com o fato experimental da reflexão, no qual esse menor caminho não é realizado, Fermat afirmou que a trajetória realizada é certamente a trajetória do caminho de menor intervalo de tempo.

Robert Hooke (1635-1703), físico e matemático inglês, que construiu o primeiro telescópio refletor gregoriano, também rejeita a teoria de Descartes e diz que a luz se propaga no éter em oscilações longitudinais das partículas de éter. O jesuíta italiano, Francesco Grimaldi (1618-1663) descreveu o espalhamento da onda de luz ao passar por uma fenda, ou seja, ao passar por uma abertura estreita, verificou que o feixe de luz se espalhava do outro lado, como se fosse uma nova fonte de onda, o que impedia a formação de sombras. O fenômeno descrito é o de difração e levou Grimaldi a uma concepção vibratória da luz. Através dessa concepção ele explicou que a formação de cores quando a luz atravessa o prisma é decorrente da “mudança de velocidade do movimento vibratório, que essas diferenças de cor são produzidas pelas vibrações de um fluido que atua sobre o olho com velocidades diferentes, assim como a diversidade dos sons é devido à vibração do ar de rapidez desigual”.

Christian Huygens (1629-1695), um cientista holandês contemporâneo, defendeu uma visão (em seu Tratado sobre Luz) de que a luz é uma onda, que se propaga em todas as direções e necessita de um meio para se propagar, o éter. Ele se impressionou, por exemplo, com o fato experimental de que quando dois feixes de luz se interceptavam, eles continuam sua propagação como se nada tivesse acontecido. Adotando a teoria da onda, Huygens mostrou como o progresso da frente de onda pode ser determinado a partir de sua posição inicial (Princípio de Huygens). Usando esse princípio, ele foi capaz de deduzir as leis de reflexão e refração e de explicar a dupla refração na calcita (mineral com composição química  $\text{CaCO}_3$ ) tão bem. Além disso, ele acreditava que a velocidade da luz em qualquer substância era inversamente proporcional ao seu índice de refração, isto é, quanto mais a luz diminuía de velocidade, maior seria seu desvio. Mas, se fosse constituída por uma corrente contínua de partículas, o inverso é que seria verdadeiro.

No século XVII, o maior defensor da teoria de que a luz era partícula foi Isaac Newton (1642-1727), o mesmo gênio criativo que desenvolveu a ciência da mecânica e da gravitação. Ele foi talvez o maior conhecedor em óptica pelo seu experimento com prismas, que mostra que a luz branca é composta de todas as cores e que pode ser separada (e recombinada) pela ação de dispersão no prisma. Em seu tratado *Optiks*, Newton claramente considera os raios de luz como corrente de muitas partículas extremamente

pequenas emitidas pela fonte de luz e que viajam em linha reta. Embora Newton tenha muitas vezes argumentado fortemente contra hipóteses que não eram adquiridas através de observações e experimentalmente, ele adota a hipótese de luz como partícula, acreditando que seria adequadamente justificado pelos fenômenos que ele tinha observado, como por exemplo o fato de que a luz lançada sobre o objeto faz sombra, em contraste com as ondas sonoras ou as ondas na água, que contorna os objetos.

Por volta de 1665, Newton começou a fazer experiências para descobrir porque as bolinhas de sabão, feitas de líquido incolor, apresentavam em suas superfícies cores brilhantes e oscilantes. Pensando que este fato poderia estar relacionado com a proximidade das superfícies interna e externa da bolha, colocou uma lente convexa bem delgada sobre uma placa de vidro plano. O resultado o surpreendeu. Ao redor do centro do ponto de contato ele viu uma sucessão de círculos coloridos: preto, azul claro, branco, laranja, vermelho, azul, verde, amarelo, etc. Esse não era o espectro comum, as cores estavam misturadas a esmo segundo uma lógica estranha, própria delas. Mas isso não era tudo. Se ele iluminava o aparato só com a luz vermelha, obtinha círculos vermelhos e pretos alternados; se com luz azul, os círculos eram pretos e azuis. Essa experiência é conhecida como os anéis de Newton. Tal modelo de luz não é fácil de ser explicado pela visão de luz como um fluxo de partículas viajando em linhas retas. Mesmo assim, Newton manteve sua hipótese de luz como partícula, porque os principais fenômenos óticos (reflexão e refração) são explicados com o uso da teoria corpuscular. A autoridade científica de Newton fez prevalecer sua teoria por mais de um século após seus trabalhos.

Dois anos após o centenário de publicação do tratado *Optiks* de Newton, um professor britânico de física em Londres, Thomas Young (1773-1829), elaborou uma experiência decisiva que necessitava de uma explicação ondulatória, voltando os olhares para antiga teoria ondulatória da luz, porque os fenômenos da difração e da interferência, descobertos por Huygens, eram características exclusivamente ondulatórias. Além disso, ele conseguiu explicar o que acontecia nos anéis de Newton. Foi o experimento de fendas duplas de Young, no qual um anteparo com duas fendas é iluminado por uma fonte puntiforme de luz monocromática (produzida por uma frente de onda que foi difratada por um anteparo que contém uma única fenda), a imagem obtida é projetada num anteparo final. Cada ponto do anteparo (anteparo final) recebe a luz vindo de dois pontos distintos (as duas fendas do anteparo anterior), a diferença do percurso da luz proveniente de cada uma das fendas até o ponto de observação faz com que ocorra uma diferença de fase entre as ondas. Nos pontos onde as duas ondas chegam em oposição de fase ocorre interferência destrutiva e então não é observada luz nenhuma, já nos pontos aonde as ondas provenientes

das duas fendas chegam em concordância de fase ocorre interferência construtiva e uma faixa brilhante aparece no anteparo.

Em 1850, Foucault (1819-1868) faz medidas da velocidade da luz no ar e no vácuo, que derrubam, de uma vez por todas, a teoria corpuscular de Newton.

Vitória da teoria ondulatória ao longo do século XX. Porém essa confiança se desmancha ao chegar a última parte desse século, onde se desencadeia uma pequena dúvida na comunidade científica de que a luz, como várias áreas clássicas da física, não foi bem compreendida.

Em 1821, o físico e engenheiro francês, Augustin Fresnel (1788-1827), publicou resultados de seus experimentos e análises, que requerem que a luz seja uma onda transversal. Apesar do grande sucesso que passa a desfrutar a teoria ondulatória, a polarização da luz, descoberta por Malus (1775-1812), fica sem explicação. Fresnel e Ampère cogitam como possível explicação para a polarização que a luz fosse a vibração transversal do éter, mas não a admitem publicamente. Muitas experiências apontam nessa direção.

De acordo com essas observações, a dupla refração na calcita pode ser entendida como um fenômeno envolvendo a luz polarizada. Foi assumido que a luz se propagava longitudinalmente pelo éter, como as ondas sonoras ou ondas num fluido, que não poderiam suportar vibrações transversais. Para cada uma dos dois componentes da polarização da luz, Fresnel desenvolveu suas equações, e com elas era possível descobrir a amplitude da luz refletida e transmitida proveniente de uma interface plana que separava dois meios ópticos. De acordo com a sua suposição teórica, Fresnel foi capaz de descrever um método de produzir luz polarizada circular.

A conexão entre a Óptica e o Eletromagnetismo começou com a introdução do conceito de linhas de força por Michael Faraday (1791-1867). Em 1845, Faraday observou que o campo magnético afetava a polarização de ondas luminosas ao passarem por uma região magnetizada. Isso levou Faraday a associar a luz com a radiação eletromagnética, mas ele não foi capaz de quantificar essa associação.

Apesar de quase todas as leis básicas e dos conceitos do eletromagnetismo já serem conhecidos em meados do século XIX, foi preciso aguardar a formulação matemática apresentada por James Maxwell (1831-1879) em 1864 e publicado no ano seguinte. Maxwell identificou a luz como uma perturbação eletromagnética na forma de onda se propagando por meio do campo eletromagnético de acordo com as leis do eletromagnetismo.

As equações de Maxwell, como passaram a ser conhecidas as leis do eletromagnetismo, segundo a formulação matemática de Maxwell, permitiram inclusive, deduzir a velocidade da luz. Demonstrando que o campo elétrico e magnético podiam se propagar como uma onda que viajaria com a velocidade da luz. Depois disso, a luz foi vista como uma região particular do espectro de radiação eletromagnética.

As previsões de Maxwell foram confirmadas, experimentalmente, em 1887 por Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), quando ele mostrou que as ondas eletromagnéticas tinham todas as propriedades das ondas luminosas. Em suas experiências, Hertz trabalhava com a geração de faíscas entre eletrodos, de uma maneira que fosse possível a emissão de ondas eletromagnética previstas por Maxwell.

Surpreendentemente, nos mesmos experimentos em que Hertz confirmou a natureza eletromagnética das ondas da luz, ele descobriu e registrou um fenômeno novo para a luz, pouco depois identificado como de natureza corpuscular. Este efeito consiste na retirada de elétrons da superfície de um metal atingindo por radiações eletromagnéticas. A radiação eletromagnética desprende os elétrons do material, deixando-as carregadas positivamente. Fenômeno que seria conhecido mais tarde como efeito fotoelétrico, mas Hertz não prosseguiu nessa pesquisa. Limitando-se a comunicar os resultados relacionados às equações de Maxwell.

O experimento (1887) de Albert Michelson (1852-1931) e Edward Morley (1838-1923), cujo objetivo era tentar detectar a velocidade da Terra em relação ao éter, e a teoria da relatividade especial (1905) de Albert Einstein (1879-1955) foram de fundamental importância. Juntas elas conduzem inevitavelmente a conclusão de que a suposição do éter foi desnecessária.

Se o século XIX serviu para estabelecer a teoria ondulatória da luz num sólido alicerce, esse alicerce foi pulverizado com o século seguinte. A controvérsia da onda-partícula foi retomada com vigor. Porque existiam dificuldades em explicar, com a teoria ondulatória, situações que envolviam a interação entre a luz com a matéria.

Em 1900, no alvorecer do século XX, Max Planck (1858-1947) anunciou para Sociedade Alemã de Física que estava apto para produzir corretamente o espectro de radiação emitida por um corpo negro, somente assumindo que os átomos emitem luz em discretos pacotes de energia em vez de emitir de maneira contínua. Então nasce o quanta e a mecânica quântica. De acordo com Planck, a energia  $E$  de uma quanta de radiação eletromagnética é proporcional a frequência  $f$  de radiação.

$$E = h.f \quad (1)$$

onde  $h$  é a constante de proporcionalidade, conhecida como constante de Planck ( $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{J.s}$ ).

A experiência que comprovou as equações de Maxwell foi retomada em 1902 por Philip Lenard (1862-1947), que tinha sido assistente de Hertz, já falecido na época. Ele demonstrou que a velocidade do elétron obtido era proporcional a frequência da luz incidente. Ele revelou ainda que um aumento na intensidade da luz não aumentava a velocidade dos elétrons ejetados, e sim sua quantidade. Contudo os resultados foram pouco quantitativos.

A explicação para o fenômeno observado por Hertz veio em 1905, quando um empregado administrativo suíço de patentes em Berne tornou a idéia de Planck mais revolucionária do que o próprio Planck jamais havia imaginado. Ela afirmou que a radiação era formada por pacotes de energia (fótons), a luz seria como uma corrente de fótons cuja energia está relacionada com a frequência dada pela equação de Planck, eq. (1). Depois de 1913, um físico dinamarquês, Niels Bohr (1885-1962), incorporou a radiação quântica para explicar o processo de emissão e absorção realizada pelo átomo de hidrogênio, providenciando a base física para se entender o espectro do hidrogênio. Novamente em 1922, o modelo corpuscular da luz veio à tona, sendo utilizado por Arthur Compton (1892-1962), que explicou a dispersão do Raio-X proveniente das colisões partículas de luz (fótons) e elétrons nas quais a energia e o momento eram conservados.

Os sucessos obtidos usando o modelo da luz como onda e como partícula indicaram que ela poderia ser tratada em alguns casos como um tipo particular de matéria, possuindo tanto energia quanto momento e em outros como uma onda. Em 1924, Luis de Broglie (1892-1987) publicou que partículas subatômicas se comportavam com propriedades ondulatórias. Ele sugeriu, que uma partícula com momento  $p$  tinha um comprimento de onda associado a

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (2)$$

onde  $h$  é novamente a constante de Planck.

A comprovação da teoria proposta por Broglie foi obtida durante os anos 1927-1928 quando Clinton Davisson (1881-1958) e Lester Germer (1896-1971) (nos Estados Unidos) e George Thomson (1892-1975) (na Inglaterra) realizaram experimentos que puderam ser interpretados somente com o auxílio da difração de um feixe de elétrons.

Desta forma a dualidade onda-partícula torna-se um ciclo-fechado. A luz se comporta com onda na propagação e nos fenômenos de interferência e difração, entretanto, se comporta como partícula na interação com a matéria. Na outra mão, os elétrons geralmente se comportavam como partículas, como foi observado nas cintilações do tipo ponto do fósforo (encontrado, por exemplo, na tela de TVs e monitores) para uma corrente de elétrons; em outras situações eles foram encontrados se comportando como ondas, como no caso da difração produzida pelo microscópio eletrônico.

Fótons e elétrons que se comportam tanto como partículas quanto como ondas eram vistos a princípio como uma contradição, sempre as partículas e as ondas foram consideradas entidades totalmente diferentes. Gradualmente isso se tornou claro, através dos estudos realizados por Niels Bohr que acreditava que os fótons e elétrons não seriam nem ondas nem partículas, mas sim algo muito mais complexo que os dois.

Em uma tentativa de se explicar esse fenômeno físico, seria natural apelar para o adequado e conhecido modelo físico de ondas e partículas. Porém, os fótons e elétrons não se encaixam perfeitamente em nenhum modelo. Em certas situações, o modelo ondulatório pode predominar; mas em outras, o modelo corpuscular se sobressai. Teríamos que utilizar um modelo que teria que se adequar a ambos os casos.

Combinando com a relatividade especial, o momento, comprimento de onda, e velocidade de ambos, partículas e fótons são obtidas das mesmas equações gerais. Uma diferença crucial entre partículas como elétrons e nêutrons e partículas como fótons é que esse último não tem nenhuma massa. As equações mostram que enquanto partículas massivas, como elétrons, têm um limite de velocidade  $c$  (a velocidade da luz no vácuo), partículas sem massa como fótons atravessam o vácuo com uma velocidade constante  $c$ . A energia dos fótons não é em função da velocidade, mas sim, em função da frequência, como podemos ver na eq. (1).

Nesse caminho, interferência e a difração que são modelos previstos para serem explicados por ondas podem ser interpretadas como manifestações das partículas. Na teoria moderna que foi desenvolvida, que combina os princípios da mecânica quântica com a relatividade especial, fótons são considerados somente a interação entre as cargas. Um elétron, por exemplo, é capaz de tanto absorver quanto emitir fótons, com uma probabilidade que é proporcional ao quadrado da carga. Não existe lei da conservação com os fótons como existe para uma carga associada com partículas. Discussões essenciais sobre fótons e elétrons terminaram. Ambos são considerados provenientes do mesmo princípio fundamental. Através da unificação, a luz é vista como basicamente outra forma da matéria. No entanto, o aspecto complementar de partícula e onda descrita pela luz

permanece, o que justifica o uso de uma dessas possibilidades quando for apropriado. A descrição ondulatória da luz poderá ser encontrada adequadamente para descrever a maioria dos casos, mas não todos.

### 1.2.2. Evolução da Concepção da Cor e da Visão

Os mistérios da natureza, sempre exerceram grande fascínio sobre o homem ao longo da história da humanidade. Dentre eles, os enigmas da luz e da cor, experiências sensoriais mais ricas presentes no universo humano, desafiaram grandes mentes da história. A luz (e a cor que a qualifica) é um fenômeno primordial, onipresente. A cor está em toda parte, ela interessa a todos. Sempre foi o motivo de debate entre físicos, fisiologistas, médicos, psicólogos, sociólogos, industriais, artistas...

O funcionamento do olho, o processo da percepção visual e por que razão os objetos apresentam cores diferentes foram enigmas fascinantes para o homem que buscou decifrá-los. As respostas vieram no decorrer do desenvolvimento da ciência, por meio de teorias acerca da natureza da luz, da cor e do processo de visão. Algumas destas partiam do princípio de que a visão dependia das coisas a serem vistas, e outras, de que a visão dependia de nossos olhos.

Os primeiros relatos documentados sobre conhecimento científico de natureza qualitativa, para a explicação dos fenômenos naturais, envolvem argumentos filosóficos e datam do período grego. Neles admite-se que o conhecimento da realidade que nos cerca se faz através dos sentidos, por informações sucessivas, principalmente as visuais como luzes e cores.

O poeta grego Homero (IX ou VIII a.C.) acreditava que a luz provinha dos olhos e que portanto, a visão ocorria quando os raios luminosos provenientes dos olhos atingissem o objeto que estava sendo observado.

O filósofo Pitágoras (560-480 a.C.) era partidário da hipótese que são os olhos que recebem os raios luminosos emitidos pelos objetos luminosos, tais como: astros, chamas, etc., ou refletidos pelos objetos não luminosos.

Já Demócrito (460-370 a.C.) sustentava que o olho era constituído de átomos d'água que, como um espelho, refletia átomos de fogo (luz) emitidos pelos objetos luminosos ou iluminados que pairavam soltos no ar. Ou seja, a visão era produzida por imagens ou figuras (clones) emitidas pelos objetos e que vão de encontro ao olho alojando-se nele, produzindo a sensação visual.

O filósofo Platão (427-347 a.C.) acreditava que a visão ocorria da seguinte maneira: um raio proveniente dos olhos chega até o objeto a ser observado; lá se combina com os raios emitidos pela fonte luminosa, retornando então aos olhos dando-lhes a sensação de visão. Explicava a formação do branco, do preto e das outras cores a partir da reunião do fogo visual proveniente do olho e dos corpúsculos provenientes dos objetos. E dizia que as diferentes cores dos objetos eram perceptíveis uma vez que eram originadas por diferentes impulsos, ou seja, originadas por partículas de diferentes tamanhos que existiam na superfície do objeto.

Aristóteles foi um dos primeiros a tentar uma explicação para o arco-íris, ao afirmar que o mesmo seria produzido por gotículas de água, contida na atmosfera, que refletiam a luz solar e causavam a variação da cor. Ele propôs a idéia de que as cores primárias eram provenientes desses elementos: terra, fogo, água e ar. O resto dos tons ele considerava como variações das mesmas cores por combinação com a luz e a escuridão. Escreveu também que o negro mesclado com a luz do sol e do fogo produzia a cor púrpura. Para ele, o objeto em si não possui a cor, apenas assume um aspecto colorido que pode ser alterado por determinados fatores como o sol, fumaça ou neblina. Experimentalmente chegou à conclusão de que conseguiria obter o verde através da fusão do azul com o amarelo, mas não soube explicar o porquê.

Aristóteles em sua lógica questionava que se os olhos fossem meros espelhos. “Como podemos explicar que, entre os demais espelhos, estes sejam os únicos que tem a capacidade de ver? Se a visão fosse resultado da luz que era emitida pelos olhos, como nós não temos o poder para ver na escuridão?” Ao integrar as duas teorias, concluiu que o olho tem a capacidade para ver, mas que depende da luz e que a luz depende do meio para sua propagação, o transparente (água, ar, éter), ou seja, que a visão é um processo obtido pela interação entre os olhos, o meio e a luz.

Na Idade Média pouco se falou sobre luz e cor. As artes e o pensamento foram sufocados sob as trevas medievais. A sabedoria do passado foi praticamente esquecida, condenada pela Igreja como paganismo, a raiz de todo mal. Como as tentações da carne dependem dos cinco sentidos conduzindo os homens ao castigo eterno, todo conhecimento adquirido por meio dos sentidos, como o estudo da natureza, era considerado uma depravação à moral e à virtude cristã, levando à corrupção da alma. As respostas para todas as indagações da época eram encontradas na Bíblia e a Igreja transformou-se em símbolo de civilização e ordem social, diante da desordem e decadência moral.

Durante a Idade Média, a civilização árabe aprendeu muito com os gregos. O maior físico e matemático entre os árabes é Ibn al-Haitham, conhecido no Ocidente como

Alhazen (956-1038). Por volta de 1038, em seu livro *Tesouro da Óptica*, ele afirmou que a fonte dos raios luminosos está no Sol ou em qualquer outro objeto luminoso. E mais ainda, que a visão se deve tão somente à reflexão desses raios que estão contemplando determinado objeto. Considerava a câmera escura como um modelo do olho.

Pequenos avanços na ciência da visão ocorreram após Alhazen. Até o trabalho de Roger Bacon (1214-1292), filósofo inglês e monge franciscano. Em seu trabalho sobre óptica, descreveu os princípios da câmera escura. Entre 1280 e 1290, no vale do rio Arno, na Itália, houve o emprego de lentes para corrigir a visão, isto é, seu emprego como óculos. No entanto, eles eram muito grosseiros, dando imagens deformadas dos objetos, por falta de boas técnicas de polimento.

Em 1304, o monge erudito alemão Dietrich Von Freiberg (Teodorico de Freiberg) (1250-1310) publicou o livro intitulado *Sobre Arco-Íris e as Impressões Causadas pelos Raios*, no qual apresentou a hipótese de que o arco-íris era resultado de uma combinação de refração e de reflexão da luz solar por gotículas de chuva individuais, e não coletivamente como considerava Aristóteles. A fim de verificar essa hipótese, encheu esferas cristalinas ocas com água e as colocou em contato com raios solares, conseguindo reproduzir os arco-íris.

Na Renascença, Leon Batista Alberti (1404-1472), teórico das artes visuais, considerava três cores principais: o vermelho vivo, a cor da ametista e a cor conchífera (proveniente de moluscos), que são bem próximas das cores que a física moderna considera como básicas.

Leonardo da Vinci (1452-1519), o grande gênio italiano, acreditava na existência da imagem visual no olho, e ele tinha que descobrir uma maneira do seu olho de inverter a imagem uma segunda vez para que o cérebro pudesse analisá-la corretamente. Devido a essa crença, ele não obteve êxito em traçar os caminhos descritos pelos raios de luz no interior do olho. Ele acreditava que o órgão essencial para a visão era a retina, não a lente. Entre outras contribuições, ele desenhou atentamente as diferenças da visão periférica e discutiu a natureza da profundidade da percepção.

Da Vinci aplicou seu excepcional intelecto à ciência da visão, da cor e da luz. Imerso em suas sensações visuais, refletidas em suas pinturas como primeira verdade de todas as coisas, deslumbrou-se com o milagre da visão: “Não vês que o olho abraça a beleza do mundo inteiro? Acreditava que o olho era a janela do corpo humano, por onde a alma explora e desfruta a beleza do mundo, aceitando a prisão do corpo que, sem esse poder, seria um tormento... A admirável necessidade! Quem acreditaria que um espaço tão reduzido seria capaz de absorver as imagens do universo”.

O olho humano inventava, conquistava e era considerado por ele como “o senhor da astronomia, autor da cosmografia, conselheiro e avaliador de todas as artes humanas... É o príncipe das matemáticas”.

Da Vinci possuía várias formulações teóricas contidas em seus escritos, reunidas posteriormente no Livro: *Tratado da Pintura e da Paisagem – Sombra e Luz*, que se dirigiam aos pintores da época, embora suas investigações no campo da cor também já estivessem relacionadas à óptica, à física, à química e à fisiologia. “Chamo de cores simples, àquelas que não podem ser feitas pela mistura de outras cores... O branco... o pintor não poderia privar-se dele, e por isso, o colocamos em primeiro lugar. O amarelo, o verde, o azul, o vermelho e o preto, vêm em seguida.”

Insistia na inclusão do branco e do preto na escala, porque o branco é o que nos permite receber todas as outras cores e o negro nos priva delas. Com relação aos elementos naturais, dizia: “O branco é equivalente a luz, sem a qual nenhuma cor é perceptível; o amarelo representa a terra; o verde a água; o azul o ar; o vermelho o fogo e o preto as trevas”.

A habilidade da câmara escura de formar imagens invertidas foi aperfeiçoada depois de inserção de uma lente convexa no orifício, uma inovação introduzida por Giambattista della Porta (1535-1615). Essa idéia passou a aperfeiçoar a analogia entre a câmara e o olho.

Provavelmente as primeiras discussões sobre a miopia e hipermetropia foram realizadas por Francesco Maurolico (1494-1575), embora ele tenha atribuído esses defeitos da visão a curvatura das lentes ao invés de atribuí-las as córneas ou o comprimento axial do globo ocular.

Em 1604, o astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630) em seu livro *Suplemento à óptica de Vitello*, explicou o princípio da câmara escura, o funcionamento dos óculos, e expôs sua teoria de que a visão decorre do estímulo da retina provocada pelos raios luminosos provenientes dos objetos visíveis. Após refratarem-se nas lentes dos olhos, projetavam-se em forma invertida na retina (onde acontece a formação da imagem no olho), e depois transmitida ao cérebro por uma corrente mental. Explicava as cores dizendo que as mesmas dependiam da densidade e da transparência dos objetos. Ele tentou perceber a relação entre luz e cor, fez incidir luz branca num prato vermelho e a luz que viu sair do prato parecia vermelho. Para ele a cor vermelha era puxada e transportada pela luz solar. Não pensou na cor como se fosse uma propriedade da luz.

Em 1605, o astrônomo e matemático inglês Thomas Harriot (1560-1621) observou que os raios de luz verde e vermelhos sofriam diferentes desvios ao atravessar o vidro.

O jesuíta, Christoph Scheiner (1575-1650), observou a imagem invertida visível na retina. Ele também introduziu uma série de técnicas para estudar a refração realizada no olho que se tornaram bases para a invenção de aparelhos oftalmológicos. Ele foi o primeiro a medir o índice de refração dos vários meios do olho. Também foi provavelmente o primeiro a descobrir a acomodação do olho quando focaliza objetos em diferentes distâncias, o que não ocorre quando não existem lentes. Assim essa acomodação ocorre com o movimento das lentes.

Em 1637 o filósofo e matemático francês René Descartes (1596-1650) escreveu *A Dióptrica*, onde descreveu a visão através do olho. Atribuía a diversidade das cores a movimentos rotatórios das partículas luminosas com diferentes velocidades através do meio, velocidades essas que eram proporcionais ao seu índice de refração.

O físico inglês Robert Hooke (1635-1703) defendia que só existiam duas cores: vermelho e azul e admitia que a mistura destas duas cores davam origem a todas as outras.

Em 1666, o físico e matemático inglês Isaac Newton estudou as cores exibidas por películas finas, fenômeno esse até hoje conhecido como anéis de Newton. Em suas experiências sobre cores, descobriu o fenômeno da dispersão da luz, isto é, que a luz branca ao passar por um prisma de vidro era decomposta nas cores do arco-íris. Convencido de que essas cores estavam presentes na própria luz branca e que as mesmas não foram criadas no prisma, realizou outro tipo de experiência na qual fez passar essas cores do arco-íris por um segundo prisma invertido em relação ao primeiro, reproduzindo, em uma tela, a luz branca original. Observou ainda que, se apenas uma cor do arco-íris atravessasse um prisma, não haveria mais a decomposição cromática permanecendo da mesma cor.

Ainda em suas experiências sobre óptica, Newton observou que o índice de refração de uma substância varia com a cor. Ao examinar através de um prisma um pedaço de papelão pintado de vermelho e azul, notou que, para uma mesma incidência de raios luminosos, os raios refratados pelo prisma eram diferentes para cada cor, já que as imagens das cores do papelão eram deslocadas, havendo superposição da parte limítrofe das duas regiões pintadas.

Depois de varias experiências, Newton propôs a hipótese de que a cor de um objeto era o resultado da reflexão seletiva dos raios de luz. Quando a luz alcança um objeto, certos raios são absorvidos e se perdem, sendo que outros são refletidos e produzem assim a cor observada.

John Dalton (1766-1844), químico, físico e pioneiro na teoria atômica, percebeu ainda jovem, sua cegueira por algumas cores. Em 1798, relatou que ele e seus irmãos

podiam distinguir no máximo três cores: amarelo, azul e violeta. Pesquisou este fenômeno visual, que passou a ser conhecido como daltonismo. Além disso, também descreveu a natureza do astigmatismo em seu trabalho.

Um fisiologista tcheco, Johannes Purkinje (1787-1840), determinou o quanto o cristalino e os músculos adaptados a ele trabalham em conjunto para proporcionar a acomodação. Ele também estudou as imagens refletidas pela córnea e lentes, usando essas imagens para estimar o poder de cada uma delas.

Segundo sua teoria, a retina possui três espécies de células sensíveis - *os cones*. Cada uma delas seria responsável pela percepção de uma dada região do espectro luminoso. Essas três regiões seriam o vermelho, o verde e o azul. Estas seriam as cores primárias, que, por combinações, originariam todos os outros tons cromáticos. Também descreveu que cada uma das cores do espectro da luz tinha um comprimento de onda diferente. Demonstrou, por exemplo, que o comprimento de onda do vermelho era superior ao do violeta.

Em 1801, o físico britânico e professor de física em Londres, Thomas Young (1773-1829) realizou experiências sobre a visão, ocasião em que descobriu que o cristalino altera seu raio de curvatura para poder dar nitidez às imagens de objetos colocados em diferentes posições, fenômeno conhecido como acomodação. Verificou que o astigmatismo é consequência da irregularidade da curvatura da córnea. Em 1802, formulou pela primeira vez sua teoria das cores, ao afirmar que não havia necessidade de um mecanismo fisiológico para se ver cada cor separadamente, e sim, bastava ver as três cores fundamentais: o vermelho, o verde e o azul. Uma combinação dessas três cores daria toda a escala cromática. Segundo sua teoria, a retina possui três espécies de células sensíveis - *os cones*. Cada uma delas seria responsável pela percepção de uma dada região do espectro luminoso. Essas três regiões seriam o vermelho, o verde e o azul. Estas seriam as cores primárias, que, por combinações, originariam todos os outros tons cromáticos. Também descreveu que cada uma das cores do espectro da luz tinha um comprimento de onda diferente. Demonstrou, por exemplo, que o comprimento de onda do vermelho era superior ao do violeta.

Por volta da metade do século XIX, o alemão Hermann von Helmholtz (1821-1894) produziu seu tratado *Fisiologia Óptica*. Com esse trabalho, o famoso físico e fisiologista, fundou a moderna ciência da visão. Suas várias contribuições incluem a formalização da teoria da percepção da cor, mostrando que as três componentes de cores, vermelho, verde e azul são necessárias para explicar a visão. Ele também discutiu como os olhos trabalham juntos produzindo uma única visão. Algumas décadas depois, Max Schultze (1825-1874)

tentou entender a ação da retina e como os cones são ativados para sentir as cores e a forma pela qual os bastonetes são estimulados e sensibilizados pela cor.

Em 1820, Johann Wolfgang Goethe nota em seu *Tratado das Cores*: “Em geral, os humanos experimentam um grande bem estar à vista da cor. O olho tem necessidade dela, como ele tem necessidade da luz. Lembremos o reconforto sentido quando, depois de um dia cinza, o sol vem brilhar em um ponto da paisagem e torna as cores visíveis...”. Segundo sua teoria, existe 6 cores primárias – amarelo, verde, azul, violeta, vermelho e laranja – que eram vistas sob as condições naturais da luz do dia. A cor seria composta de luminosidade ou sombra. Não admitia a idéia da luz ser uma composição de cores. Sua teoria não tinha o amparo da física, ocasionando uma grande oposição.

Goethe descobriu aspectos que Newton ignorara sobre a fisiologia e psicologia da cor. Observou a retenção das cores na retina, a tendência do olho humano em ver nas bordas de uma cor complementar e notou que objetos brancos sempre parecem maiores do que negros. Ele considerava a cor como um efeito, que embora dependente da luz, não era a própria luz. E baseava sua teoria sobre a existência de 3 tipos de cores: as cores, primeiramente, como algo que faz parte da vista, são o resultado de uma ação e reação da mesma; em segundo lugar, como fenômeno concomitante ou derivado de meios incolores e, finalmente, como algo que poderíamos imaginar como parte integrante dos objetos. As primeiras denominamos fisiológicas, as segundas físicas e as terceiras químicas.

Demonstrando que as cores fisiológicas são produzidas pelo órgão visual, sob ação de uma excitação mecânica, ou como forma de equilíbrio e compensação cromática e influenciadas pela ação do cérebro, Goethe fez avançar a caracterização da cor como sensação que se transforma em percepção. Ele contrariava Newton, porque não admitia que a luz branca fosse formada pelas diferentes luzes coloridas do espectro.

Historicamente, seu maior mérito reside em ter percebido as questões essenciais que abririam caminho às pesquisas. Realizou o mais especulativo dos trabalhos escritos até hoje sobre a utilização estética da cor, destacando a influência dos elementos da física, química, filosofia, fisiologia e psicologia, enquanto que a teoria de Newton tratou apenas a cor como fenômeno físico.

As observações de Goethe foram resgatadas no início do século XX pelos estudiosos da Gestalt e por pintores modernos como Paul Klee (1879-1940) e Kandinsky (1866 – 1944). Atualmente, o estudo da teoria das cores se divide em três matérias com as mesmas características que Goethe propunha para cores: a cor física (óptica física), a cor fisiológica (óptica fisiológica) e a cor química (óptica físico-química). O conteúdo é basicamente a teoria de Newton acrescida de observações modernas sobre ondas.

## 2. LABORATÓRIO

### 2.1. Justificativa

#### 2.1.1. Tipos de Laboratório

O objetivo aqui não é trabalhar com laboratórios onde os alunos são meros espectadores, onde só assistem as demonstrações realizadas pelo professor; ou ainda, meros reprodutores de uma atividade, sobre as ordens de um roteiro preestabelecido que os conduz do início ao fim de uma atividade proposta [18]. Nesses dois casos, uma linha de raciocínio lógico nem sempre é estabelecida, porque os alunos apenas seguem mecanicamente a tarefa, sem questioná-la ou refletir sobre ela, gerando passividade e comportamento robotizado. Por isso, essas duas propostas de metodologia experimental são muito criticadas por partes dos pesquisadores em ensino de Física.

Esses tipos de laboratório se adequavam facilmente às práticas estabelecidas pela pedagogia tradicional. Onde não há distinção entre as aulas teóricas e as atividades experimentais, elas são apenas diferentes alternativas de se expor a matéria. Essa metodologia presumia que a atividade em si é essencial e suficiente para a aprendizagem, sem a necessidade de nenhum comprometimento cognitivo. Sendo assim, essa tendência pedagógica dispensa a formulação de objetivos específicos para a atividade experimental, pois é entendida como prática integrante do conhecimento científico e tem o mesmo objetivo de qualquer outra atividade, inclusive a teórica.

Outro tipo de laboratório, muito utilizado também é o que tem como objetivo a redescoberta, ou seja, deveria proporcionar aos alunos a reformulação da ciência de seus princípios e de suas leis. Essa metodologia leva em consideração uma compreensão errônea de como ocorrem as descobertas científicas. Porque em um procedimento científico, primeiro é formulada uma hipótese e só depois é feito o experimento, que de acordo com os fatos observados, poderão resultar em novas perguntas, e não em respostas. Mostrando que a formulação de uma lei científica se concretiza por conceitos criados teoricamente. Então, essas idéias fracassaram por causa de uma errônea compreensão da forma pela qual se processam as descobertas científicas.

A teoria de Piaget vem de encontro à ênfase no conteúdo, defendida pela pedagogia tradicional e pelo processo de descoberta. Fazendo com que o foco do ensino, finalmente, se volte para o aluno. Mais relevante do que ensinar certo conteúdo seria capacitar o

indivíduo a aprender esse conteúdo, o que significa estimulá-lo e apressá-lo à formação de suas estruturas mentais.

De acordo com Piaget a atividade, que consiste na interação do indivíduo com o meio, faz parte de um processo essencial para a construção de novas estruturas de conhecimento. Quanto mais distante for a interação do indivíduo com o meio, mais lento será seu processo de formação de estruturas mentais, mesmo sabendo que esta ocorra. Mas essa demora pode prejudicar seriamente a aprendizagem do indivíduo. Assim, de acordo com Piaget o aluno só aprende determinado conteúdo se a mente dele estiver preparada para entender um novo conceito.

O laboratório segundo as idéias de Piaget pode ser utilizado para apressar a construção das estruturas mentais, fazendo com que essas atividades gerem conflitos cognitivos no aluno. Diante de um conflito o aluno tende a reformular seu pensamento, construindo uma nova estrutura mental, que o permitirá compreender novos conceitos e a estabelecer estruturas mentais mais complexas. Até que se depare com um novo conflito cognitivo, gerando um ciclo de reformulações cada vez que ele se depara com um novo conhecimento.

Várias pesquisas no âmbito educacional foram originadas devido à teoria pedagógica proposta por Piaget. Elas demonstram que, quando os alunos não tinham as estruturas lógicas de pensamento necessárias para a compreensão do novo conhecimento a ser adquirido, algo que ocorria na maioria das vezes, ele recorria às concepções alternativas, geralmente formuladas através do senso comum, utilizando-as para ouvir e para interpretar o que o professor estava ensinando.

Então, para Piaget, o aluno tem que apresentar uma estrutura cognitiva desenvolvida para que possa ser apto a adquirir um determinado conhecimento. Mas quando ele não as detém, recorre as suas idéias prévias ou pré-concepções. Porém, um conhecimento construído dessa maneira se estabelece de forma incorreta. Muita das vezes é criado um dúbio conhecimento, onde existem dois modelos científicos na cabeça do aluno, um no qual ele vive e um que ele precisa saber para realizar uma prova ou ser apto em qualquer outro tipo de avaliação. Logo, o aluno deve se libertar da ciência do senso comum, para que possa entender a ciência contextualmente correta. Para que isso ocorra, é necessário que o professor conheça as pré-concepções dos alunos e depois planeje atividades experimentais que as removam e as substituam pelas concepções cientificamente corretas. Logo o objetivo dessa atividade deve ser de eliminar o bloqueio das pré-concepções alternativas para possibilitar a aquisição das concepções

cientificamente corretas, com uma pedagogia que esta voltada para uma evolução ou mudança conceitual.

Porém esse tipo de laboratório também fracassou, devido a suas idéias errôneas na compreensão da forma como é construída a estrutura cognitiva do nosso cérebro. Porque a imposição dos conflitos descritos por Piaget é bem útil, mas insuficientes para explicar como ocorre o aprendizado.

Para tentar um novo tipo de abordagem, complementando os erros apresentados pela atividade que tem a finalidade de mudança ou evolução conceitual, foram recorridas as idéias de outro teórico, Vygotsky. Do mesmo modo que Piaget, Vygotsky acreditava que o cérebro tinha uma história genética predeterminada, mas essa predeterminação era simplesmente apenas uma estrutura básica, sobre a qual se construíam as demais estruturas cognitivas [19].

Ou seja, no pensamento vygotskiano não é preciso esperar determinadas estruturas mentais se formarem para que a aprendizagem de um conceito fosse possível. Ele acreditava que seria o ensino desse conceito que desencadearia a formação de estruturas mentais necessárias à sua aprendizagem. O único cuidado que se deveria ter seria de não ultrapassar a capacidade cognitiva do aluno quando se busca a criação de novas estruturas mentais.

Porém, apresentar uma atividade experimental que evidencie ao aluno tanto a fragilidade de suas concepções espontâneas como a impossibilidade que suas concepções têm de explicar um determinado fenômeno não basta para que ele, de imediato, adote a nova concepção proposta pelo professor. Certamente essa atividade experimental é útil para dar início, na cabeça do aluno, para a formação de uma nova estrutura cognitiva, mas a aprendizagem de um conteúdo não ocorre no momento em que ele é ensinado, é preciso um tempo para que o aluno possa construir sua estrutura mental capaz de processar o novo conceito. Essa formação só vai se completar com o tempo. Para que a concretização do conhecimento ocorra é preciso que os novos conceitos sejam apresentados, discutidos e trabalhados de forma reiterada e numa interação social em que o professor trabalha como um mediador, que auxilia no avanço de cada aluno para um estágio cognitivo mais evoluído, permitindo que ele compreenda novos conceitos integrados e não fracionários, evoluindo seu raciocínio e sua compreensão, adquirindo um conhecimento permanente.

Então, devemos levar em consideração toda a teoria de Piaget, sobre as estruturas mentais e os conhecimentos prévios, mas também, temos que levar em consideração as colocações de Vygotsky sobre a criação de um novo aprendizado, que não é pontual. Porque, os conflitos cognitivos descritos por Piaget são úteis, mas insuficientes para

explicar como ocorre o aprendizado de novas idéias. Sabemos que a atividade experimental que evidencie ao aluno a fragilidade de duas concepções formuladas sobre o senso comum, como a impossibilidade que essa concepção tem de explicar um determinado fenômeno não bastam para que ele adote a nova concepção proposta pelo professor. Essa proposta é útil de início, mas a estrutura cognitiva só se estabelece com o tempo. [18]

### 2.1.2. Estratégias

Esse seria um ótimo caminho a ser seguido. Primeiro, analisaríamos qual seriam as pré-concepções que os alunos apresentam, com o objetivo de diagnosticar seus conhecimentos já construídos socialmente. Segundo, seria apresentada uma proposta bem definida ou um questionamento, trabalhando em cima das concepções errôneas, com atividades experimentais que causassem conflitos cognitivos na cabeça do aluno. [20]

Ao proporcionarmos uma atividade, introduzindo um problema e os materiais experimentais, o professor deve procurar fazer de uma forma a despertar a curiosidade e o interesse do aluno. Criando condições necessárias para que os alunos consigam efetuar a atividade (isso consiste em expor o problema da melhor maneira possível.

Em continuidade, os alunos trabalhariam para resolver o problema proposto. Para o trabalho experimental, o professor pode dividir a turma em grupos, mas é importante que os grupos sejam pequenos para facilitar o diálogo entre os alunos e permitir que eles tenham mais oportunidade de manipular o material. É importante também, que o professor verifique se todos os alunos estão tendo a oportunidade de manipular o material.

E, além disso, o professor deve sempre monitorar os grupos pedindo que eles lhe mostrem e contem o que estão fazendo. Com isso, ele se certifica de que os alunos entenderam o tema proposto e se estão conseguindo resolver o problema, criando condições pra que refaçam mentalmente suas ações e as verbalizem.

Depois dos alunos encontrarem a solução do problema, o professor deve organizar uma discussão com eles. Pedindo que eles exponham como fizeram para resolver o problema, ou como ele aconteceu.

Baseados nas argumentações apresentadas anteriormente, a atividade de laboratório não termina com a realização da experiência em si, depois de resolvido tentariamos fazer com que todos os alunos expusessem sua concepção do que aconteceu, como ele resolveu a situação lançada pelo professor, ou não resolveu, e porque ele chegou nesse resultado,

esses novos conceitos seriam discutidos e trabalhados de formas renovadoras. Em todo o processo, deve existir o auxílio do professor.

Quando os alunos incitados a contar como resolvem o problema, começam a tomar a consciência das coordenações dos eventos, iniciando-se a conceituação. A tomada de consciência está longe de constituir apenas uma simples leitura, ela é uma reconstrução que o aluno faz de suas ações e do que conseguiu observar durante a experiência.

Através do estímulo no aluno, para que este exponha suas colocações a cerca da atividade realizada é de suma importância, pois a interiorização da linguagem cria as estruturas de pensamento que possibilitam a compreensão.

Pensando no que fez, para contar o professor e a classe o aluno vai fazendo ligações lógicas, estabelecendo conexões entre suas ações e reações dos objetos. As relações gradualmente, vão sendo desvinculadas das ações da própria criança para as modificações dos atributos físicos dos objetos e resultados, nessa hora, vai se iniciando a conceituação, formulada pelo próprio aluno ao tentar reconstruir mentalmente suas ações, que conseqüentemente é construída muito mais rígida, do que se fosse imposta.

Ao propor uma discussão em cima da atividade realizada o professor motiva e estimula para que haja a participação do aluno, fazendo com que todos os parceiros discutam as mesmas idéias e tente responder às mesmas perguntas.

Na etapa de reflexão sobre como e por que, que o aluno tem a oportunidade de construir sua compreensão dos fenômenos físicos. E, quando contam o que fizeram e quando expõem suas idéias ao professor e aos outros alunos, descrevendo suas ações, vão estabelecendo, em pensamento, as próprias coordenações conceituais, lógicas matemáticas e causais.

O professor pode aproveitar as atividades de conhecimento físico para tratar de situações familiares para os alunos, estimulando-os a pensar sobre seu mundo físico e a relacionar as idéias desenvolvidas em sala de aula com seu cotidiano. Deve estimulá-lo a dar o maior numero possível de exemplos, valorizando a diversidade de experiências que cada um traz para a sala de aula. Mostrando que a física faz parte do seu dia a dia.

Acreditamos que aumentando as oportunidades de conversação e de argumentação durante as aulas, também se incrementam os procedimentos de racionalização e a habilidade dos alunos a compreender os temas propostos.

Essa abordagem metodológica enfatiza a iniciativa do aluno porque cria a oportunidade para que ele defenda suas idéias com segurança e aprenda a respeitar as idéias dos colegas. Também dá a ele a chance de desenvolver diversos tipos de ações, manipulação, observação, reflexão, discussões, argumentações e possivelmente a escrita,

dependendo do objetivo do professor, que são características de uma investigação científica.

### 2.1.3. Considerações Finais

As aulas de física podem e devem ser planejadas para que os estudantes ultrapassem a ação contemplativa e encaminhem-se para a reflexão e a busca de explicações, pois é dessa forma que os estudantes terão a chance de relacionar objetos e acontecimentos e expressar suas idéias. [19]

Temos como objetivo levar o aluno a compreender o fenômeno que ele teve a oportunidade de vivenciar e a criar novos significados para explicar o mundo ao seu redor.

A atividade experimental tem o caráter preparatório para fazer com que o aluno seja capaz de construir uma estrutura mental necessária para que ele compreenda os conceitos científicos apresentados pelo professor na complementação teórica da atividade experimental.

Uma das vantagens apresentadas ao realizarmos uma atividade experimental está relacionada com a riqueza de detalhes que ela desencadeia. A atividade teórica é sempre limitada ao enunciado proposto, que obrigatoriamente restringe as condições iniciais para que não haja procedimentos e respostas diversas, tendendo à idealização e ao artificialismo. Na experimentação isso não é possível, mesmo que sejam utilizados programas com roteiros tradicionais. No experimento não podemos desprezar certos fatores naturais, como por exemplo, a temperatura, resistência do ar, a claridade, além de acontecimentos relacionados a própria montagem (ajustes, adaptações e imprevistos). Esses fatores podem e devem ser utilizados na hora da discussão, para enriquecer o debate. Até porque, eles podem estimular o aluno a fazer questionamentos importantes.

Do ponto de vista instrumental, houve um enorme processo na reformulação de novos experimentos, na obtenção e utilização de novos equipamentos, em geral muito mais simples, com um material de baixo custo, ou até mesmo com material reciclável. Que são de fácil construção e muito mais acessíveis. Fazendo com que essa abordagem seja uma aplicação de fácil acesso.

Acreditamos que a experimentação didática merece uma reflexão cuidadosa que não a considere como um acessório à apresentação de componentes curriculares ou apenas um conhecimento ou apêndice do ensino teórico. [21]

Por isso, nós professores devemos cuidadosamente, decidir e organizar a maneira na qual escolhemos e aplicamos nossos conteúdos aos alunos.

A principal função das experiências é, com a ajuda do professor mediador e a partir das hipóteses e conhecimento anteriores, ampliar o conhecimento do aluno sobre os fenômenos naturais e fazer com que ele as relacione com sua maneira de ver e viver no mundo.

Devemos buscar atividades experimentais capazes de auxiliar os alunos a construção dessa estrutura mental necessária à compreensão de conhecimentos científicos. Mas isso por si só não é o bastante, temos que analisar os conhecimentos prévios adquiridos pelos alunos ao decorrer de sua interação com o meio em que vivem, esses conhecimentos está totalmente enraizados em suas mentes e criam resistências para a aquisição de novos saberes.

Além disso, ao fazer o aluno lidar com novos problemas faz com que ele se estruture como cidadão. Porque ele é obrigado a raciocinar buscando soluções para um determinado problema proposto. Essa nova aprendizagem (análise e tentativa de resolução) vai ser utilizada por ele no decorrer de sua vida.

Mostrar ao aluno que formular hipóteses, que formam estruturas para explicar um determinado fenômeno, é totalmente aceitável e isso utilizado normalmente na construção do saber científico como vimos na História da Física apresentada no capítulo anterior. Além disso, as atividades experimentais necessitam de um maior envolvimento do aluno. Entretanto, a atividade teórica exige do aluno uma maior capacidade de abstração, e em alguns casos, as dúvidas e contestações dos alunos podem correr o risco de serem, ou contestadas pela autoridade do professor, ou ridicularizadas pelas risadas e piadinhas dos colegas de classe.

Ao tentarem resolver as situações problemáticas propostas, os alunos se envolvem intelectualmente com a situação física apresentada, construindo suas próprias hipóteses, tomando consciência da possibilidade de testá-las, procuram relações casuais e elaboram os conhecimentos científicos e reformulam suas idéias adquiridas através do senso comum, por isso existe a extrema importância do debate entre o professor e a turma para que haja uma continuidade no processo de aprendizagem.

E quando levamos o aluno a refletir e expor sobre o problema experimental que é capaz de resolver, ensinamos, mais do que conceitos pontuais, mas a pensar cientificamente sobre o mundo e a construir uma visão de mundo.

## 2.2. Exemplo - Laboratório

### 2.2.1. Caixa de Imagem [22]

## Objetivo

Demonstrar o funcionamento do olho.

## Material para Construção

- ✓ 01 bola de isopor de 150 mm de diâmetro;
- ✓ 01 lupa de 50 mm de diâmetro;
- ✓ Pistola de cola quente;
- ✓ Cola de isopor;
- ✓ Papel vegetal;
- ✓ 01 copo plástico de guaraná natural (ex. GuaraCamp; GuaraVita...);
- ✓ 01 tampa de garrafa PET;
- ✓ Tesoura;
- ✓ Estilete fino;
- ✓ Lixa fina (de madeira ou lixa de unha);

## Detalhes da Construção

Separe as duas metades da bola.

### Na 1ª Metade da Bola

Faça uma marca na primeira metade da bola de isopor com o copo de guaraná, pressionando a região da boca do copo contra o centro da parte externa da bola de isopor.

Corte a região, marcada anteriormente, com o estilete. Verifique se a região do fundo do copo de Guaraná se ajusta (encaixa) a abertura feita anteriormente.

Em caso positivo, utilize a lixa apenas para fazer o acabamento. Em caso negativo, utilize a lixa para alargar a abertura, mas tome cuidado para não exagerar, pois o copo deve se encaixar justo a primeira metade da bola de isopor.

### Na 2ª Metade da Bola

Faça uma marca na segunda metade da bola de isopor com a tampa de garrafa PET, pressionando a tampinha (região da rosca da tampa) contra o centro da parte externa da

bola. Corte a região marcada anteriormente com o estilete. Utilize a lixa apenas para fazer o acabamento. Retire a lente da lupa. Fixe a lente (retirada da lupa) utilizando a pistola de cola quente na parte interna da bola de isopor próximo ao centro do orifício feito anteriormente.

#### Anteparo

Corte o fundo do copo de guaraná com a tesoura (aproximadamente a 1,0 cm do fundo). Passe um pouco de cola de isopor em toda a aba (boca) do copo e emborque-o sobre a folha de papel vegetal, e com o estilete corte o excesso de papel. É aconselhável pôr um peso sobre o anteparo, o tempo necessário para a cola de isopor secar.

Lente fixada com cola quente no orifício feito pela tampa da garrafa pet.

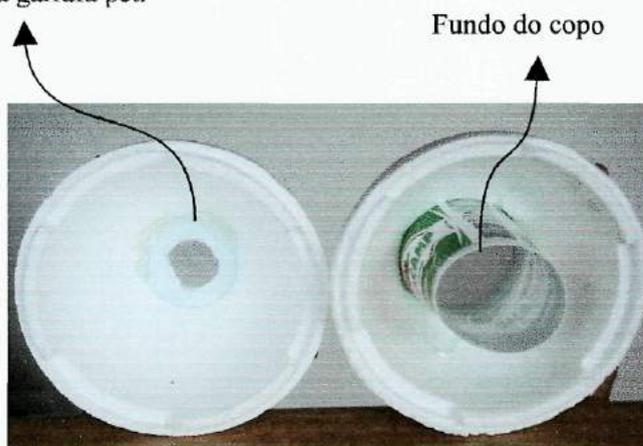


Figura 1 – Caixa de Imagem (“olho”).

#### Método de Uso

Primeiramente é importante que a região ou objeto que você deseja observar com a Caixa de Imagem, que sem encontra no formato de um olho propositalmente, esteja bem iluminado. Direcione a região do olho que possui a lente (íris do nosso olho) para o objeto, ficando a outra extremidade (anteparo, copo de guaraná com o papel vegetal) voltada para os seus olhos, esta nos servirá como tela de projeção para a imagem que desejamos observar.

Para melhorar a imagem (focalizar) basta mexer no copo de guaraná, pondo-o mais para dentro ou mais para fora da bola de isopor (estamos com isto mudando a distância entre a lente e o anteparo, fazendo com que este fique sobre o foco da lente).



Figura 02 – Olho em uso.

### Comentários

A lente da Caixa de Imagem (e de nossos olhos também) é uma lente convergente. Os raios de luz de um ponto qualquer de um objeto distante são desviados na direção do eixo da lente até se concentrarem em um ponto. Os pontos acima do eixo da lente têm a sua respectiva imagem formada abaixo do eixo da lente e vice-versa. Por isso a inversão. E é justamente assim que acontece no nosso olho, a imagem só será processada e recolocada na sua real posição pelo cérebro.

Essa atividade poderá ser estendida para a explicação sobre os defeitos da visão e suas correções. Dependendo somente do interesse do professor.

#### 2.2.2. Disco de Newton [23]

### Objetivo

Para demonstrar que a luz branca é uma mistura de várias cores.

### Material para Construção

- ✓ Um quadrado de papelão;
- ✓ lápis de cor (ou similar) nas cores: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta;
- ✓ algo que faça o disco girar rapidamente, exemplos: suporte de um ventilador ou brinquedo, batedeira, etc. Nessa versão iremos utilizar batedeira;

criada por nós, por causa da nossa capacidade visual, a cor que enxergaríamos seria uma mistura.

### 2.2.3. Cor da Cor [24]

#### Objetivo

Mostrar que a cor de um objeto está relacionada com a interação deste com a luz.

#### Material para Construção

- ✓ papel celofane vermelho
- ✓ 1 caixa de papelão rígido (caixa de arquivo ou similar)
- ✓ 1 garrafa pet transparente
- ✓ pano grosso (50x50cm)
- ✓ fita adesiva
- ✓ objetos coloridos (cartolina dupla face, bolar de isopor coloridas com guache, etc) nas cores preto (4), azul escuro (1), verde escuro (1), amarelo (1), vermelho (1) e branco (1).

#### Detalhes da Construção

Faça o filtro de luz. Construa o suporte do filtro recortando no fundo da caixa um retângulo de 4x27cm. Tampe esse retângulo com o papel celofane (dobrado pra ficar mais vermelho) e fita adesiva.

Abra um furo de observação recortando um orifício de 3cm de diâmetro na face menor da caixa.

Para abrir o acesso ao interior da caixa, recorte numa das faces laterais uma circunferência ligeiramente menor do que o diâmetro de uma garrafa pet. Faça um tubo de 20cm cortando as partes superior e inferior da outra garrafa plástica. Envolve o tubo com o pano preto, de modo a concentrar as sobras em um só lado, formando uma manga de pano. Introduza 3cm do tubo dentro da caixa através do orifício lateral.

Verifique se há alguma entrada de luz na caixa, se houver vede-a.

Pinte as bolas de isopor com guache, sendo 4 pretos, 1 azul, 1 verde, 1 vermelho, 1 amarelo e 1 branco.

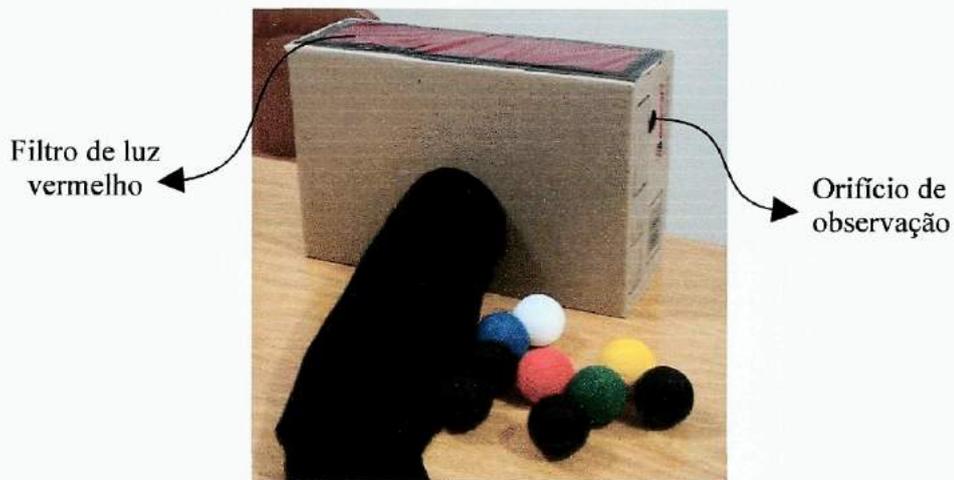


Figura 4 – Cor da Cor.

### Método de Uso

Coloque a caixa com o filtro em um local bastante iluminado. Olhe através do orifício de observação e verifique se há entrada de luz não filtrada. Caso haja, vede-a adequadamente.

Coloque no interior da caixa os retângulos coloridos de cartolina. Retire o retângulo azul ou verde introduzindo sua mão pelo tubo de acesso e olhando pelo orifício de observação.

### Comentários

A cor de um objeto não depende só do próprio objeto, mas também da cor da luz que o ilumina. A luz branca do Sol é, na realidade, composta pelas cores do arco-íris. Uma cartolina que se apresenta azul na luz do Sol está refletindo essa cor e absorvendo todas as outras. Quando iluminada só com a luz vermelha, não haverá luz azul para ser refletida, e o olho, que não recebe luz alguma, interpretará a ausência de luz como preto. Processo análogo acontece com o cartão verde.

#### 2.2.4. Espectrógrafo [25]

### Objetivo

Observar a composição da luz.

### Material para Construção

- ✓ 1 caixa de sabonete
- ✓ 1 CD
- ✓ 1 tesoura
- ✓ 1 estilete
- ✓ Fita adesiva

### Detalhes da Construção

Com a tesoura corte um pedaço do CD que seja um pouco menor que a largura da caixa de sabonete.

Defina onde você irá colocar o CD dentro da caixa: se na extremidade esquerda ou direita. Faça uma fenda muito fina, com 1mm de largura, na tampa da caixa (o tamanho vai depender da largura da caixa de sabonete). Ela deve ficar paralela à largura e ser feita na extremidade onde será posto o CD. Na extremidade oposta do CD, bem no centro, faça um orifício de visualização com um tamanho que dê para você visualizar no interior da caixa.

Fixe o CD dentro da caixa, na aba lateral de sua tampa já definida anteriormente. Ele precisa ficar preso de modo que ao fechar a caixa ele fique numa posição de maios ou menos 45°. Feche a caixa e confira se há luz entrando por algum buraco que não seja a fenda e a janela de observação. Se houver, tampe-o.

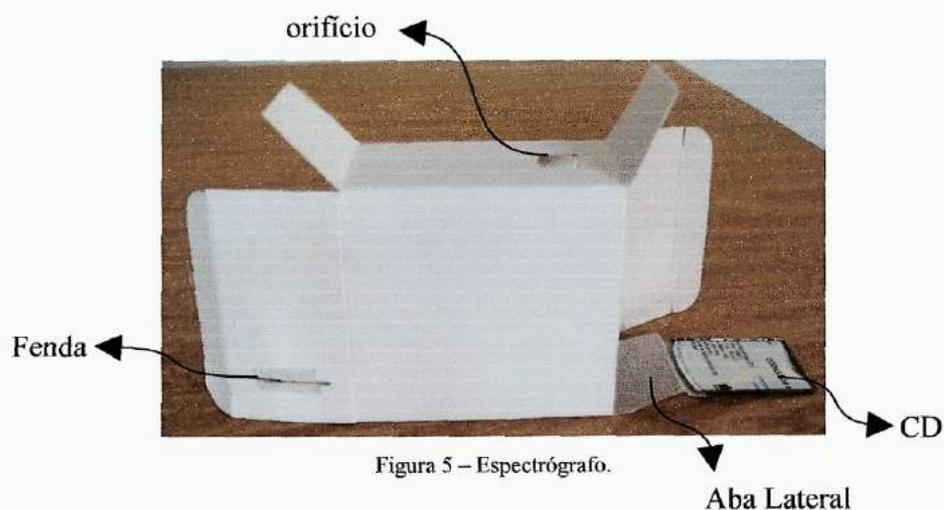


Figura 5 – Espectrógrafo.

### Método de Uso

Aponte a fenda para alguma fonte de luz. O que você irá ver dependerá dessa escolha. Ao observar a luz do dia, por exemplo, você poderá enxergar todas as cores que formam a luz branca, entre elas: violeta, anil, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho. Essa imagem é formada dentro da caixa porque a luz foi refletida e decomposta pelo CD. Por outro lado, se você decidir mirar numa lâmpada fluorescente, verá as linhas de cores que são características da luz dessa lâmpada. Já uma lâmpada incandescente mostrará outro tipo de espectro.

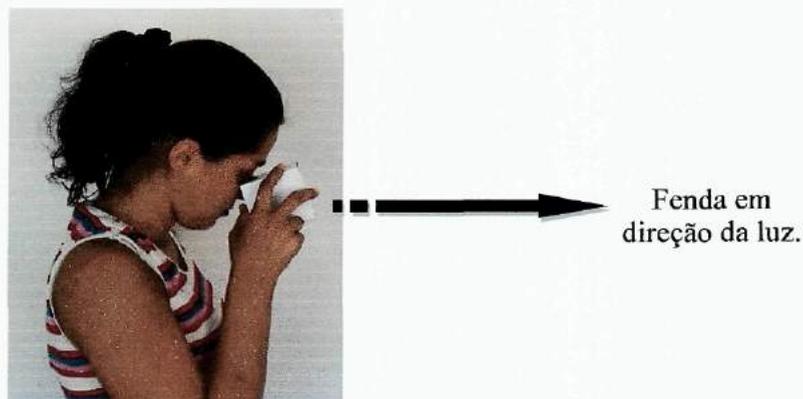


Figura 6 – Uso do Espectrógrafo.

### Comentários

Graças à luz das estrelas, aprendemos muito sobre elas. Foi possível saber o que são feitas, há quanto tempo cada uma delas brilha no céu e até se alguma parece com o Sol. Tudo isso porque há um instrumento que separa a luz em cores. E com o auxílio dele podemos analisar as características das estrelas sem mesmo irmos até lá, o que seria impossível.

### 3. INFORMÁTICA

#### 3.1. Justificativa

##### 3.1.1. Introdução

O computador é um poderoso instrumento de aprendizagem e um grande parceiro na busca do conhecimento, podendo ser usado como uma ferramenta de auxílio no desenvolvimento cognitivo do estudante. Para isso é preciso que se consiga disponibilizar um bom ambiente de trabalho, onde alunos e professores possam desenvolver aprendizagens ativas, facilitadas e em colaboração. Desta forma, proporcionar ao aprendiz a construção de sua própria interpretação acerca de um assunto, interiorizando as informações e transformando-as de forma organizada, ou seja, estabelecendo-as para construir determinado conhecimento permanente. [26]

A Física lida com vários conceitos, alguns dos quais caracterizados por uma alta dose de abstração, fazendo com que a Matemática seja uma ferramenta essencial ao seu desenvolvimento. Além disso, lida com materiais que, muitas vezes estão fora do alcance dos sentidos do ser humano, tais como partículas subatômicas, corpos com altas velocidades e processos dotados de grande complexidade. Estas situações podem fazer com que os estudantes se sintam entediados chegando até mesmo a odiarem o estudo da Física.

Uma das grandes preocupações do professor de Física do Ensino Médio é que no trabalho a ser desenvolvido, o aluno precisa buscar o entendimento dos fenômenos estudados através da construção de modelos. Estes necessitam, muitas das vezes, de uma grande abstração da parte do aluno. E na maioria das vezes isso não acontece.

O computador é um elemento que vem se tornando um poderoso instrumento facilitador no processo ensino/aprendizagem, principalmente na área científica, por trabalhar com a formação de modelos [27]. Ele é uma poderosa ferramenta oferecida ao aluno para ajudá-lo na formulação e compreensão de modelos abstratos. Tira do aluno a obrigação de abstração.

A utilização da Informática na Educação tem experimentado um enorme avanço no seu potencial e na sua diversidade de usos. Isso ocorreu devido à popularização dos laboratórios de informática, sendo mais usual encontrá-los do que os de Física. Devido a facilidade de existência, de criação, de manutenção, do próprio preparo do professor e pela sua capacidade de ser usado não só na disciplina de Física como em outras também. Além

disso, os alunos já estão familiarizados com os computadores sendo mais fácil sua inserção.

Existem várias maneiras de se aplicar a informática no ensino de Física. Apresentaremos aqui o uso de simulações, mas podemos sugerir como um outro tipo de aplicação, o uso de softwares próprios para educação. Optamos por essa metodologia porque consideramos que as simulações, os modelos, as simplificações e as idealizações constituem parte muito importante e ferramenta fundamental em nossa tentativa de descrever o complexo mundo físico em que vivemos. Porém, por mais atraente que uma simulação possa parecer, ela estará sempre seguindo um modelo matemático desenvolvido para descrever a natureza. Portanto o valor de qualquer simulação está condicionado ao modelo, à teoria física utilizada em sua construção. É claro que a beleza pode ser um atrativo, mas a Física por trás da simulação é quem deve justificar seu uso. [28]

### 3.1.2. Contribuições

Uma dos problemas clássicos do sistema de ensino tradicional é a dificuldade de sanar os problemas que cada aluno tem pra entender um determinado conteúdo. O uso de computadores pode ser considerado como uma forma de retirar do professor a necessidade de ensinar aos seus alunos de forma igualitária, trabalhando em cima da necessidade de cada um. Provendo condições ideais para um ensino personalizado.

A informática na escola coloca os estudantes frente a um novo processo educativo. Através dela é possível apresentar os conteúdos de uma forma mais atraente e ilustrativa do que os simples exercícios propostos ou as meras descrições de fenômenos efetuadas na maioria das aulas tradicionais. Ela proporciona um maior envolvimento dos alunos nas aulas de Física. O uso de animações e simulações permitindo uma abordagem de um número maior de fenômenos num intervalo de tempo menor e proporcionar uma realimentação imediata na aprendizagem do aluno. [29]

A simulação pode ser vista como representação ou modelagem de objetos específicos reais ou imaginados, de sistemas ou fenômenos. E são verdadeiramente úteis, quando bem empregados, particularmente quando a experiência original for impossível de ser reproduzida pelos estudantes, quando forem experimentos perigosos ou de realizações muito caras e com os que envolvam fenômenos muito lentos ou extremamente rápidos.

Simulações computacionais vão além das simples animações. Elas englobam uma vasta classe de tecnologias, “do vídeo” a realidade virtual. Podendo ser classificadas em certas categorias gerais, baseadas fundamentalmente no grau de interatividade entre o

aprendiz e o computador. A interatividade consiste no fato de que o programa é capaz de fornecer não apenas uma animação isolada de um fenômeno, mas uma vasta gama de animações alternativas selecionadas através da entrada de dados pelo estudante. Isso faz com que o aluno interaja totalmente na atividade.

Os experimentos reais são indispensáveis juízes e uma base para a construção do conhecimento. Porém, muitas das vezes são altamente complexos e de difícil realização e compreensão. A complexidade de uma simulação, por outro lado, pode convenientemente ser adequada às necessidades reais dos estudantes e da situação de aprendizagem pretendida. Na impossibilidade da comparação com o real, a discussão da construção do modelo torna-se ainda mais importante e essencial. [29]

### 3.1.3. Dificuldades

Acreditamos que o computador apresente algumas desvantagens ao ser usado como recurso didático, entre as quais a mais notável é a facilidade de distração, além do forte apelo apresentado pelas imagens móveis e de certa maneira desestimulo a leitura dos textos explicativos. Isto leva os alunos a ficarem apenas observando as imagens e as simulações no material. Também existe a grande possibilidade de eles desviarem totalmente sua atenção do assunto da aula para utilizarem outros recursos disponibilizados pelo computador e que podem ser mais atraentes do que a aula.

Além disso, como a internet é um veículo aberto de comunicação, todos podem introduzir o que desejarem, não havendo qualquer tipo de seleção ou censura. Decorre, daí, a existência de um exagero de informações, algumas até de má qualidade. O dilúvio de informações existente na rede dificulta a sua utilização efetiva pelos professores. Por isso, qualquer material deve ser rigorosamente avaliado antes de ser utilizado, para não frustrar os planos da aplicação dessa abordagem. [29]

Essa estratégia didática pode servir também para apresentar imagens distorcidas da realidade. Temos que ter em mente que uma animação não é uma cópia fiel do mundo real. Toda simulação está baseada em uma modelagem do real. Se essa modelagem não estiver clara para professores e educandos, ou se os limites de validade do modelo não forem apresentados, os danos potenciais que podem ser causados por tais simulações são enormes. Tais danos irão se tornar ainda maiores se o modelo contiver erros grosseiros. Isso se aplica a qualquer abordagem.

A utilização não refletida da Informática na Educação pode ocasionar a utilização de simulações computacionais que podem limitar a possibilidade dos estudantes de serem

confrontados com a riqueza de métodos que visam a descoberta apresentada na experiência, dos erros experimentais e da tentativa de resolverem problemas da vida real, trabalhando apenas com idealizações, como acontece no ensino tradicional. Porque, as simulações estão baseadas em modelos que contêm necessários pressupostos que simplificam a realidade, e o funcionamento do software é proporcionado por um banco de dados que pode ser grande; mas que, apesar disso, é limitado e não infinito.

Temos que ter em mente que equívocos na confecção dos softwares devidos a uma certa falta de cuidado ou mesmo a uma falta de conhecimento em Física podem ocorrer e conduzir as crianças a pensarem de modo incorreto e, conseqüentemente, a não compreenderem a natureza. Isso revela uma preocupação que o professor deve apresentar ao escolher ou fazer suas simulações. Eles devem passar por uma boa avaliação antes de serem aplicadas.

Além disso, o professor ao usar a internet, fica diante de uma poderosa ferramenta que aumenta o leque de recursos didáticos que ele pode explorar em suas aulas, atualizando seus saberes, complementando e ampliando seu acervo cultural. Porque é com a internet que o professor pode trocar informações em grandes velocidades, entrando em contato com as mudanças que acontecem no mundo, tendo a possibilidade de acompanhar tudo, e aumentando as suas informações e possibilitando o aumento da inteligência coletiva desses profissionais. [29]

#### 3.1.4. Estratégias

Antes de realizarem qualquer experimento ou de observarem qualquer resultado, pede-se que os alunos antecipem, de forma clara e com as justificativas que acharem necessárias, sua opinião sobre qual será o resultado do experimento ou da observação que será feita. Somente depois que as hipóteses dos alunos forem apresentadas e discutidas é que o experimento é realizado, confirmando ou confrontando as suas hipóteses. Deste modo as concepções prévias dos alunos são confrontadas com os resultados o que pode facilitar as mudanças e aquisições conceituais. [30]

#### 3.1.5. Considerações Finais

Acreditamos que a simples utilização da Informática não garante que os estudantes tenham uma boa aprendizagem, ou seja, essa como qualquer outra abordagem não deve ser aplicada isoladamente. Refletir, portanto, sobre as possibilidades, limitações e estratégias

de aplicabilidade da Informática no ensino da Física são extremamente importantes, até porque sempre devemos levar em consideração as diferenças das turmas nas quais estamos aplicando tal conteúdo.

Se o computador for introduzido nas escolas sem que haja mudanças estruturais nos métodos de ensino, no treinamento e nas expectativas dos professores e na própria estrutura administrativa da escola, o poder educacional dessas máquinas poderá ser bastante reduzido. Computadores podem ser usados para melhorar a produtividade, para ensinar habilidades básicas que envolvam prática, para fornecer alternativas aos livros didáticos e para deixar os professores mais livres e, assim, poderem ensinar aos seus estudantes a resolverem problemas específicos [30].

Os livros-texto de Física deveriam vir acompanhados por CDs contendo hipertextos repletos de animações. Isso facilitaria a busca dos professores na implementação dessa abordagem na sala de aula, ajudando também na questão de qualidade do material utilizado, garantindo uma certa qualidade.

Sistema real é freqüentemente muito complexo e as simulações que o descrevem são sempre baseadas em modelos que contem, necessariamente, simplificações e aproximações da realidade. É importante que o professor esteja sempre atento a essa questão e que a apresente para seus alunos.

Essa abordagem pode servir como um facilitador da aquisição conhecimento, de meio motivacional, não permitindo que a aula se torne monótona, sendo muito mais significativa e de fácil absorção do que as representações que buscamos fazer no quadro negro.

As animações e simulações podem ser consideradas como uma solução dos vários problemas que os professores de física enfrentam ao tentar explicar para seus alunos fenômenos demasiado abstratos para serem visualizados através de uma descrição com palavras e complicados para serem representados através de uma única figura. Elas possibilitam observar em alguns minutos a evolução temporal de um fenômeno que levaria horas, dias ou anos em tempo real, alguém de permitir ao estudante repetir a observação sempre que desejar.

## 3.2. Exemplo

### 3.2.1. Breve Teoria [31]

Quando a luz branca (a do Sol, por exemplo) entra por uma das faces de um prisma (pedaço de vidro polido com as faces da seção transversal normalmente em forma de triângulo) e sai pelo outro lado podemos ver as cores separadas em diferentes direções. Sabemos que esse efeito é produzido porque no vidro, cada uma das cores (frequências, cada frequência associada a uma cor) sofre um desvio diferente, inclinando-se em um ângulo diferente e ao sair do prisma ficará afastada das demais.

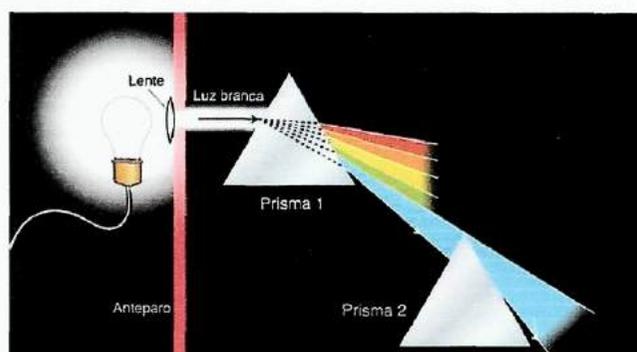


Figura 7 – Representação do Experimento de Newton.

### 3.2.2. Cores Primárias [31]

Se perguntarmos aos alunos (ou a pintores) quais são as cores primárias, muitos deles irão responder que são amarelo, magenta e ciano. Mas se perguntarmos ao um Físico ele irá dizer que são vermelho, verde e azul. Isso acontece porque cada um deles está falando de um tipo de cor, o aluno se refere à cor-pigmento e o Físico à cor-luz. Existe uma grande diferença ao trabalharmos na mistura de cores com pigmentos e com luz, por isso que existe esse conflito, mas isso não significa que eles estejam errados.

Essa diferença pode ser visualizada através do esquema a seguir. E existe devida a diferença de interação das cores na mistura.

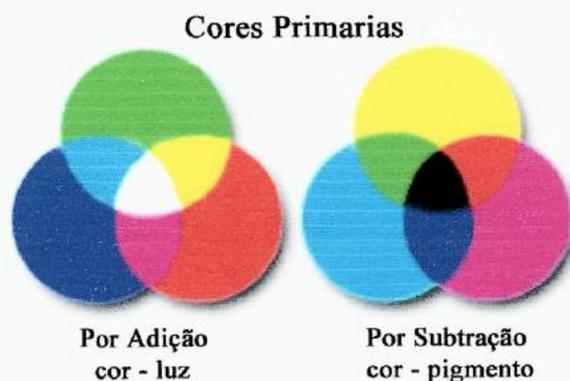


Figura 8 – Demonstração de Misturas de Cor-pigmento e Cor-luz.

### 3.2.3. Misturas [31]

#### I. Cor-luz

Dependendo das cores que iremos superpor teremos diferentes resultados. Podemos verificar também que, ao combinar em proporções adequadas de vermelho, verde e azul podemos gerar qualquer cor do espectro. Por outro lado, não poderemos obter essas três cores misturando-se outras, por isso elas são chamadas de cores primárias.

Nesse exemplo iremos usar o seguinte simulador de Cores Primárias:

[www.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/portuguese/luz\\_optica/colors\\_arquivos/colors.htm](http://www.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/portuguese/luz_optica/colors_arquivos/colors.htm)

Os alunos examinarão o que acontece quando dois feixes de luz colorida são sobrepostos. A disposição mostrada na figura deve ser respeitada por tornar mais fácil a visualização.

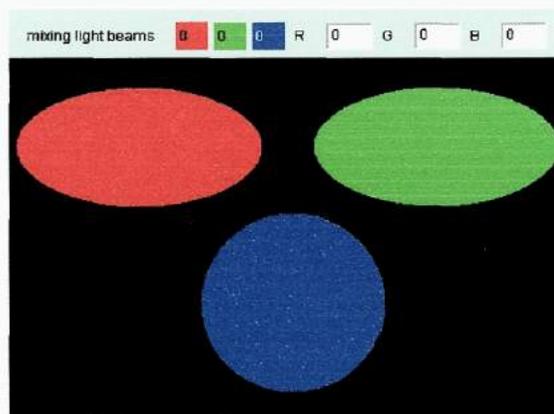


Figura 9 – Simulador Usado.

Questione o aluno sobre as cores a serem formadas. Por exemplo:

verde(G) + azul (B) = ciano (C)

Aguarde um tempo para que os alunos discutam e, se possível, cheguem a um consenso. Faça uma lista na lousa das idéias dos grupos. Neste momento o professor já pode demonstrar o que acontece, fazendo a sobreposição dos dois feixes.

Faça outras misturas, com dois ou mais feixes. Exemplos:

vermelho(R) + azul(B) = magenta(M)

vermelho(R) + verde(G) = amarelo(Y)

verde(G) + vermelho(R) + azul(B) = parece branco(W)

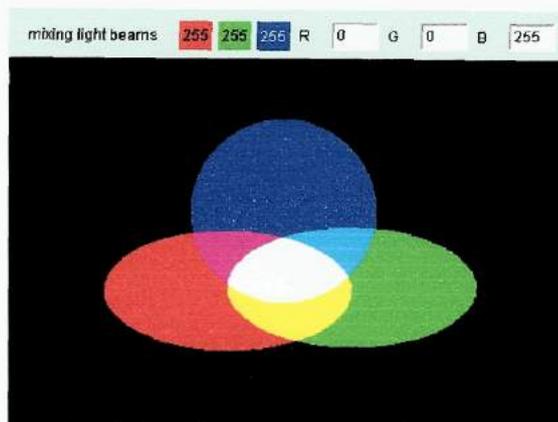


Figura 10 – Mistura dos Três Feixes de Luz.

Discuta os resultados. Mencione como a cor é vista, que a luz de ambos os círculos atingem a mesma região da retina, que o cérebro está recebendo simultaneamente informação da luz verde e da luz azul, por exemplo, e que isto é interpretado como aquela cor. Isto que está sendo observado é a chamada combinação aditiva das cores azul e verde.

Com essa simulação também pode ser trabalhada a mistura de cores através de numerações, onde o usuário estipula valores de 0 a 255 para as cores vermelho (R), verde (G) e azul (B).

## II. Cor-pigmento

A grande diferença entre a cor-pigmento e a cor-luz é que qualquer tinta ou coloração contém pigmentos que lhe dão uma cor característica. Ao olharmos um objeto qualquer (por exemplo, um quadro) o que estamos vendo é a luz que partiu de alguma fonte luminosa (uma lâmpada), atingiu o quadro e nele se refletiu em direção aos nossos olhos. A medida que a luz entra em contato com a coloração, vai sendo absorvida pelos pigmentos e a luz refletida contém cada vez menos a coloração inicial. Ou seja, um tomate vermelho contém pigmentos que absorvem todas as cores exceto o vermelho.

Agora podemos, com a figura a seguir, explicar como é que acontece ao misturarmos cores-pigmentos.

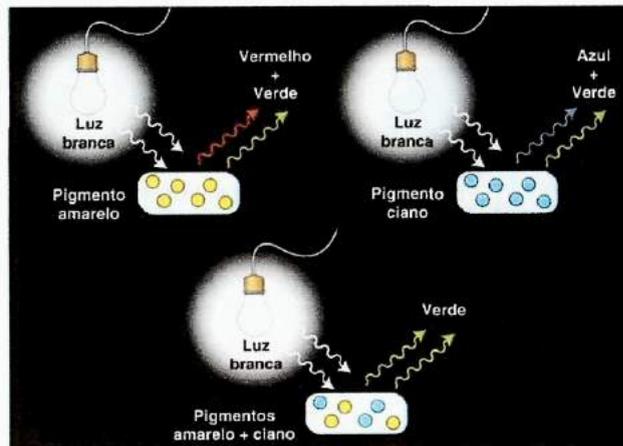


Figura 11 – Demonstração da Explicação da Mistura de Cor-pigmento Azul e Amarelo.

A metodologia será a mesma, podendo a partir do interesse do professor, mudar a ordem da atividade. Para mudar o modo de visualização do simulador, basta dar um duplo clique com o botão direito. A simulação mudará para mistura de cor-pigmento, como mostra a figura abaixo:

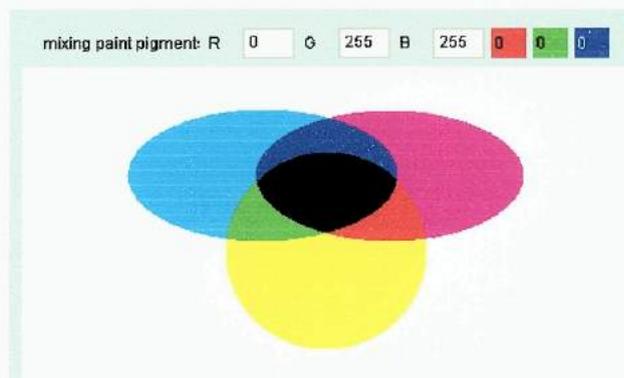


Figura 12 – Mistura da cor-pigmento.

#### 3.2.4. Mais Exemplos

Apresenta um vasto material sobre óptica:

<http://efisica.if.usp.br/optica>

Apresenta sugestões de Experiências:

[www.fisica.ufc.br/sugestoes.htm](http://www.fisica.ufc.br/sugestoes.htm) ,

[www.feiradeciencias.com.br/](http://www.feiradeciencias.com.br/) ,

[www.terra.com.br/fisicanet/feirasdeciencias/principal\\_feirasdeciencias.htm](http://www.terra.com.br/fisicanet/feirasdeciencias/principal_feirasdeciencias.htm) ,

[www.geocities.com/CollegePark/Bookstore/2334/fisica/lupas.html](http://www.geocities.com/CollegePark/Bookstore/2334/fisica/lupas.html) ,

[www.seara.ufc.br/sugestoes/sugestoes.htm](http://www.seara.ufc.br/sugestoes/sugestoes.htm) .

Contém diversas simulações:

[www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/](http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/) ,

[www.fisica.ufpb.br/prolicen/anim.html](http://www.fisica.ufpb.br/prolicen/anim.html) ,

[www.walter-fendt.de/ph11br/](http://www.walter-fendt.de/ph11br/) ,

[www.walter-fendt.de/ph14br/](http://www.walter-fendt.de/ph14br/) ,

[www.surendranath.org/Applets.html](http://www.surendranath.org/Applets.html) ,

<http://falstad.com/mathphysics.html> ,

[www.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/portuguese/simulacoes.html](http://www.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/portuguese/simulacoes.html) ,

[www.fsc.ufsc.br/~ccf/parcerias/ntnujava/index-port.html](http://www.fsc.ufsc.br/~ccf/parcerias/ntnujava/index-port.html) ,

[www.fis.unb.br/simulacao/](http://www.fis.unb.br/simulacao/) ;

<http://micro.magnet.fsu.edu/> .

Revistas de Ensino de Física:

Caderno Brasileiro de Ensino de Física = [www.fsc.ufsc.br/ccef/](http://www.fsc.ufsc.br/ccef/)

Revista Brasileira de Ensino de Física = [www.sbfisica.org.br/rbef/](http://www.sbfisica.org.br/rbef/)

Física na Escola = [www.sbfisica.org.br/fne/](http://www.sbfisica.org.br/fne/)

Revista do Observatório Nacional = [www.on.br/revista/index.html](http://www.on.br/revista/index.html)

Investigações em Ensino de Ciências = [www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm)

Nova Escola = <http://revistaescola.abril.com.br/home/>

Gazeta da Física = <http://nautilus.fis.uc.pt/gazeta/>

## CONCLUSÕES

A necessidade da utilização de uma abordagem sempre deve ser refletida, equilibrada e nunca deve excluir outra. O ato educativo é bastante complexo para que o profissional da educação em Física possa optar por um único recurso pedagógico. Não importa qual seja a atividade e nem a maneira pela qual vai se relacionar com o conteúdo, mas todas devem ter como objetivo levar o aluno a pensar e a refletir criticamente sobre o fenômeno que está aprendendo.

Parece não haver dúvida de que a aprendizagem que vá além da pura memorização deve estar baseada em atividades nas quais o aprendiz se envolva cognitivamente. O conhecimento não pode ser simplesmente implementado ou transferido. Ele precisa ser construído e reconstruído para ter qualquer efeito duradouro.

Temos que mobilizar o envolvimento do aprendiz. Já que a aprendizagem é intrínseca e por isso temos que fazer algo para tentar mobilizar os estudantes da melhor maneira possível, sempre tendo em mente que cada turma é uma turma diferente e temos que diversificar as abordagens aplicadas.

Temos que propiciar o desenvolvimento da criatividade, iniciativa e capacidade de raciocínio. Proporcionar uma aprendizagem significativa, contínua e autônoma, fundamentada na interação e visualização de situações vivenciadas em seu cotidiano, as quais a Física, que é uma ciência natural, explica e equaciona. Desde que seja aplicada com uma metodologia adequada.

Devemos ter em mente a importância de não concentrarmos o ensino da Física exclusivamente na veiculação de informações, mas de ter-se em mente a construção do conhecimento em um contexto mais amplo que englobe os conteúdos e os seus processos de construção. Proporcionando aos estudantes o conhecimento dos principais produtos da ciência, a terem experiência com eles e que compreendam os métodos utilizados pelos cientistas. Para que eles possam se posicionar diante aos avanços da ciência e da tecnologia.

A exigência de um olhar crítico à Ciência e à Tecnologia torna o ensino das Ciências fundamental no processo de formação da cidadania. Porque o mundo se desenvolve cada vez mais cientificamente e faz-se necessário dar formação a um cidadão capaz de entendê-lo. É pensando e refletindo sobre ciência que os alunos poderão no futuro enfrentar novas questões científicas (viver como um cidadão, realizando sua parte diante da sociedade), tanto na própria sala de aula, quanto ao longo de sua vida.

Além das abordagens apresentadas aqui, existem outras que podemos aplicar em sala de aula. Cabe ao professor, escolher a que ele acha que terá mais sucesso na aplicação de acordo com cada turma e com os objetivos que serão construídos por ele em parceria com os alunos. A seguir indicaremos mais algumas abordagens para posteriores estudos.

A primeira atividade sugerida é levar os alunos a Museus e Centros de Divulgação Científica. Acreditamos que seja muito importante que o aluno tenha contato com outras formas de aquisição de conhecimento que são obtidas fora da escola. Nos espaços de educação não formal o aluno irá se deparar com uma nova abordagem de um conteúdo, que tentará estimular sua curiosidade e despertar nele o gosto pela investigação. [32]

Alguns Museus e Centros de Divulgação Científica e suas localizações são: Museu de Astronomia e Ciências Afins (São Cristóvão); Casa da Ciência (Botafogo); Casa da Descoberta (Niterói); Espaço Ciência Viva (Tijuca); Espaço COPPE (Ilha do Fundão); Espaço UFF de Ciências (Niterói); Fundação CECIERJ (Mangureira); Planetário (Gávea); Museu da Vida (Manguinhos); Museu Escola Politécnica (Ilha do Fundão) e SESC Ciência (Botafogo). Para mais informações sobre eles e outros em todo o Brasil será encontrada em: [www.abcmc.org.br](http://www.abcmc.org.br) da Associação Brasileira de Centros e Museus de Ciência.

Podemos também usar recursos audiovisuais em sala de aula. Um filme ou um programa multimídia têm um forte apelo emocional e motivam a aprendizagem dos conteúdos apresentados pelo Professor. Além disso, a quebra de ritmo provocada pela apresentação de um audiovisual é saudável, pois altera a rotina da sala de aula. Além de ser uma ferramenta que auxilia a sanar um grande problema que temos hoje no ensino, a falta de abstração.

A importância deste tema é bastante grande, uma vez que a sociedade moderna tem no uso da imagem e do som uma de suas principais características. Além disso, há certos efeitos que são melhor observados, ou somente podem ser observados, se filmados. [33]

Outra abordagem que poderia ser aplicada teria o enfoque CTS (Ciência – Tecnologia – Sociedade). O objetivo central da educação com um enfoque CTS é desenvolver a alfabetização científica e tecnológica dos cidadãos, auxiliando o aluno a construir conhecimentos, habilidade e valores necessários para tomar decisões responsáveis e inteligentes sobre questões de ciência e tecnologia na sociedade e atuar na solução de tais questões. [34]

O conteúdo de CTS tem um caráter multidisciplinar, onde os conceitos são sempre abordados em uma perspectiva relacional, de maneira a evidenciar as diferentes dimensões do conhecimento estudado, sobretudo as interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Kawamura, Maria Regina Dubeux e Hosoume, Yassuko. *A Contribuição da Física para um Novo Ensino Médio*. Revista Física na Escola, v. 4, n. 2, p. 22-27, (2003).
- [2] BRASIL. *Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil/LEIS/L9394.htm>
- [3] BRASIL. *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio*. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/index.php?option=content&task=view&id=265&Itemid=255>
- [4] Cadorin, Jair Libero. *Uma Maneira diferente de Ensinar Física*. Cad. Cat. Ens. Fis., Florianópolis, v. 1, n. 1, p. 14-17, (1984).
- [5] Bonadiman, Helio. *O Gostar e o Aprender no Ensino de Física: Uma Proposta Metodológica*. Cad. Bras. Ens. Fis., v. 24, n. 2, p. 194-223, (2007).
- [6] Gircoreano, José Paulo. *O Ensino de Óptica na Perspectiva de Compreender a Luz e a Visão*. Cad.Cat.Ens.Fís., v. 18, n.1, p. 26-40, (2001).
- [7] Martins, André Ferrer P.. *História e Filosofia da Ciência no Ensino: Há Muitas Pedras nesse Caminho...* Cad. Bras. Ens. Fis., v. 24, n. 1, p. 112-131, (2007).
- [8] Silva, Fabio W.O. da. *A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 1, p. 149-159, (2007).
- [9] Hülsendeger, Margarete Jesusa Varela Centeno. *Os Prós e Contras da Utilização da História da Ciência no Ensino da Física*. XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física. Disponível em: [www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0313-1.pdf](http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0313-1.pdf)
- [10] Guerra, Andreia; Reis, José Claudio e Braga, Marco. *Um Julgamento no Ensino Médio – Uma estratégia para Trabalhar a Ciência sob Enfoque Histórico-Filosófico*. Revista Física na Escola, v. 3, n. 1, p. 8-11, (2002).
- [11] Castro, Ruth Schmitz de e Carvalho, Anna Maria Pessoa de. *História da Ciência: Investigando como Usá-la num Curso de Segundo Grau*. Cad.Cat.Ens.Fís., v.9, n.3, p. 225-237, (1992).
- 12 - Pedrotti, Leno e Frank. *Optics and Vision*.
- [13] Hecht, Eugene. *Óptica*. Tradução de José Manuel N.V. Rebordão. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. (2002).
- [14] Mueller, Conrad G. e Rudolph, Mae. *Luz e Visão*. Biblioteca Científica Life. Livros da Coleção Life. Traduzido Livraria José Olympio Editora. Rio de Janeiro. (1972).
- [15] Rocha, José Fernando; Ponczek, Roberto I. Leon; Pinho, Suani T. Rubim de; Andrade, Roberto F. Silva; Freire Júnior, Olival e Ribeiro Filho, Auriano. *Origens e Evolução das Idéias da Física*. EDUFBA. Salvador. (2002).

- [16] Bassalo, José Maria Filardo. *Nascimento da Física. (3500a.C.-1900d.C.)*. EDUFPA. Belém. (1996).
- [17] Barthem, Ricardo. A Luz. Editora Livraria da Física. Sociedade Brasileira de Física. São Paulo. (2005).
- [18] Gaspar, Alberto. *Experiências de Ciência para o Ensino Fundamental*. Editora Ática. São Paulo. (2003).
- [19] Araújo, Mauro Sérgio Teixeira de e Abib, Maria Lúcia Vital dos Santos. *Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades*. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 25, no. 2, p.176-194, (2003).
- [20] Carvalho, Anna Maria Pessoa de; Vannuchi, Andréa Infantsi; Barros, Marcelo Alves; Golçalves, Maria Elisa Rezende e Rey, Renato Casal de. *Ciências no Ensino Fundamental – O Conhecimento Físico*. Editora Scipione, São Paulo. (1998).
- [21] Borges, A. Tarciso. *Novos Rumos para o laboratório escolar de Ciências*. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 19, n.3, p.291-313, (2002).
- [22] Margato, Bianca; Nasser, Pedro Zille Teixeira e Gusmão, Thiago de Castro. *Apostila - Faça Você Mesmo: O olho que tudo inverte*. MAST – Museu de Astronomia e Ciências Afins. Rio de Janeiro. (2007).
- [23] Ciência Hoje. *Ciência Hoje na Escola, 5 : Ver e Ouvir*. Rio de Janeiro. (1998).
- [24] Almeida, Ronaldo de e Falcão, Douglas. *Brincando com a Ciência*. MAST – Museu de Astronomia e Ciências Afins. Rio de Janeiro. (2004).
- [25] Rodrigues, Teresinha; Requeijo, Flávia e Caretta, Sésar Augusto. *Ver para crer*. Ciência Hoje das Crianças. Ano 16, nº137, p. 20-21. (2003).
- [26] Araújo, Renato Santos e Vianna, Deise Miranda. *UNESCO - Seleção de conteúdos on-line e o estudo da capacitação de professores e licenciandos em Física para a utilização da internet na formação continuada e inicial*. ABED – Associação Brasileira de Educação a Distância. Disponível em:  
[www.abed.org.br/congresso2004/por/pdf/117-TC-DI.pdf](http://www.abed.org.br/congresso2004/por/pdf/117-TC-DI.pdf)
- [27] Heckler, Valmir; Saraiva, Maria de Fátima Oliveira e Oliveira Filho, Kepler de Souza. *Uso de simuladores, imagens e animações como ferramentas auxiliares no ensino/aprendizagem de óptica*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 2, p. 267-273, (2007).
- [28] José de Souza Nogueira, Carlos Rinaldi, Josimar M. Ferreira e Sérgio R. de Paulo. *Utilização do Computador como Instrumento de Ensino: Uma Perspectiva de Aprendizagem Significativa*. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 22, no. 4, p. 517-522, (2000).

- [29] Medeiros, Alexandre e Medeiros, Cleide Farias de. *Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física*. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 24, no. 2, p. 77-86, (2002).
- [30] Fiolhais, Carlos e Trindade, Jorge. *Física no Computador: o Computador como uma Ferramenta no Ensino e na Aprendizagem das Ciências Físicas*. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 25, n. 3, p. 259-272, (2003).
- [31] Horowicz, Ricardo J.. *Luz, cores – ação: a óptica e suas aplicações tecnológicas*. Editora Moderna. São Paulo. (1999).
- [32] Pereira, G. R.. *Do lúdico ao Científico: Construção e Avaliação de Módulos Experimentais de Óptica em Museus de Ciências e em Ambientes Escolares*. Dissertação (Mestrado) – Instituto Oswaldo Cruz, Ensino de Biociências. Rio de Janeiro. (2007).
- [33] – Rosa, Paulo Ricardo da Silva. *O Uso dos Recursos Audiovisuais e o Ensino de Ciências*. Cad. Cat. Ens. Fís., v. 17, n. 1, p. 33-49. (2000).
- [34] – Santos, Wilson Luiz Pereira dos; Mortimer, Eduardo Fleury. *Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira*. ENSAIO – Pesquisa em Educação em Ciências, vol. 2, n. 2, pág. 1-23, (2002).