

# Capítulo 1 – Introdução

## 1.1 – Motivação e objetivos

É atribuído, a todos os alunos portadores de deficiência visual um fracasso nos estudos de matemática e física. Esse suposto fracasso é devido a uma soma de fatores, desde o professor que não está apto a trabalhar com alunos deficientes visuais, até a falta de material didático adaptado nas escolas. É inviável treinar todos os docentes de uma instituição de ensino para que possam trabalhar com alunos deficientes visuais, em virtude do tempo disponível aos professores, que na sua grande maioria não trabalha em uma única instituição, além do custo operacional e da falta de espaço físico adequado. A inexistência de livros de Física transcritos para o Braille, a falta de material didático adaptado, a dificuldade na transcrição para o Braille das provas, a falta de recursos para novos investimentos, são apenas algumas das várias barreiras que o professor e o aluno deficiente visual encaram. São necessárias ações eficazes de modo a atender propostas inclusivas. Precisamos repensar o ensino de Física, desenvolver novas estratégias, procurar caminhos alternativos para o docente, de modo a estabelecer um ensino eficaz e que atenda as necessidades do aluno cego.

O tema desta dissertação teve origem nas aulas de Física Inclusiva, na Unidade Escolar Realengo do Colégio Pedro II, ministradas desde abril de 2007. Foi nesse ano que houve a matrícula da primeira aluna deficiente visual naquela Unidade. Essa aluna havia terminado o segundo segmento do ensino fundamental no Instituto Benjamim Constant (IBC) e por convênio matriculou-se no Colégio Pedro II para fazer o ensino médio. A

Unidade Realengo, foi a escolhida, pois era a que ficava mais próximo de sua residência. Ao iniciar seus estudos no ensino médio, a aluna sentiu logo dificuldades de aprendizagem, em virtude de sua deficiência. Quando terminaram as provas da primeira certificação (primeira prova do ano), viu-se que a aluna havia ido muito mal, principalmente em Física (a nota de física da primeira certificação foi igual a 1,5). Para auxiliá-la no que fosse possível foi designado um professor que dispunha de horário para ajudá-la. Essa aluna passou a ter aulas de apoio de Física duas vezes na semana no seu contra-turno, e o trabalho deu certo. Assim, a Unidade Escolar foi arriscando e se aventurando até conseguir chegar ao objetivo desejado. Foi realizada com a aluna uma revisão da matéria e, após a resolução de vários exercícios, foi aplicada outra prova dentro da matéria que havia caído na prova de primeira certificação e a sua nota foi 8,5. Daí em diante o estudo fluiu com muito mais naturalidade e tranquilidade. Hoje a visão do ensino de inclusão pela Unidade Escolar é muito diferente da que se tinha.

Uma das maiores dificuldades encontradas por um estudante de física deficiente visual está relacionada com a realização de experimentos. No caso particular da ótica, uma questão que surge é: como desenvolver os conceitos relacionados e a sua representação mental do que venha a ser a luz ?

Pesquisas recentes mostram que os olhos são responsáveis por pelo menos 80% das impressões recebidas [Batista 2005]. O escopo principal desta dissertação é tentar responder a seguinte questão: como ensinar Física, em particular ótica, para alunos cegos, uma vez que habitamos um mundo que se manifesta de forma predominantemente visual? Como dar as condições para que o aluno entenda os conceitos envolvidos?

Esta dissertação trata destes problemas, estabelecendo alternativas para a prática experimental além de uma contribuição para a construção de uma representação conceitual

mental acerca dos fenômenos físicos e, em particular, da luz. Os experimentos utilizam material de baixo custo, fáceis de encontrar e manusear e que fornecem uma percepção tátil para o aluno deficiente visual. O aluno deficiente visual, por meio do tato, conseguirá identificar o gráfico e a partir dessa identificação definir o processo de resolução do exercício em questão.

A política atual exige que os alunos portadores de necessidades especiais devam ser incluídos juntamente com seus pares em situações de ensino regular. Assim, os sistemas especial e regular são substituídos por um único sistema inclusivo onde todos os alunos frequentam a mesma escola. No caso dos alunos portadores de deficiência visual, um dos principais problemas que encontram no seu aprendizado de ciências, em particular da física, é a ausência de material instrucional adaptado para o laboratório experimental. Nesta dissertação apresentamos estratégias, atividades e recursos instrucionais para o professor de física utilizar em sala de aula com alunos portadores de deficiência visual utilizando quadros magnéticos, ímãs e aparelhos emissores de luz laser. Para a obtenção de melhores resultados, sugerimos que o professor utilize os recursos sob um enfoque de construção de modelos de modo a estimular o interesse e o envolvimento ativo do aluno. Conforme os alunos vão engajando nas atividades, eles desenvolvem habilidades de raciocínio de forma crescente, além de uma compreensão mais profunda dos conceitos e sua relevância para o seu dia-a-dia.

Toda instituição de ensino que receber um aluno deficiente, deve ter um procedimento adequado, identificar as características inerentes a esses alunos para poder: [Pacheco 2007]:

- a) Orientar os professores da classe no processo ensino-aprendizagem para, se possível transformar a deficiência em eficiência ([Camargo 2008, Orrico 2007]);

- b) Auxiliar os alunos nos diferentes processos de aprendizagem, com materiais didáticos adaptados ou fornecendo recursos humanos, como por exemplo, aula no contra turno;
- c) Promover um planejamento curricular adaptado à presença do aluno portador de deficiência, visando o melhor aproveitamento possível da classe como conjunto.

O professor deverá destacar as peculiaridades de cada aluno, conhecer os seus responsáveis e a sua instituição de ensino de origem. Com isso, o professor poderá determinar como proceder e planejar o sistema ensino-aprendizagem que deverá utilizar no decorrer do ano letivo [Pacheco 2007].

Um erro muito comum é afirmar que todos os alunos que apresentam determinada deficiência têm as mesmas necessidades e habilidades, isto é, que todo aluno deficiente auditivo sabe fazer leitura labial ou que todo aluno que apresenta deficiência visual sabe ler Braille ou que tenha memória extraordinária. Por coincidência ou não, a experiência que tenho com alunos deficientes visuais é que, aqueles que são cegos de nascença ou que ficaram cegos ainda em idade muito tenra, têm memória muito melhor do que aqueles que ficaram cegos já com idade, por exemplo, a partir dos 10 anos.

Esta dissertação foi desenvolvida de modo que o professor de uma classe de alunos portadores de deficiência visual possa acompanhar o currículo atualmente vigente na maioria das escolas secundárias brasileiras. Como produto desta dissertação, foi desenvolvido um material didático onde o professor encontrará sugestões de atividades e estratégias de ensino. Ênfase foi dada ao ensino de óptica, mas as estratégias podem ser facilmente adaptadas para o ensino de todo o conteúdo de Física, Matemática e Ciências.



## **1.2 – Estrutura do Trabalho.**

Esta dissertação se propõe a dar os primeiros passos na direção de preencher a lacuna entre as discussões teóricas sobre os princípios do ensino inclusivo e a prática na sala de aula. Ela está dividida como se segue. No capítulo 2, apresentamos uma breve revisão da literatura sobre trabalhos já publicados sobre o ensino de física para deficientes visuais. O capítulo 3 trata do desenvolvimento de material didático, dando ênfase ao estudo da Ótica Geométrica para deficientes visuais e explorando o desenvolvimento de conceitos. Tentamos responder a algumas questões: como o aluno vai entender os conceitos apresentados nas aulas? Como vai, por exemplo, no caso do ensino de ótica, fazer distinções entre um feixe de luz paralelo e um convergente? Como fazê-lo entender o que é luz? Como ensinar sobre as lentes óticas? O desenvolvimento de conceitos por parte do aluno depende de uma gama de informações sensoriais tais como a linguagem e o pensamento [Batista 2005]. Acredita-se que mudanças no aluno e nos conceitos estudados sugerem modelos flexíveis de ensino tanto no caso do aluno vidente quanto do aluno cego.

No capítulo 3 discutiremos algumas qualidades do processo de ensino-aprendizagem, dando ênfase ao papel do tato como recurso principal de informação sensorial, e a noção de representação através da utilização de modelos, como fundamento da elaboração de recursos didáticos para o aluno cego. Uma das maiores dificuldades encontradas por um estudante de física deficiente visual está relacionada com a realização de experimentos e, no caso particular da ótica, a sua representação mental do que venha a ser a luz. O capítulo 3 trata destes problemas, estabelecendo alternativas para a prática experimental além de uma contribuição para a construção de uma representação conceitual

mental acerca da luz. Os experimentos devem ser realizados com materiais que possam fornecer uma percepção tátil para o aluno deficiente visual.

O capítulo 4 apresenta uma breve revisão dos vários Ciclos de Aprendizagem (CA), desenvolvido após o trabalho pioneiro de Karplus. Os CAs estão em consonância com a tendência da educação moderna em fazer com que o estudante tenha uma efetiva participação no seu processo de aprendizagem. Assim, para o estudante deficiente visual essa participação tem fundamental importância no seu aprendizado, pois faz com que ele busque cada vez mais o seu conhecimento, o aprender. Os CAs são métodos de engajamento interativo fazendo com que os alunos participem ativamente de todo o processo, através de uma firme interação entre aluno e professor. O CA de Karplus, foi o ciclo utilizado no processo ensino aprendizagem desse trabalho, ciclo esse voltado ao ensino de conceitos de ciências em escolas do ensino fundamental, dentro do referencial da teoria de Piaget. No capítulo 4 apresentamos mais detalhes sobre o Ciclo de Karplus além de um breve resumo dos demais ciclos de aprendizagem, como os ciclos de Clement, Hestenes, Wells e Swackhamer.

No capítulo 5 são discutidas as construções de modelos sobre a luz, utilizando os ciclos de aprendizagem, mas sugerindo a utilização do CA de Karplus em conjunção com os materiais táteis apresentados no capítulo 3. A maioria dos professores de física lidam com um desafio tremendo ao ensinar física para deficientes visuais. A principal razão para esta dificuldade é a falta de preparação do professor para lidar com a inclusão. O objetivo deste capítulo é sugerir a utilização dos ciclos de aprendizagem de Karplus em conjunção com os materiais tatilmente adaptados para o ensino de física de estudantes cegos. Embora os exemplos que apresentamos são essencialmente dedicado à óptica geométrica, a idéia pode ser facilmente adotada para outros temas como mecânica, cinemática, matemática,

etc. Finalmente, serão apresentadas nossas conclusões e perspectivas para trabalhos futuros.

O apêndice A apresenta o produto desta dissertação. Nele apresentamos sugestões para o professor utilizar os materiais didáticos desenvolvidos nesta dissertação. Este apêndice fornece a professores várias estratégias de ensino, recursos, atividades e idéias de modo a fomentar o ensino e a aprendizagem de física voltada ao público deficiente visual do nível médio. Estes recursos são baseados no referencial teórico do ensino de física através da construção de modelos e foram projetados de modo a estimular no aluno o interesse e o envolvimento nas atividades propostas. Esperamos que, com o engajamento dos estudantes nas atividades descritas nesta dissertação, eles venham a desenvolver habilidades de raciocínio e a obter uma compreensão mais profunda dos conceitos físicos.

## Capítulo 2 - Revisão da Literatura

Apresentamos neste capítulo uma revisão dos trabalhos encontrados na literatura acerca do ensino de física para alunos cegos.

Azevedo [Azevedo 2010], em seu artigo “Construção Gráfica para Alunos Cegos” mostra como contornou a sua dificuldade em ensinar Cinemática para alunos deficientes visuais, uma vez que esses alunos não sabiam como se determinar a partir do gráfico do movimento estudado, o seu deslocamento e a sua velocidade média, pois não conheciam gráficos, surgiu a idéia de se construir gráficos utilizando o geoplano (Fig. 2.1), os alunos sabiam as fórmulas de determinação das áreas das figuras planas, mas não conheciam as figuras, daí surgiu, também, a idéia de se cortar em chapa de alumínio as figuras planas mais comuns (Fig. 2.2). Com isso o aprendizado ficou mais fácil, o aluno constrói os gráficos do movimento com a ajuda do geoplano e dos elásticos e usando o sentido do tato verifica a figura e resolve o problema.

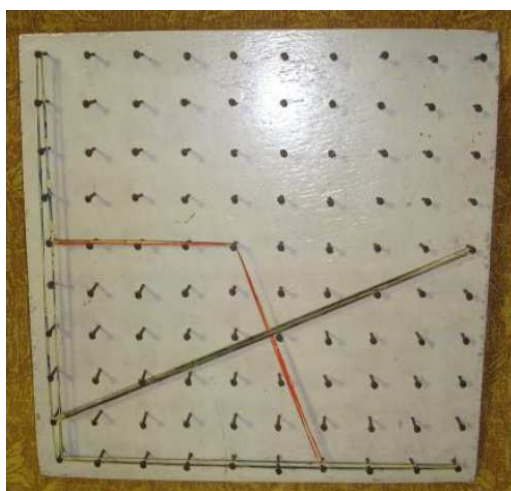


Fig. 2.1 – O geoplano [Azevedo 2010].

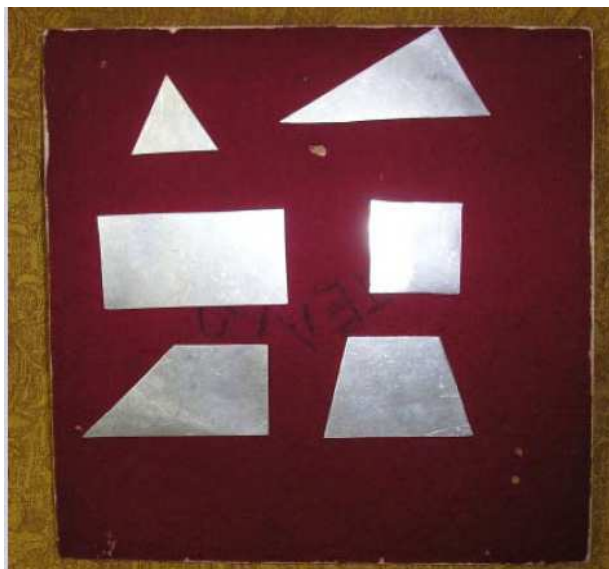


Fig. 2.2 – Figuras geométricas planas cortadas com uma lâmina de alumínio, para que os alunos reconheçam as figuras geométricas [Azevedo 2010].

Batista [Batista 2005] discute o processo de formação de conceitos em alunos cegos, dando ênfase ao papel do tato como ferramenta, e a idéia de representação como alicerce da elaboração de recursos didáticos para o aluno deficiente visual.

Dos Santos [dos Santos 2001] apresenta uma dissertação que tem como ponto central o ensino de Física para alunos cegos do nível médio. Em seu trabalho, foram utilizadas as próprias vivências, expectativas e habilidades do aluno de modo, ressaltando a participação ativa do aluno. Foram dados tratamentos específicos em áreas como Astronomia, onde a visão tem um papel importante.

Camargo e colaboradores [Camargo 2008] publicam um texto que faz parte de um trabalho que busca compreender as principais barreiras e alternativas para a inclusão de

alunos com deficiência visual no ensino de física. Apresenta e discute as dificuldades e viabilidades para a completa participação do aluno cego em aulas de ótica. Por meio de análise de conteúdo, os autores identificaram quatro classes funcionais que implicam nas dificuldades para inclusão e seis classes de viabilidade da mesma. As dificuldades relatadas foram: dificuldade de comunicação entre professor e aluno; segregação do aluno portador de deficiência em relação aos demais; dificuldade para a realização de experimentos e resolução de problemas envolvendo operações matemáticas. Os autores concluem enfatizando a importância da criação de ambientes de comunicação adequados, a função inclusiva da interatividade e a destituição de ambientes segregacionais no interior da sala de aula.

Santos e colaboradores [Santos 2009] no artigo “Concepções de Calor e Temperatura de Alunos Cegos”, comentam sobre a tradição de pesquisa de mudança conceitual e sua modificação positiva para a evolução conceitual baseada no perfil epistemológico bachelardiano. Os autores também comentam sobre a obrigatoriedade da inclusão de alunos portadores de deficiências visuais em classes regulares e do conhecimento que o professor de física deve adquirir para trabalhar com esses estudantes. Por esse motivo, os autores julgam necessário estudar as concepções espontâneas que trazem os alunos cegos, recentemente matriculados em escolas regulares, por força da lei, para as salas de aula. Um problema ainda enfrentado é quanto à capacidade e possibilidades de pessoas cegas aprenderem a física. Este problema foi respondido através de exemplos de cientistas deficientes visuais que muito contribuíram e ainda contribuem para o desenvolvimento da ciência. Este trabalho, realizado em um colégio federal do Rio de Janeiro com quatro estudantes do ensino médio portadores de deficiência visual severa (cegueira) sobre os conceitos de calor e temperatura. Um deles matriculado no primeiro ano e os demais

inscritos no segundo ano do ensino médio teve, como objetivo conhecer as suas concepções espontâneas e compará-las com as de estudantes que enxergam. Os quatro alunos foram submetidos a uma entrevista semiestruturada, aplicada em seu colégio na sala de Educação Especial, um por vez. Concluiu-se, que os alunos cegos estudados apresentam os mesmos conceitos encontrados na literatura que estuda alunos videntes. Influenciam-se pela linguagem cotidiana, usam calor e temperatura como sinônimos e calor é sempre relacionado a algo de temperatura elevada. Sendo assim, apesar de haver a necessidade de adaptações e metodologias próprias estes sujeitos são tão aptos para a aprendizagem de física que quaisquer outros.

Souza e colaboradores [Souza, 2008], mostram em seu artigo uma análise da eficácia de um material instrucional criado especificamente para o ensino de eletrodinâmica para deficientes visuais. Diz o artigo que o material foi aplicado a um aluno cego, do ensino médio, de uma escola pública. Os fenômenos e conceitos envolvidos foram divididos em três sessões de aprendizagem. O material instrucional produzido mostrou-se eficaz na compreensão dos conceitos básicos, bem como das leis de um circuito elétrico simples.

Para Diderot [Diderot 2006], a diferença entre cegos e videntes está na forma perceptível e não na deficiência. O fato do portador de deficiência visual dispor de um canal de entrada de informações a menos o canal visual. Comparado com uma pessoa sem a deficiência, apenas modifica a forma de interpretação do mundo, sem que isso implique em concepções menos evoluídas do conhecimento ou até mesmo menor capacidade cognitiva. [Camargo, 2008].

Vygotsky [Vygotsky 2005] afirma que a interpretação dos estímulos recebidos depende das concepções prévias de cada indivíduo e dos diversos conjuntos de comunicação, implícitos ou explícitos existente entre os envolvidos no processo de ensino-

aprendizagem. Independentemente do fenômeno ocorrido, para o aluno será válida a percepção do fenômeno, influenciada por diversos fatores. As corriqueiras restrições no processo educacional de deficientes visuais, entre outros fatores, explicam as idades mais avançadas desses alunos no ensino médio. Todavia, não justificam as diferenças conceituais e a pouca habilidade em realizar problemas longos envolvendo dados numéricos. [Santos 2009].

O processo pelo qual se formam os conceitos é criativo e não passivo, [Vygotsky 2005]. O desenvolvimento de um conceito surge durante a resolução de algum problema com recursos disponíveis. Situações favoráveis de aprendizagem podem se tornar sem significado na ausência de ferramentas adequadas à situação proposta. Para Santos [Santos 2009] a formação de um conceito somente se solidifica através de aplicações em diferentes situações. Mesmo assim, aplicar um conceito é um processo ainda mais difícil que externá-lo verbalmente. O adolescente formará e utilizará um conceito com muita propriedade numa situação concreta, mas achará extremamente difícil expressar esse conceito com palavras [Vygotsky 2005].

Há expectativa por parte da sociedade quanto à educação e a preparação de alunos cidadãos para a vida, assim como a sua formação para o exercício da profissão, isso inclui o aluno deficiente. Porém, alguns fatores facilmente observados influenciam esse processo, como exemplo, a falta de condições estruturais da maioria das escolas, principalmente as públicas de ensinos fundamental e médio; o sentimento de impotência, que é advindo de uma ideologia decorrente de um sistema sócio-econômico com o intuito do lucro fácil, em detrimento da qualidade e dos objetivos da educação; e a falta de condições instrumentais do professor, que lhe garantem a capacitação adequada para o



exercício da profissão. Sabemos que não há investimento da escola no profissional, a fim de proporcionar-lhe uma melhor capacitação [Dubois 1996].

É necessário que durante as aulas o Professor faça os ajustes e adaptações necessárias para não deixar excluído o seu aluno deficiente. A Física como um todo, está presente no dia a dia de cada um de nós, assim, está também presente na vida daqueles que trazem consigo a deficiência visual ou qualquer outra deficiência que seja.

Ensinar física a um aluno deficiente visual requer um certo cuidado quanto à forma de abordagem que o professor deve apresentar ao aluno o fenômeno físico. Essa abordagem deve ser cautelosa para que o aluno possa compreendê-la, superando assim os obstáculos que naturalmente ocorrem devido a sua deficiência. A idéia deste trabalho é exatamente essa, mostrar ao aluno que ele pode vencer esses obstáculos criados pelas circunstâncias. Podem ser citados como exemplo de obstáculo, a idéia de luz, as construções gráficas na Física e Matemática, a propagação de ondas em uma corda etc. Para que esses obstáculos possam ser superados, os professores devem ajudá-los construindo ou adaptando alguns materiais didáticos, para uso em sala de aula ou então na sala de recursos.

No próximo capítulo apresentamos sugestões de material didático tátil e versátil para o ensino de Física e Matemática.

## **Capítulo 3 - Desenvolvimento de Material Didático Baixo Custo para o Ensino de Óptica para Deficientes Visuais sob uma Perspectiva da Utilização de Modelos**

### **3.1 – Introdução.**

Um dos receios apresentados por professores do ensino fundamental (2º segmento) e médio, que recebem alunos cegos em suas classes refere-se ao modo de aprendizagem deste aluno, além dos recursos necessários para essa aprendizagem [Batista 2005].

Uma das maiores dificuldades encontradas por um estudante de física deficiente visual está relacionada com a realização de experimentos e, no caso particular da ótica, à sua representação mental do que venha a ser a luz. Neste capítulo tratamos destes problemas, estabelecendo alternativas para a prática experimental além de uma contribuição para a construção de uma representação conceitual mental acerca da luz. Os experimentos utilizam material de baixo custo, fáceis de encontrar e manusear e que fornecem uma percepção tátil para o aluno deficiente visual.

Uma certeza que o professor deve ter sempre em mente é que a cegueira é uma condição dos olhos, não algo que impeça o deficiente visual de raciocinar. Os portadores de deficiência visual têm a mesma capacidade de aprender e curiosidade dos não portadores. Embora ele não possa enxergar o mundo ao seu redor, o deficiente visual deseja conhecer e compreendê-lo. O ensino de Física deve se realizar em condições adequadas, contemplando as necessidades do aluno de modo individualizado [Costa 2006]. Além da dificuldade na

leitura do material escrito, o deficiente visual também irá se confrontar com diagramas e gráficos, que não são facilmente compreendidos somente pela transmissão oral. De que forma o deficiente visual, enxerga o mundo? Através do tato, assim os experimentos devem ser desenvolvidos de modo a fornecer uma percepção tátil para o aluno.

Há uma carência de trabalhos acerca das dificuldades encontradas por portadores de necessidades especiais [Costa 2006, Baughman 1977, Camargo 2000, Henderson 1965, Morgado 2011, Camargo 2003, Camargo 2005, Camargo 2007]. A questão do ensino de Física para pessoas com deficiência visual é ainda muito pouco explorada na pesquisa em ensino de Física [Parry 1997]. Um erro bastante comum é o uso de um modelo de ensino de Física, amplamente baseado no sentido da visão para deficientes visuais. Faz-se necessário uma diversidade de estratégias de ensino para evitar a evasão dos portadores de necessidades especiais [Costa 2006].

A falta de compreensão é um obstáculo sempre presente no ensino da Matemática e Física para deficientes dentro da sala de aula comum [Costa 2006]. Estudantes cegos têm mais dificuldades de compreensão. Há uma probabilidade maior de que as informações recebidas possam levar a concepções errôneas, a menos que um método objetivo de pensar seja empregado. Acreditamos que a utilização de modelos deve desempenhar um papel central no ensino de ótica, para deficientes visuais. Isto significa que o ensino de fenômenos físicos deve ser calcado na construção de modelos conceituais. É necessário um atendimento especializado para o sucesso escolar do aluno deficiente, além de um melhor preparo do Professor como condição para a prática de um ensino inclusivo.

Embora dispositivos eletrônicos, que ajudam o deficiente nas atividades tais como leitura, tenham sido desenvolvidos há décadas [Henderson 1965], um número significativo de estudantes no mundo não possuem acesso a este tipo de material. Vários materiais de

alto relevo têm, sido reportados na literatura [Henderson 1965], alguns apresentam desvantagens ou vantagens sobre outros. Alguns autores, por exemplo, têm sugerido a utilização de quadros com uma borda alta e preenchido com cera sobre a qual seria possível escrever ou desenhar com o auxílio de um instrumento pontiagudo [Henderson 1965]. Os diagramas poderiam ser facilmente apagados utilizando-se uma espátula. No caso de profissionais da área da saúde que lidam com o público deficiente visual, alguns estudos descrevem passo a passo à adaptação das escalas bi e tridimensionais (modelos ou maquetes) que permitem adaptar novos materiais com o intuito de avaliar um componente da imagem corporal do deficiente visual [Camargo 2006], valorizando a multividência tátil que podem beneficiar a forma tátil com que o deficiente visual “vê” o mundo e se comunica com ele. Camargo e colaboradores descrevem materiais com sugestões de atividades para o ensino de ótica a alunos cegos e com baixa visão [Camargo 2008]. Conforme vimos no capítulo 2, a utilização do geoplano para a confecção de gráficos foi sugerida por Azevedo [Azevedo 2010].

Neste capítulo, concentramos principalmente nas dificuldades que o deficiente visual encontra quando tem que trabalhar com gráficos e diagramas. Sugerimos experimentos que utilizem os quadros magnéticos e ímãs, em forma de tiras para os eixos e em forma de discos para as curvas, que fornecem uma excelente percepção tátil para o aluno deficiente visual.

### **3.2 - Materiais e Métodos**

O referencial teórico que adotamos neste trabalho é o ensino baseado na construção de modelos ([Camargo 2008], [dos Santos 2001]). Modelos constituem um recurso

importante para os professores de ciências em geral, porque a modelagem é intrínseca à ciência. Um modelo (físico) é uma representação análoga, simplificada e objetiva de um fenômeno físico ou da realidade complexa que contribui para a nossa compreensão do conteúdo. No caso do ensino de física para deficientes visuais, a modelagem serve como um substituto para a observação direta e experimentação do fenômeno. Modelos, na forma de maquetes ou diagramas, podem ser utilizados quando é impossível ou impraticável criar condições experimentais em que os alunos possam medir diretamente os resultados devido às suas limitações físicas. O professor deve ter em mente que uma representação completa e verdadeira por parte do aluno é quase sempre impossível. *“Inicialmente, são feitas simplificações e idealizações para se obter uma aproximação da realidade. Classificam-se as propriedades e as características comuns a cada elemento (objeto-modelo) aproximando e associando-as à teoria geral, as possíveis relações estabelecidas produzem a teoria específica ou o modelo teórico sobre o domínio real em estudo”* [dos Santos 2001]. Podemos construir modelos, maquetes ou diagramas que atuam como simulações simplificadas da realidade, feitos para descrever o fenômeno que eles representam. Eles são usados para ajudar o aluno portador de necessidades especiais conhecer e compreender o assunto que eles representam. Um modelo conceitual refere-se aos conceitos relacionados que são formados após um processo de conceituação mental. *“Os objetos-modelo passam a representar os objetos-reais e o modelo teórico o comportamento deles”*. [dos Santos 2001] apud [Pietrocola 1999].

Embora não possa contemplar a beleza de um arco-íris, o deficiente visual pode compreender as leis da ótica geométrica. A conceituação a partir da observação da existência física e modelagem conceitual são os meios empregados por cientistas para pensar e resolver problemas. Modelos analógicos têm suas limitações. Por exemplo, a luz

às vezes é modelada como uma onda e às vezes como uma partícula. Alguns autores argumentam [Henderson 1965] que porque o mundo do cego é invisível, ele não teria dificuldades em fazer a ponte entre o concreto e o abstrato.

Além dos modelos conceituais, há também os modelos mentais, ou seja, como afirma Moreira: “*Representações internas, ou representações mentais, são maneiras de “representar” internamente o mundo externo. As pessoas não captam o mundo exterior diretamente, elas constroem representações mentais (quer dizer, internas) dele.*” [Moreira 1996]. Os modelos mentais seriam representações dinâmicas sendo continuamente reconsiderados, ou seja, os “*modelos mentais seriam como níveis intermediários entre o fenômeno e o modelo conceitual*”. [dos Santos 2001, Moreira 1996].

Uma aula de física típica, em especial a ótica geométrica, normalmente exige o uso de diagramas e gráficos. Mas como fazer desenhos e esquemas que o deficiente visual possa acompanhar? Alguns critérios devem ser seguidos: as linhas que compõem as figuras devem ser facilmente apagadas ou removidas e permitir a duplicação rápida de tais figuras. As linhas devem ser de alto relevo para que o aluno deficiente possa facilmente distingui-las do fundo. Neste trabalho, sugerimos a utilização de ímãs e quadros magnéticos conforme passamos a descrever.

O quadro magnético é constituído de uma placa de aço com medidas de 80 × 50 cm e sobre essas placas, utilizando-se diversos tipos de ímãs, são construídos os gráficos referentes aos tópicos da matéria que está sendo estudada e esses gráficos são apresentados ao aluno deficiente visual, que por intermédio do tato perceberá com detalhes a construção gráfica, isso faz com que o aluno passe a compreender e entender a matéria, ficando mais motivado para o estudo.

Observa-se com clareza que a construção gráfica utilizando os quadros magnéticos e ímãs é muito mais eficaz que a construção gráfica utilizando o geoplano, pois dá ao aluno deficiente visual forma tátil e naturalmente mais compreensível. Nas figuras abaixo estão apresentadas as tiras magnéticas utilizadas nas construções gráficas, como por exemplo, na formação dos eixos cartesianos e na ótica como a propagação retilínea da luz.



Figura 3.1- As fitas magnéticas como são encontradas no mercado, em rolos ou em tiras de aproximadamente 1 metro de comprimento.

As tiras magnéticas apresentadas nas figuras acima são flexíveis devido a serem fabricadas com material emborrachado. São amplamente utilizadas em artigos de: papelaria, em aparelhos eletrodomésticos, em dispositivos a prova d'água (motores, sensores, travas, conjuntos magnéticos, eletrônica, fechamento da porta do refrigerador etc), estão sendo largamente utilizadas no Colégio Pedro II – Unidade Escolar Realengo II, na construção de gráficos, por exemplo, na ótica geométrica.

Os demais tipos de ímãs como as mantas imantadas e os ímãs em formato cilíndrico, todos com boa espessura, servem para desenhos de linhas curvas e marcação de pontos

sobre os gráficos referentes aos tópicos da matéria que está sendo estudada. O aluno depois que perceber com detalhes, isto é, compreender as figuras ou os gráficos a ele apresentados, se sentirá estimulado para prosseguir o estudo, fazendo com que o processo ensino-aprendizagem seja concluído com sucesso.

Como exemplo de aplicação da tira e do quadro magnético, apresentamos a propagação da luz em linha reta. A representação mais simples da luz é como algo que viaja como raios em linhas retas. Para o não deficiente visual, os raios são facilmente percebidos numa transmissão de um feixe de luz em um meio contendo partículas em suspensão. Mas como transmitir a idéia de um raio de luz para um deficiente visual? Uma solução é pensar numa descrição abstrata, apenas uma linha matemática, conforme ilustrado na Fig. 3.2.



Fig. 3.2- Representação de raios de luz para um deficiente visual.

A figura 3.3 abaixo, mostra a aplicação desses raios luminosos na reflexão luminosa e a formação de imagens.





adaptáveis para o estudante deficiente visual. Nos próximos capítulos apresentamos os Ciclos de Aprendizagem e a sua aplicação no ensino Ótica para alunos deficientes visuais.

## Capítulo 4 - Os Ciclos de Aprendizagem.

A grande maioria das tendências educacionais modernas sugere uma forma de ensino onde o estudante tem uma efetiva participação na aprendizagem. Todas reconhecem a grande importância do conhecimento inicial do aluno, isto é, o conhecimento que o aluno traz consigo, e a necessidade da autoavaliação por parte dos estudantes. Entretanto, os diversos referenciais teóricos divergem de forma muito significativa sobre as suas expectativas acerca do conhecimento prévio do estudante. Alguns acreditam até que se deve, deixar os estudantes totalmente livres durante o processo de aprendizagem. Enquanto outros acreditam que esta estratégia é pouco eficiente [Ibrahim 2006].

Uma alternativa é o aprendizado mediado, uma forma de instrução centrada no estudante que não permite que eles vaguem sozinhos no processo de aprendizagem, mas introduz certa estrutura no processo. Adotaremos os Ciclos de Aprendizagem (CA) que engajam os estudantes na construção e desenvolvimento de um modelo e na formação de conceitos de acordo com as normas da pesquisa científica. Entende-se por conceito a *“representação de um objeto pelo pensamento, por meio de suas características gerais”*, [Ferreira, 1975] e por modelo uma visão abstrata e simplificada de uma realidade complexa.

Os métodos de engajamento interativos encontram-se entre os métodos de ensino mais significativos. Um modo de fazer com que os alunos participem ativamente é a adoção do aprendizado mediado, ou seja, através de uma interação intensa entre o aluno e o professor, ou mediador. Um tipo de aprendizado mediado são os ciclos de aprendizagem

(CA). Acredita-se que os CAs fazem com que os alunos se engajem na construção de um modelo de acordo com as regras da pesquisa científica.

#### **4.1 - CICLOS DE MODELAGEM DE KARPLUS**

O conceito de ciclo de aprendizagem como forma de aprendizagem estruturada e mediada foi inicialmente introduzida por Karplus em 1962 [Karplus 1962] para o ensino de conceitos de ciência em escolas do ensino fundamental, dentro do referencial da teoria de Piaget do desenvolvimento intelectual. Assim, as bases deste referencial estão enraizadas nas teorias de aprendizagem de Piaget. Piaget identificou os quatro fatores principais que ele acreditava serem relevantes para o desenvolvimento das habilidades de raciocínio cognitivo [Ibrahim 2006]. Estes fatores são: 1º) Maturação: os estudantes devem ser biologicamente maduros e fisicamente desenvolvidos e conseqüentemente capazes de operar fisicamente no ambiente; 2º) Experiência: as experiências concretas anteriores e a habilidade de recordar estas experiências são fundamentais para o aprendizado. Piaget descreve dois tipos de experiência: Experiência Física, é aquela obtida diretamente dos objetos e a Experiência Lógico-Matemática, é aquela obtida por ações que afetam os objetos; 3º) Comunicação Social: aquelas onde os alunos devem ser capazes de comunicar informação nas formas oral e escrita; 4º) Equilíbrio: devido ao crescimento cognitivo, os estudantes devem ser expostos à situações cognitivamente desafiantes, onde as suas condições de operação mental não são adequadas. O processo de acomodação, chamado de equilíbrio, pelo qual os estudantes lidam com esta nova informação resultará no crescimento cognitivo. Entende-se por cognição o ato ou processo de conhecer, envolvendo atenção, percepção, memória, raciocínio, juízo, imaginação, pensamento e linguagem.

A transposição da teoria de Piaget em um modelo aplicável para o processo de aprendizagem deve incorporar os quatro fatores acima citados. Piaget afirmava que a maturação e a comunicação social não são tão importantes quanto a experiência e o equilíbrio, no caso de alunos adolescentes. Embora ressaltasse a interdependência dos quatro fatores, a teoria de Piaget sugere que a experiência aliada ao fator equilíbrio é fundamental para o aprendizado e desenvolvimento.

O ciclo de aprendizagem de Karplus consiste de três fases instrucionais que combinam experiência com transmissão social e encorajam a auto-regulação. Estas três fases são: *Exploração*; *Introdução do Conceito* e *Aplicação do Conceito* (Fig. 4.1).

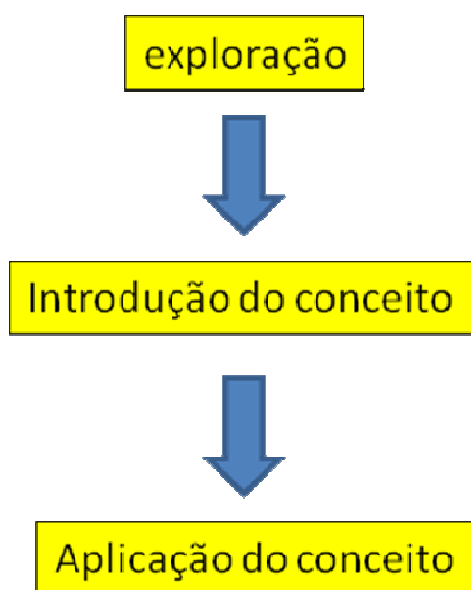


Fig. 4.1- O ciclo de aprendizagem original de Karplus.

Na primeira fase, após uma breve explicação sobre o tópico em questão, os estudantes são convidados a explorar uma situação não familiar de forma empírica de modo a gerar questões ou complexidades que eles não possam resolver com os padrões de

raciocínio ao qual estão acostumados. As atividades podem ser fornecidas pelo professor que auxiliará o estudante a recordar e compartilhar experiências concretas do passado e assimilar novas experiências que ajudarão o aprendizado nas fases seguintes. Durante essas atividades, os alunos recebem somente instrução mínima e devem explorar as novas idéias espontaneamente. Esta fase o ciclo de aprendizagem fornece ao estudante um reforço das experiências concretas prévias e/ou introduz novas experiências concretas relacionadas com o assunto estudado. Durante a primeira fase de exploração, o professor encoraja o aluno, dando dicas e/ou sugestões de modo a manter um nível de desequilíbrio adequado. Esta atividade permite ao aluno evocar idéias não concretas como fatores relevantes, fornecendo ao professor informações sobre as habilidades do aluno em lidar com os conceitos e/ou habilidades introduzidos. Como resultado, um desequilíbrio mental ocorre e os estudantes estarão prontos para a auto-regulação.

Um novo conceito ou princípio é introduzido na segunda fase para resolver o problema. Os estudantes ficam mais receptivos para compreensão de um novo conceito se inicialmente forem envolvidos em um nível concreto. Nesta fase, a experiência concreta obtida na fase anterior é utilizada como base para a generalização do conceito. Aqui também o professor tem a oportunidade de introduzir um princípio, ou estender as habilidades e raciocínio do estudante. Os papéis do professor e estudante nesta fase podem variar dependendo da natureza do conteúdo. Geralmente, os alunos devem ser solicitados a “inventar” parte ou integralmente as relações por si só, cabendo ao professor fornecer apoio e conduzindo conforme a necessidade. Isto permite aos estudantes se auto-regularem e irem de encontro ao equilíbrio com os conceitos introduzidos. Durante a atividade, os estudantes são encorajados a formular relações que generalizem as suas idéias e experiências

concretas. O professor atua como mediador auxiliando os estudantes a formularem estas relações de modo a serem consistentes com os objetivos.

A auto-regulação da aprendizagem (SELF-REGULATION OF LEARNING) é a capacidade do aluno para gerir ele próprio seus projetos, progressos, estratégias diante das tarefas e obstáculos. (Perrenoud)

Na terceira fase o conceito é aplicado. Nesta fase ocorre também a familiarização, enquanto o estudante aplica o novo conceito ou novo padrão de raciocínio. A transmissão social, ou seja, uma aula para transferência de conhecimento, que é reduzida na primeira fase, é máxima na segunda fase onde o professor desempenha, o seu papel tradicional de aula e demonstração e diminui na terceira fase onde, a experiência física com materiais e interações sociais com o professor e outros estudantes ocorre. A fase de aplicação do conceito fornece ao estudante uma oportunidade de aplicar diretamente o conceito ou habilidade aprendida durante a fase anterior. Esta atividade permite um tempo adicional para a acomodação necessária aos estudantes, que precisam de mais tempo, para atingirem o equilíbrio. Também fornece experiências equilibrantes para os estudantes que já acomodaram os conceitos introduzidos. No início da atividade de extensão ou aplicação, professor e estudantes interagem no planejamento de uma atividade para aplicar o conceito “inventado” e/ou habilidade adquirida em uma situação relevante para os objetivos de aprendizagem. Os estudantes são solicitados a completar a atividade planejada de acordo com as exigências do professor. Além de permitir ao aluno a possibilidade de aplicar diretamente o novo conceito ou situação, esta atividade fornece mais equilíbrio das novas habilidades cognitivas.

Embora o CA permita ao aluno a oportunidade de pensar por si só, o professor deve estar sempre presente para fazer o acompanhamento da atividade, fornecendo questões,

dicas e encorajando os estudantes. O professor pode ainda manter o seu papel tradicional de fonte de conhecimento, mas procurando agir como facilitador e encorajador ao invés de ser uma figura de autoridade.

Quando o estudante tem a oportunidade de construir o modelo, ele passa a ter uma maior probabilidade de lembrar, posteriormente, o que aprendeu.

O CA de Karplus foi reconhecido por vários educadores da área de ciências, não somente como método de ensino, mas também como um princípio de organização de currículo. O ciclo foi implementado de formas variadas através dos anos com relativo sucesso em várias disciplinas científicas e em vários níveis de instrução.

Algumas formas variantes de ciclos de aprendizagem foram planejadas para certos modos de modelagem [Clement 1989], [Hestenes 1987], [White 1993].

## **4.2 - UMA BREVE REVISÃO DE OUTROS CICLOS DE APRENDIZAGEM**

### **4.2-1 -O CICLO DE CLEMENT [CLEMENT 1989]**

Seguindo a análise dos esquemas desenvolvidos por vários especialistas para a resolução de problemas, Clement propôs um ciclo de construção de modelos, consistindo de três fases, as quais são: 1ª - Criação de uma Hipótese; 2ª - Avaliação e 3ª - Modificação ou Rejeição.

O ciclo inicia com a conjectura de uma hipótese sobre um fenômeno observado, frequentemente em analogia com uma situação familiar, isto é, já conhecida. A hipótese passa por vários testes empíricos e racionais na segunda fase de avaliação. Como consequência, a hipótese pode ser modificada ou rejeitada na terceira fase. Ao contrário do



ciclo de Karplus, o ciclo de Clement não é linear. Podemos ir e voltar entre as fases do ciclo de tal forma a testar, re-testar e refinar as hipóteses.

#### 4.2 -2 - AS FERRAMENTAS DO PENSADOR DE WHITE [WHITE 1993]

White desenvolveu um currículo, chamado “Ferramentas do Pensador” (Thinker Tools) que possibilita os estudantes a desenvolver um modelo conceitual que inclua os princípios da mecânica de Newton e a aplicar o modelo na predição de fatos e na resolução de problemas. As atividades do currículo estão imersas em um ciclo de instrução de quatro fases, são elas: 1ª - Motivação; 2ª - Evolução do Modelo; 3ª - Formalização e 4ª - Transferência. Na fase da Motivação, os estudantes são desafiados a fazer predições acerca de situações simples do dia-a-dia. Na fase de Evolução do Modelo, os estudantes trabalham em grupos em uma série de atividades de complexidade crescente de modo a descobrir as causas e os conceitos envolvidos em um dado sistema (microworld). Na fase de Formalização, os estudantes formalizam o que eles aprenderam até então na forma de uma lei que descreva o comportamento do sistema (microworld). Para facilitar o processo nas etapas iniciais do currículo, e até que os estudantes se tornam relativamente independentes, são apresentados exemplos de “boas” leis ou leis “ruins” antes que eles possam construir as suas próprias leis. Na fase de Transferência, os estudantes inicialmente aplicam a lei formalizada de tal forma que possa prever as situações apresentadas na primeira fase do ciclo, e então aplicam a lei às novas situações do mundo real.

#### 4.2- 3- OS CICLOS DE MODELAGEM [HESTENES 1987]

Wells, Hestenes e Swackhamer propuseram um ciclo de modelagem para o ensino de física no nível médio e superior que pode ser visto como um refinamento do ciclo de aprendizagem desenvolvido por Karplus. O ciclo de modelagem tem duas etapas, envolvendo duas classes de atividades de modelagem, são elas: 1ª - Desenvolvimento do Modelo e 2ª - Desdobramento do Modelo. A primeira etapa é planejada de modo a guiar os estudantes sistematicamente através das quatro fases principais do desenvolvimento do modelo: descrição, formulação, ramificação e validação. A segunda etapa é direcionada para o desdobramento (aplicação) do modelo desenvolvido na primeira etapa em uma variedade de situações físicas novas e de formas distintas. Na fase de descrição, os fenômenos e sistemas individuais em uma dada situação empírica são isolados e as propriedades primárias correspondentes são identificadas e matematicamente representadas. Na fase de formulação, as propriedades identificadas são relacionadas entre si com leis apropriadas, formulando assim um modelo matemático abstrato. O modelo é analisado na fase de ramificação de modo a dar uma solução para o problema proposto, interpretar a solução e considerar suas implicações. O modelo e a solução para o problema são avaliados na fase de validação.

No próximo capítulo aplicaremos os ciclos de aprendizagem de Karplus aos alunos cegos.

# **Capítulo 5 – Construindo modelos sobre a luz utilizando os ciclos de aprendizagem**

## **5.1 – Introdução**

A maioria dos professores de física encara um grande desafio que é o de ensinar física para alunos portadores de deficiência visual. A principal razão para esta dificuldade é a falta de preparação do professor para lidar com a inclusão. O objetivo deste capítulo é sugerir a utilização dos ciclos de aprendizagem (CA) de Karplus em conjunção com os materiais tatilmente adaptados para o ensino de física a estudantes portadores de deficiência visual. Embora os exemplos que apresentamos são essencialmente dedicado à ótica geométrica, a idéia pode ser facilmente adotada para outros temas como mecânica, cinemática, matemática, etc... .

Nas últimas décadas deu-se inicio à tendência em educação especial de manter no sistema regular de ensino o maior número possível de alunos com necessidades especiais como cegos e surdos. Neste sentido, é fundamental ressaltar que uma das formas de interação do aluno cego com o mundo é através do tato. O tato é a principal fonte de informação sobre a representação mental de um objeto para aqueles sem estimulação visual. A pessoa visualmente deficiente tem que enfrentar muitos obstáculos quase insuperáveis no aprendizado em ciências, especialmente em física. Uma das principais razões é a ausência de material adaptado para uso em classes de física.

Em uma aula convencional, os estudantes são levados a assimilar prontamente tudo aquilo que o professor diz. Eles devem ser capazes de decifrar e organizar, de modo

coerente e por si mesmos, qualquer informação a eles apresentada, seja qual for a forma na qual seja apresentada.

Acredita-se que a adoção de métodos de engajamento interativo, onde os alunos participam ativamente do seu aprendizado, constitui a ação mais significativa nos métodos de ensino nos últimos anos [Tacker 2003]. Uma maneira de tornar o aluno participante ativo é o método da *aprendizagem mediada* [Halloun 2006], ou seja, através de uma intensa interação entre o aluno e o professor, ou mediador. Uma classe de *aprendizagem mediada* é a dos ciclos de aprendizagem. Muitos trabalhos têm sido dedicados à utilização dos CA [Karplus 1962]. Acredita-se que esses ciclos possam envolver os alunos na construção e implantação do modelo físico em consonância com as regras da investigação científica. Além disso, os estudantes são expostos à oportunidade de auto-avaliação e auto-regulação. Ou seja, no processo de aprendizagem, os estudantes são guiados de forma a estar sempre refletindo sobre seus conceitos e os regular de modo a desenvolver o hábito de auto-avaliação e auto-regulação de um modo esclarecedor.

Como vimos no capítulo anterior, os ciclos de aprendizagem foram sugeridos pela primeira vez por Karplus (1962) [Karplus 1962], sendo aperfeiçoados e rebatizados por Wells, Hestenes e Swackhamer (1995) [Wells 1995] como *ciclo de modelagem*. O ciclo de aprendizagem original é baseado em três fases de instrução, combinando experiência com a transmissão social e estimulando a auto-regulação, a saber: i) fase de *exploração*, ii) fase de *introdução do conceito* e iii) fase de *aplicação do conceito*. Na fase de exploração, o aluno é levado a fazer questionamentos sobre o novo assunto a ser estudado, a fim de trazer questões que ele não consiga responder com o seu conhecimento prévio. O desequilíbrio mental, isto é, a falta de acomodação do conhecimento, é uma consequência natural imediata e os alunos estão prontos para a auto-regulação. Na fase de *introdução do*

*conceito*, um novo conceito é apresentado de forma a responder às questões criadas na primeira fase. Na terceira fase, o novo conceito é aplicado e é nesta fase que ocorre a familiarização do aluno com o conceito introduzido. O aluno aplica o novo conceito e/ou padrão de raciocínio aprendido de forma criativa em situações inéditas. As instruções são minimizadas durante a fase de *exploração*, mas elas estão de volta na fase de *introdução do conceito* na forma de palestras e demonstrações. Na fase de *aplicação do conceito*, o aluno tem a oportunidade de experimentar com materiais e interagir mais intensamente com o professor [Wells 1995].

Os professores muitas vezes oferecem aos estudantes imagens mentais simplificadas para sistemas físicos sob estudo, por exemplo, uma aceleração da gravidade constante nas vizinhanças da superfície da Terra. Estas imagens são chamadas de *modelos funcionais* para o sistema. Um *modelo funcional* é uma abstração da realidade [Karplus 1962]. A mente humana não é capaz de entender toda a complexidade de todos os detalhes de um sistema real. Um modelo funcional constitui um retrato idealizado. Nenhum modelo corresponde à realidade totalmente, e não conhecemos a priori os limites de um modelo. Na verdade, os conceitos de certo e errado não se aplicam aos modelos. Podemos no máximo classificar um modelo como adequado ou não adequado. Mesmo um modelo inadequado é melhor do que nenhum modelo, e até mesmo um modelo adequado é muitas vezes substituído por um ainda mais adequado. O professor deve verificar se um determinado modelo é adequado para seu objetivo. Uma aula típica de física geralmente exige o uso de diagramas e gráficos. Mas como devemos fazer o desenho para que o aluno deficiente visual possa sentir de forma tátil? Alguns critérios devem ser seguidos: o material deverá ser obtido facilmente [Azevedo 2010], as linhas, diagramas e desenhos devem ser facilmente apagados ou removidos, e permitir a sua duplicação rápida por parte do aluno.

Embora vários dispositivos eletrônicos que auxiliam o cego a fazer atividades como leitura foram desenvolvidos por décadas, um grande número de estudantes de todo o mundo, ainda não têm acesso a este tipo de material.

## **5.2 - Adaptação Ciclo de Aprendizagem Karplus para ensinar ótica para alunos cegos**

### **I) O que é a luz? A fase de exploração.**

Depois de uma exposição sucinta sobre o assunto, os alunos são estimulados a aprender através da sua própria experiência. Algumas atividades são sugeridas pelo professor que irão ajudar aos alunos a adquirir novas experiências para atividades de extensão posteriores. Durante esta fase, os alunos recebem apenas um mínimo de tutoria e encoraja-se que o aluno explore novos conceitos por conta própria. Durante a atividade de *exploração*, o instrutor fornece incentivo, tutoriais e/ou sugestões para manter um nível adequado de desequilíbrio mental. Esta atividade proporciona a informação ao professor quanto à capacidade dos alunos em lidar com os conceitos e/ou habilidades que estão sendo introduzidos. Além disso, os alunos irão lidar as habilidades de raciocínio que possam conduzi-lo a busca da solução para um problema.

Por exemplo, para introduzir os primeiros conceitos sobre a luz, nesta primeira fase os estudantes são expostos à luz solar. O aluno sente a interação dos raios solares com a sua pele. O tato é uma das principais formas de interação do estudante cego com o mundo. Algumas questões podem ser levantadas pelo professor neste momento: o que você sente? Agora, o aluno é levado a uma sombra, e uma nova questão é levantada: Você percebe a diferença?

Alternativamente, o professor pode utilizar um laser de potência razoável (Figs. 5.1 e 5.2 ) de modo a sensibilizar a pele e pelo calor gerado o aluno possa sentir a luz.



Fig. 5.1 – Um feixe de luz laser vermelho de um ponteiro laser. O aluno cego é capaz de apontar a região sobre a sua pele onde o laser incide (foto obtida com permissão do responsável pelo aluno).

A Fig. 5.2 sugere a utilização de um laser de maior potência. Neste caso, foi utilizado um laser adaptado [Vieira 2013] de um leitor de CDs. Neste caso, é recomendável que todos que estiverem presentes no local utilizem certas precauções tais como óculos especiais para evitar quaisquer danos.

Lasers de potências moderadas e altas são potencialmente perigosos porque podem queimar a retina, ou mesmo a pele. Para controlar o risco de lesões, foram criadas normas, por exemplo, a ANSI Z136 nos Estados Unidos e a norma internacional IEC 60825, para definir as "classes" de laser em função da sua energia e comprimento de onda. Estas normas

também descrevem medidas de segurança necessárias, tais como a rotulagem lasers com avisos específicos (Fig. 5.3), e usando óculos de segurança quando estiver operando a laser lasers. O apêndice B apresenta os riscos e as classificações dos sistemas a lasers.

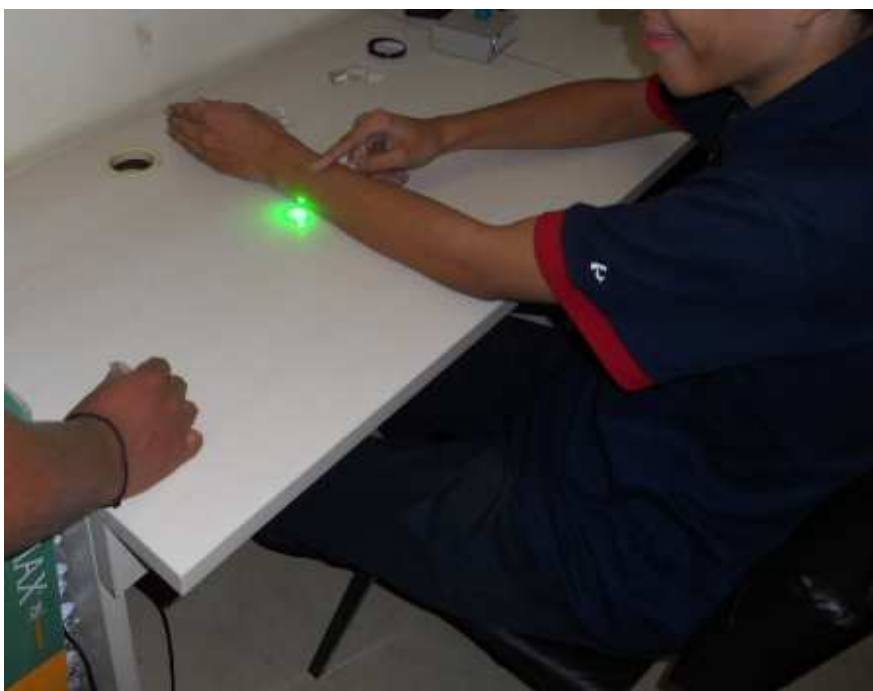


Fig. 5.2 – Um feixe de luz laser verde adaptado de um leitor de CDs [Vieira 2011]. O aluno cego é capaz de apontar a região sobre a sua pele onde o laser incide (foto obtida com permissão do responsável pelo aluno).



Fig. 5.3 – Aviso que deve ser afixado em locais de operação de lasers.



A propagação retilínea da luz pode ser facilmente explorada com o auxílio do laser. Sobre a bancada, o professor pode colocar um isopor. O aluno é capaz de identificar o ponto no qual a luz do laser sensibiliza a sua pele. Com o auxílio de um alfinete, o aluno fixa o alfinete no isopor e repetindo este processo várias vezes ele pode verificar que os alfinetes que ele fixou estão alinhados sobre uma mesma linha reta (Fig. 5.4).

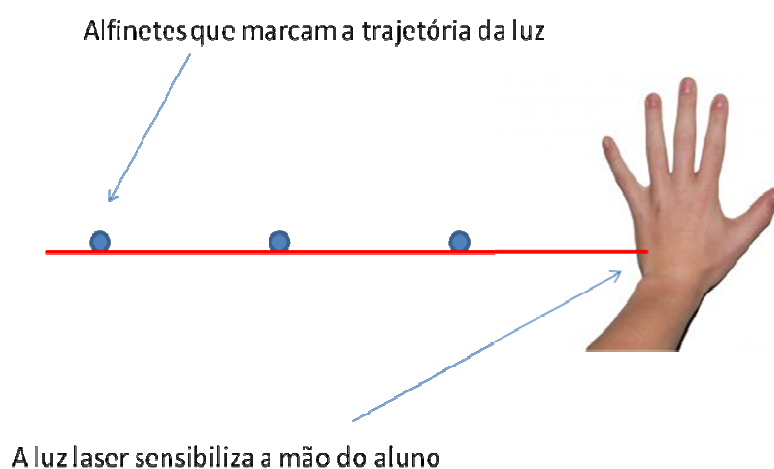


Fig. 5.4 – Com o auxílio de alfinetes que “marcam” a trajetória da luz, pode ser demonstrado o conceito de propagação retilínea da luz.

As leis da reflexão e da refração podem ser facilmente demonstradas conforme ilustram as figuras 5.5 e 5.6.

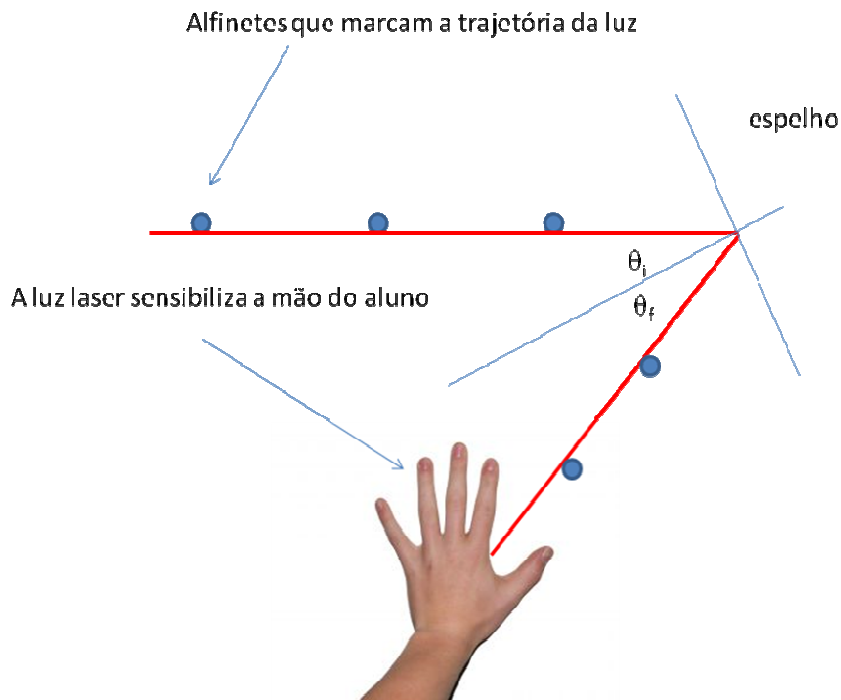


Fig. 5.5 – Ilustrando a lei da reflexão.

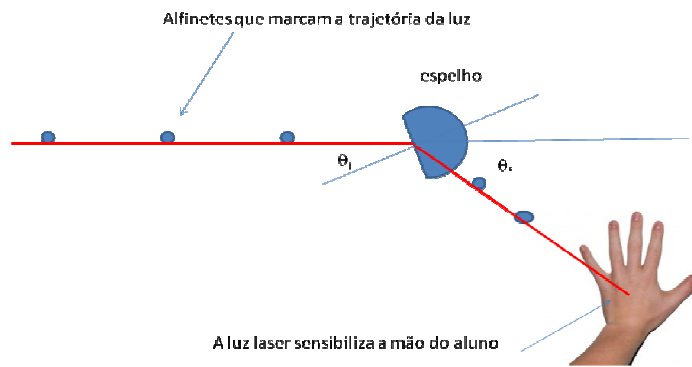


Fig. 5.6 – Ilustrando a lei da refração.

## II) O que é a luz? Desenvolvendo o conceito

Nesta segunda fase, a experiência concreta fornecida na etapa anterior é usada como a base para a introdução de um conceito. As funções do aluno e do instrutor nesta atividade podem variar, dependendo da natureza do conteúdo. Geralmente, os alunos devem ser convidados a "inventar" parte ou a totalidade da relação para si. O instrutor fornece incentivo e orientação ao aluno quando necessário. Este procedimento permite aos alunos se "auto-regularem" e, portanto, mover em direção ao equilíbrio com os conceitos apresentados. Durante a atividade de construção do modelo, os estudantes são incentivados a formular relações que generalizem suas idéias e experiências concretas. O professor atua como mediador ajudando aos alunos a formularem essas relações de modo a serem coerentes com os objetivos da instrução.

Por exemplo, o professor pode ajudar o estudante introduzindo a luz como o agente intermediário na interação à distância entre uma fonte (o sol ou o ponteiro laser) e o receptor (a pele de estudante). Aqui, a definição operacional para a luz como "a radiação detectada pelo olho humano" não faz sentido para o aluno cego. Com base na etapa anterior, sugerimos uma nova definição: *"A luz é uma forma de energia radiante que impressiona a sua pele pelo tato"*.

O aluno sente a interação da radiação com a sua pele. Sabemos ser o tato uma das principais formas de interação do estudante cego com o mundo. O tato é um dos cinco sentidos humanos, usualmente dividido em quatro sistemas: termocепção (percepção da temperatura), somatosensorial (identificação de texturas), propriocepção ou cinestesia (reconhecimento da localização espacial do corpo) e nocicepção (percepção da dor) [Robles-De-La-Torre 2006].

De fato, nenhum de nós tem acesso direto à realidade. O que fazemos é interpretar as experiências que temos com a realidade. Assim, a definição operacional para a luz é tão boa quanto a definição padrão. Como afirma Frish [Frish 1972]: “ ... Não devíamos perguntar o que a luz é realmente. Partículas e ondas são ambas construções da mente humana, feitas para nos ajudar a falar sobre o comportamento da luz em circunstâncias diferentes. Com Bohr abandonamos o conceito ingênuo de realidade, a idéia que o mundo é feito de coisas, esperando que descubremos a sua natureza. O mundo é feito por nós, pelas nossas experiências e os conceitos que criamos para ligar um ao outro”.

### **III) O modelo de raios. Extensão do conceito**

Na terceira etapa do Ciclo de Aprendizagem, ao aluno é permitida uma oportunidade para aplicar diretamente o conceito ou habilidade aprendida durante a atividade de criação do conceito. Esta atividade permite tempo adicional para a acomodação necessária por parte dos estudantes que precisam de mais tempo para o atingir o equilíbrio mental. Ele também fornece informações adicionais na forma de experiências equilibrantes para os alunos que já acomodaram os conceitos apresentados. Para iniciar a atividade de extensão do conceito, alunos e professores interagem no planejamento de uma atividade para aplicar o conceito desenvolvido e/ou habilidade, em uma situação relacionada com os objetivos instrucionais. Embora essa atividade permita aos alunos estenderem o conceito desenvolvido de forma a aplicá-lo diretamente em uma nova situação, a natureza da atividade de ampliação prevê equilíbrio ainda de novas habilidades cognitivas.

Freqüentemente, percebemos que o sistema o qual estamos estudando se comporta de forma similar a um outro sistema que já conhecemos. Este segundo sistema é chamado de modelo análogo para o primeiro sistema. O modelo analógico para um sistema físico é um outro, mais familiar, Sistema B, cujas partes e funções podem ser colocadas em uma simples correspondência com as partes e funções do sistema A. A virtude de um modelo analógico é que o sistema B é mais familiar do que o sistema A. Essa familiaridade pode ter várias vantagens: as características do modelo análogo podem chamar a atenção para características negligenciadas do sistema original. Relações no modelo análogo sugerem relações semelhantes do sistema sob estudo. Predições originais sobre o sistema alvo podem ser feitas a partir de propriedades conhecidas do modelo mais familiar análogo.

O termo modelo conceitual pode ser utilizado para se referir a modelos que são representados por conceitos ou conceitos relacionados que são formados após um processo de concepção na mente. Um modelo mental pode ser entendido como uma representação de algo na mente. Sugerimos alguns modelos de raios utilizando objetos físicos.

A representação mais simples da luz é como algo que viaja como raios em linha reta. Para os videntes, raios são fáceis de visualizar porque todos temos visto os raios de luz em áreas empoeiradas (efeito Tyndall), assim como raios de sol passando através de nuvens de chuva. No caso do aluno cego, ele pode sentir através do tato o que seja uma linha reta, uma descrição abstrata, uma linha matemática.

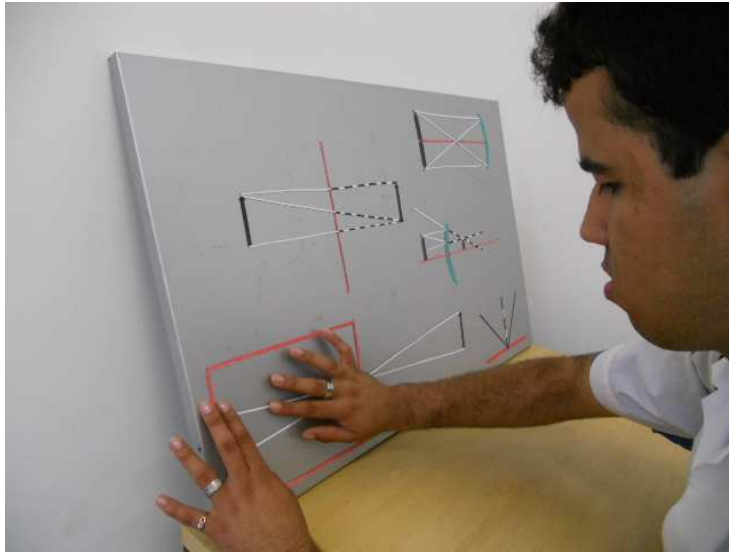


Fig. 5.7 – Aluno tateando o material didático adaptado para o ensino de ótica (foto obtida com permissão do responsável pelo aluno).

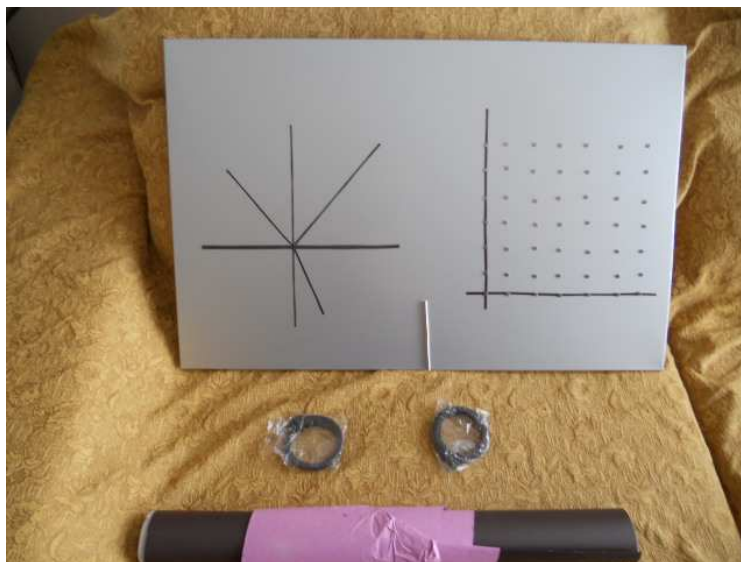


Fig. 5.8 – Material didático adaptado (quadro magnético e ímãs).

## 6. Conclusões

O foco deste trabalho é o ensino de Física para alunos deficientes visuais. É fato conhecido que uma das maiores dificuldades encontradas por um estudante de física deficiente visual está relacionada com a realização de experimentos e, no caso particular da ótica, a sua representação mental do que venha a ser a luz. Nesta dissertação tratamos, também, destes problemas. Foram estabelecidas alternativas para a prática experimental além de uma contribuição para a construção de uma representação conceitual mental acerca dos fenômenos físicos e, em particular, da luz. Os experimentos utilizam material de baixo custo e que fornecem uma percepção tátil para o aluno deficiente visual. Estes materiais utilizados, principalmente, para estudo de gráficos nas aulas de matemática e de física são uma opção, imediata, eficaz, de fácil aplicação.

Este trabalho sugere o uso da estratégia de ciclos de aprendizagem, para ensinar conceito de ótica geométrica e luz para estudantes portadores de deficiência visual. Apesar do fato de que o Ciclo de Aprendizagem oferece aos alunos a oportunidade de construir para si o conceito de um fenômeno, o professor deve ter a certeza de que o processo de aprendizagem está sendo desenvolvido corretamente, através de questionamentos, isto é, perguntas de sondagens, dicas e até cumplicidade. Tradicionalmente, o professor tem sido a “fonte de conhecimento”, tanto nas salas de aula quanto nos laboratórios. Os professores são considerados os únicos com todas as respostas e com a melhor maneira de conseguí-las para seus alunos. A mudança de papel do Professor ao utilizar o Ciclo de Aprendizagem, os torna facilitadores. Sim, os professores podem ainda ser uma fonte de conhecimento, mas isso não é voluntário. A utilização do Ciclo de Aprendizagem faz com que os professores se

tornem consultores e líderes, em vez de uma figura autoritária que os alunos devem seguir em sintonia. É difícil de suportar e assistir aos alunos descobrirem soluções, quando os professores poderiam com algumas instruções bem colocadas poupar-lhes tempo e permitir-lhes melhores resultados. Mas, porque privar os alunos do prazer de construir o seu próprio conhecimento? Quando os alunos descobrem, eles têm a propriedade e vão se lembrar sempre. Assim, após superar o choque de ter esse tipo de responsabilidade e experimentar a emoção de ter sucesso, alguns alunos passarão até a gostar de Ciências.

Foi dada ênfase à utilização de quadros magnéticos e ímãs pelos alunos portadores de deficiência visual, para que seu aprendizado em matemática e em física se torne mais proveitoso. Apesar do fato de que o Ciclo de Aprendizagem oferece aos alunos a oportunidade de construir para si o conceito de um fenômeno, o professor deve ter a certeza de que o processo de aprendizagem está sendo desenvolvido corretamente, através de questionamentos, isto é, perguntas de sondagens, dicas e até cumplicidade.

Durante as instruções pudemos verificar que o aluno deficiente visual estabelece suas relações com o aprendizado de física através de um processo contínuo de superação pessoal. Neste sentido, o aprendizado de um aluno deficiente visual não difere muito do aprendizado do aluno vidente.

Assim, a escola deve assumir o seu papel inclusivo, uma vez que a vivência em comunidades, ao mesmo tempo, que torna a visão de mundo do aluno complexa, contribui para a sua capacidade de entendimento. São fundamentais os papéis da escola e do professor devidamente treinado na construção da visão de mundo dos alunos portadores de necessidades especiais. Enquanto instituição social, a escola se incumbe de uma parte da tarefa de transmissão das formas de entendimento cultural em determinado momento



histórico. Todo tipo de conhecimento socialmente sistematizado, aquele que vai além do senso comum, fica a cargo da escola [Pietrocola 2010].

Temos que nos questionar o quanto à escola estar cumprindo corretamente o seu papel de inclusão e de transmissão de uma tradição cultural que auxilia os estudantes a adquirirem uma visão de mundo para adequar ao seu desenvolvimento pessoal e social, conforme as suas necessidades individuais. Os professores devem se questionar continuamente o quanto aquilo a que está ensinando ou vai ensinar pode contribuir com os alunos para o entendimento de mundo, pois sabemos, que os conteúdos de física ensinados no ensino médio tem, fundamental importância nesse questionamento, uma vez que a física se coloca como ciência da natureza e assim ela engloba uma grande parte do mundo que nos rodeia. [Pietrocola 2010]

E necessário que o professor leve os alunos deficientes visuais para a sala de recursos, pois é uma sala com as devidas adaptações para que as aulas possam fluir com melhor compreensão por parte desses alunos. Nessa sala trabalhei com meus alunos, em seu contra turno, baseando os estudos ligados a ciclos de aprendizagem. Assim as aulas ficariam mais concentradas no desenvolvimento intelectual do aluno.

## **Apêndice A – Utilizando material didático adaptado para deficientes visuais**

Neste apêndice apresentamos, como produto desta dissertação, estratégias, atividades e recursos instrucionais para o professor de Física utilizar em sala de aula com alunos portadores de deficiência visual. Sugerimos a utilização de material didático adaptado para alunos deficientes visuais. Procuramos utilizar material de baixo custo e de fácil obtenção. Para a obtenção de melhores resultados, sugerimos que o professor utilize os recursos sob um enfoque de construção de modelos de modo a estimular o interesse e o envolvimento ativo do aluno. Conforme os alunos vão se engajando nas atividades, eles desenvolvem habilidades de raciocínio de forma crescente, além de uma compreensão mais profunda dos conceitos e sua relevância para o seu dia-a-dia. Este material foi desenvolvido de forma a não substituir, mas de complementar quaisquer recursos que o professor possa dispor.

É indicado que o professor faça uma revisão oral da teoria e os alunos acompanhem essa revisão em suas anotações (anotações em Braille) para depois mostrar os gráficos e/ou as figuras no quadro magnético e após a leitura tátil do desenho, o aluno deverá tentar refazer o quadro, para fixar o aprendizado, naturalmente sob a supervisão do professor, essa prática apesar de ser um pouco demorada é eficaz no aprendizado.

O professor deve ter clara a idéia de que tanto os alunos deficientes visuais quanto os alunos videntes, aprendem os conteúdos através de um processo de construção mental, que muitas vezes envolve a reconstrução e da destruição de suas concepções. Neste processo, comparam-se os novos conceitos com os previamente adquiridos. Neste sentido,

o professor precisa ter a sua disposição um espectro amplo de metodologias e estratégias de ensino e avaliação. Neste trabalho adotamos estratégias desenvolvidas a partir do modelo instrucional conhecido *Ciclo de Aprendizagem (CA)*. Pesquisas têm mostrado que o CA constitui um modo efetivo de ensino/aprendizagem. Os ciclos de aprendizagem foram sugeridos pela primeira Karplus (1962) [Karplus 1962]. Várias versões dos CA foram desenvolvidas desde então. O ciclo de aprendizagem original é baseado em três fases de instrução, combinando experiência com a transmissão social e estimulando a auto-regulação, a saber: i) fase de *exploração*, ii) fase de *introdução do conceito* e iii) fase de *aplicação do conceito*. Na fase de exploração, o aluno é levado a fazer questionamentos sobre o novo assunto a ser estudado, a fim de trazer questões que ele não consiga responder com o seu conhecimento prévio. O desequilíbrio mental, ou seja, a ruptura do estado de equilíbrio do aluno, provocando uma busca no sentido de novas adaptações (atividades de assimilação e acomodação), é uma conseqüência natural imediata e os alunos estão prontos para a auto-regulação. O equilíbrio refere-se ao processo regulador interno de diferenciação e coordenação que tende sempre para uma melhor adaptação do conhecimento [Piaget 1989].

Na fase de *introdução do conceito*, um novo conceito é apresentado de forma a responder às questões criadas na primeira fase. Na terceira fase, o novo conceito é aplicado e é nesta fase que ocorre a familiarização do aluno com o conceito introduzido. O aluno aplica o novo conceito e/ou padrão de raciocínio aprendido de forma criativa em situações inéditas. As instruções são minimizadas durante a fase de *exploração*, mas elas estão de volta na fase de *introdução do conceito* na forma de palestras e demonstrações. Na fase de *aplicação do conceito*, o aluno tem a oportunidade de experimentar com materiais e interagir mais intensamente com o professor.

## **A.1- ENSINANDO FÍSICA A UM DEFICIENTE VISUAL**

Ensinar Física a um aluno portador de deficiência visual não é tarefa das mais fáceis, pois a dificuldade de compreensão, devido à falta de visualização por parte do aluno, e a grande falta de material didático formam a grande barreira desse aprendizado. O professor deverá antes de iniciar o processo de ensino-aprendizagem conversar com o aluno, com seus familiares, com professores que já trabalharam com ele para obtenção de informações mais precisas e, assim, poder traçar as estratégias necessárias para iniciar o processo de ensino-aprendizagem. Cabe também ao professor o desenvolvimento ou até mesmo a criação de material didático para que o aluno possa entender as devidas explicações sobre o assunto estudado. Sabemos que o aluno portador de deficiência visual enxerga o mundo com as mãos, isto é, utilizando o sentido do tato, assim é importante que o material didático seja desenvolvido em alto relevo.

Neste trabalho sugerimos que durante estudo de gráficos e diagramas que com certeza ocorre em Física e Matemática, o professor utilize os quadros magnéticos e ímãs, materiais que são de baixo custo e, também, de fácil aquisição. Esses quadros geralmente são de aço medindo  $80 \times 50$  cm e os ímãs podem ser em forma de tiras, com 1,0 cm de largura e espessura de 2 mm, ímãs em forma de pequenos cilindros, que fazem bem as curvas de um gráfico ou ainda mantas imantadas, onde o professor recorta a forma que desejar. Os quadros poderão ficar suspensos na parede por meio de parafusos, na altura certa para que o aluno possa utilizar as suas mãos para leitura das figuras. Essas aulas deverão ser ministradas em sala própria, denominada de sala de recursos, onde o professor

e seus alunos deficientes permanecerão sozinhos, para que a aula possa fluir sem motivos de desvio de atenção por parte dos alunos. Assim feito, a aula poderá ser iniciada.

## **A.2 Ilustrando a propagação retilínea da luz, formação de imagens em lentes e espelhos**

Objetivo: introduzir os conceitos da ótica geométrica

Material: emissor laser, isopor, alfinetes, prisma.

### **Importante!**

Algumas figuras sugerem a utilização de um laser de maior potência. Neste caso, foi utilizado um laser adaptado [Vieira 2013] de um leitor de CDs. Assim, é recomendável que o professor e demais pessoas videntes presentes no local utilizem certas precauções tais como óculos especiais para evitar que o laser danifique a visão.

Lasers de potências moderadas e altas são potencialmente perigosos porque podem queimar a retina, ou mesmo a pele. Para controlar o risco de lesões, foram criadas normas, por exemplo, a ANSI Z136 nos Estados Unidos e a norma internacional IEC 60825, para definir as "classes" de lasers em função da sua energia e comprimento de onda. Estas normas também descrevem medidas de segurança necessárias, tais como a rotulagem dos lasers com avisos específicos, além a utilização óculos de segurança quando estiver operando o laser. O apêndice B apresenta os riscos e as classificações dos sistemas a lasers.

### Primeira fase: exploração do conceito

Nesta fase o instrutor prepara o aluno para as fases seguintes. Inicialmente o instrutor informa ao aluno quais os objetivos da instrução. O instrutor introduz o tema de

forma sucinta e apresenta suas expectativas. O aluno é informado sobre os conhecimentos que deverá adquirir e as tarefas que deverá realizar nesta fase inicial. O instrutor procura despertar o interesse dos alunos por meio de demonstrações e/ou estimulando a discussão de eventos que estimulem a apresentação de opiniões diferentes. O instrutor procura através desta discussão provocar nos alunos uma desestabilização mental, no sentido piagetiano [Piaget 1989]. Isto se deve ao fato de que normalmente o aluno não consegue acomodar prontamente o novo conhecimento apresentado nesta fase às suas concepções prévias. As informações introduzidas pelo instrutor podem ir contra as concepções dos alunos gerando questionamentos. Nesta fase o instrutor fica a par das concepções dos alunos, podendo fazer uso das experiências anteriores do aluno acerca do assunto.

Depois de uma exposição sucinta sobre o assunto, os alunos são estimulados a aprender através da sua própria experiência. Algumas atividades são sugeridas pelo professor que irão ajudar aos alunos a adquirir novas experiências para atividades de extensão posteriores. Durante esta fase, os alunos recebem apenas um mínimo de tutoria e encoraja-se que o aluno explore novos conceitos por conta própria. Durante a atividade de *exploração*, o instrutor fornece incentivos, tutoriais e/ou sugestões. Esta atividade proporciona a informação ao professor quanto à capacidade dos alunos em lidar com os conceitos e/ ou habilidades que estão sendo introduzidos. Além disso, os alunos irão lidar com as habilidades de raciocínio que possam conduzi-lo à busca da solução para um problema.

Para introduzir os primeiros conceitos sobre a luz, nesta primeira fase os estudantes são expostos, por exemplo, à luz solar. Pode-se de modo alternativo, aproximar a mão do aluno de uma lâmpada, de filamento, acesa de um abat-jour, para que ele também possa sentir o calor, ou ainda, aproximar a mão do aluno da chama de uma vela. Tanto a

exposição ao Sol, quanto a aproximação da mão à lâmpada ou à chama, deverão ocorrer dentro de um pequeno intervalo de tempo, para evitar acidentes.

O aluno sente a interação da radiação com a sua pele. Algumas questões podem ser levantadas pelo professor neste momento: o que você sente? Agora, o aluno é levado a uma sombra, e uma nova questão é levantada: você percebe a diferença?

O professor pode ainda utilizar um laser de potência razoável (Figs. A.1 a A.7 ) de modo a sensibilizar a pele e pelo calor gerado o aluno possa sentir a luz. A propagação retilínea da luz pode ser facilmente explorada com o auxílio do laser. Sobre a bancada, o professor pode colocar um isopor. O aluno é capaz de identificar o ponto no qual a luz do laser sensibiliza a sua pele. Com o auxílio de um alfinete, o aluno fixa o alfinete no isopor e repetindo este processo várias vezes ele pode verificar que os alfinetes que ele fixou estão alinhados sobre uma mesma linha reta (Fig. A.6).



Fig. A.1 - O aluno exposto a um raio laser de intensidade controlada, para que ele possa sentir a incidência.



Fig. A.2 – Idem à Fig. A.1.



Figura A.3 - O aluno aponta a incidência da luz laser em seu braço, mostrando que ele sente a incidência.





Figura A.4 - O aluno aponta a incidência em seu braço após refração luminosa provocada por um prisma ótico.



Fig. A.5 – O aluno sente a incidência do laser por reflexão em um pequeno espelho plano colocado verticalmente na parede.



Fig. A.6 - O aluno ainda sentindo a incidência após reflexão da luz na superfície de um espelho plano.

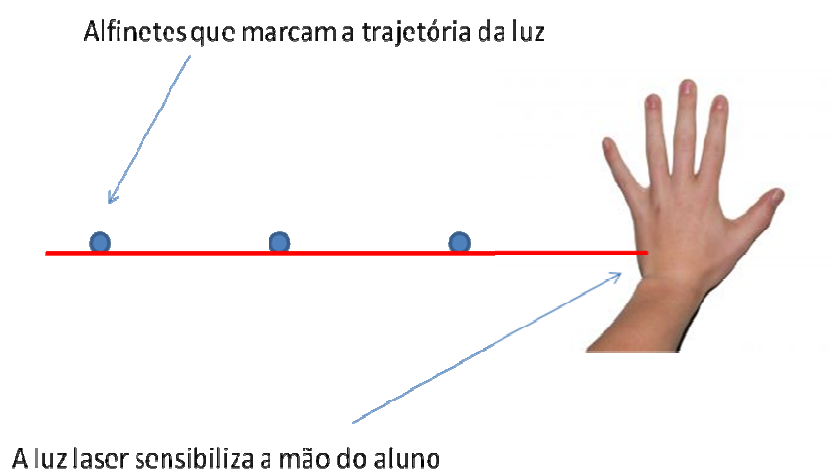


Fig. A.7 – Com o auxílio de alfinetes que “marcam” a trajetória da luz, pode ser demonstrado o conceito de propagação retilínea da luz.

As leis da reflexão e refração podem ser facilmente demonstradas conforme ilustram as figuras A.8 e A.9.

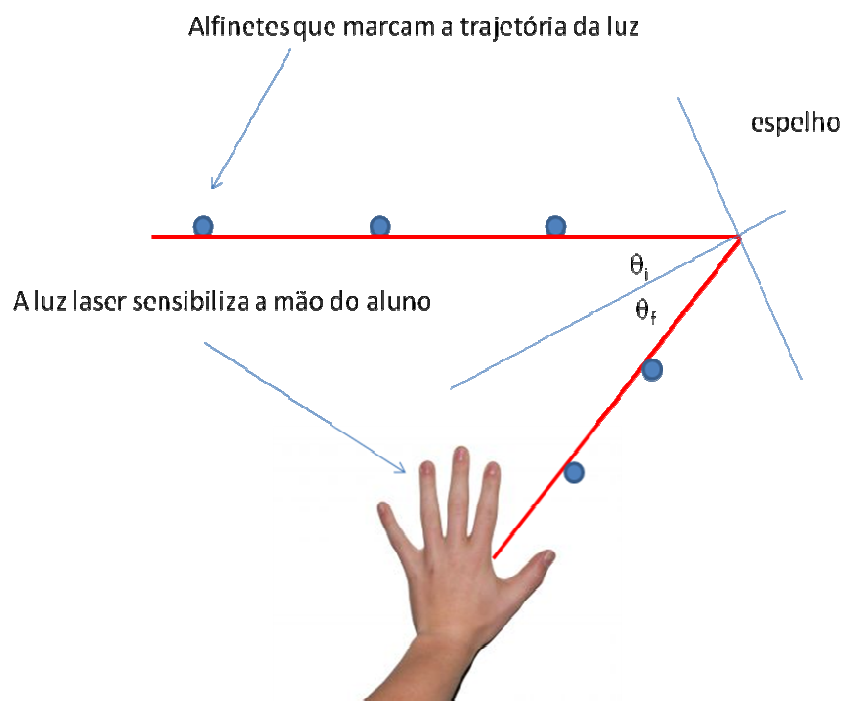


Fig. A. 8 – Ilustrando a lei da reflexão.

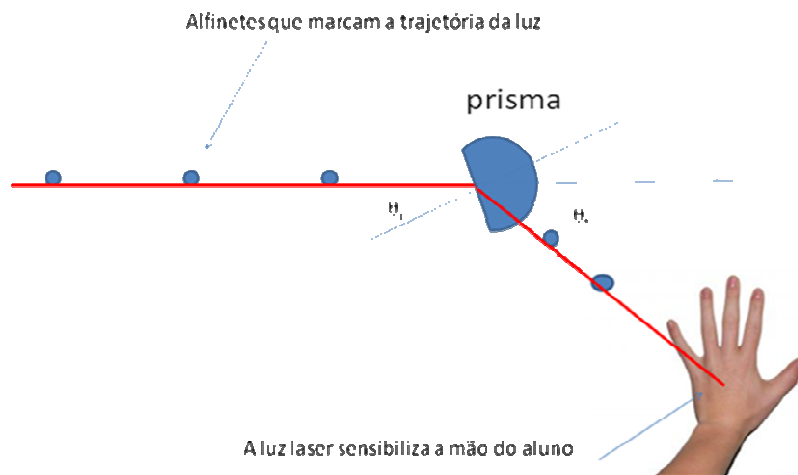


Fig. A. 9 – Ilustrando a lei da refração.

### Segunda fase: introdução ao conceito

Nesta segunda fase, a experiência concreta fornecida na etapa anterior é usada como a base para a introdução de um conceito. As funções do aluno e do instrutor nesta atividade podem variar, dependendo da natureza do conteúdo. Geralmente, os alunos são convidados a "inventar" parte ou a totalidade da relação para si. Nesta fase o instrutor poderá introduzir técnicas simples para interpretação e análise dos dados coletados na fase anterior. As informações são então discutidas, podendo o instrutor introduzir os conceitos associados aos eventos estudados na fase anterior. O instrutor estimula os alunos a articularem seus pensamentos e a apresentar suas conclusões. Aqui, o instrutor introduz os conceitos, novo vocabulário e definições, permitindo ao aluno a assimilar e organizar mentalmente o novo conhecimento, reestabelecendo o equilíbrio perdido.

O instrutor fornece incentivo e orientação ao aluno quando necessário. Este procedimento permite aos alunos se "auto-regularem" e, portanto, mover em direção ao equilíbrio com os conceitos apresentados. Durante a atividade de construção do modelo, os

estudantes são incentivados a formular relações que generalieam suas idéias e experiências concretas. O professor atua como mediador ajudando aos alunos a formularem essas relações de modo a serem coerentes com os objetivos da instrução.

Por exemplo, o professor pode ajudar o estudante introduzindo a luz como o agente intermediário na interação à distância entre uma fonte (o sol ou o ponteiro laser) e o receptor (a pele de estudante). Aqui, a definição operacional para a luz como "a radiação detectada pelo olho humano" não faz sentido para o aluno cego. Com base na etapa anterior, sugerimos uma nova definição: "*A luz é uma energia radiante que impressiona a sua pele pelo tato*". A seguir, apresentamos um texto introdutório que pode ser utilizado pelo professor na fase de introdução ao conceito.

#### **A propagação retilínea da luz (texto para uma exposição inicial sobre o tema).**

O conceito de raio luminoso é de importância fundamental no estudo da ótica geométrica. Um raio é uma linha traçada no espaço com a direção de propagação do fluxo de energia radiante, ou seja, sua representação indica de onde a luz foi criada (*fonte*) e para onde ela se dirige. Um raio de luz representa a trajetória da luz no espaço. Este conceito foi introduzido por pelo físico e matemático árabe Alhazen (965-1040) (Fig. A.9.).



Fig. A.9 – O físico e matemático árabe Alhazen (965-1040).

O conceito de raio luminoso estabelece mais um recurso matemático que um conceito físico. Um conjunto de raios de luz que se propaga pelo espaço constitui um feixe ou um pincel de luz. Podemos produzir feixes de luz muito finos utilizando um laser, por exemplo, o professor pode ilustrar este raciocínio utilizando um laser com potência suficiente para sensibilizar a pele do aluno cego. Assim, podemos conceber os raios luminosos como o limite para o qual tende um feixe de luz quando se diminui o seu diâmetro. Em meios homogêneos e isotrópicos, a luz se propaga em linha reta. Para ilustrar tal conceito, o professor pode utilizar o quadro magnético e ímãs em forma de tiras flexíveis, conforme ilustrado na Fig. A.10.



Figura A.10: Quadro magnético com linhas retas paralelas feitas de ímãs em forma de tiras, para o estudo da propagação retilínea da luz ou estudo da linha reta em Matemática.

### Reflexão e refração

O que acontece quando a luz encontra uma superfície refletora diferente daquele no qual estava se propagando? A experiência mostra que o raio incidente dá origem a um raio refletido que volta para o meio original, forma com a normal à superfície um ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência, desde que a reflexão seja vítrea. A normal é uma linha imaginária perpendicular ao plano da superfície refletora. A lei da reflexão é ilustrada na figura A.11 com linhas feitas com tiras de ímã que representam os raios de luz. A lei da reflexão já era conhecida na Grécia antiga.

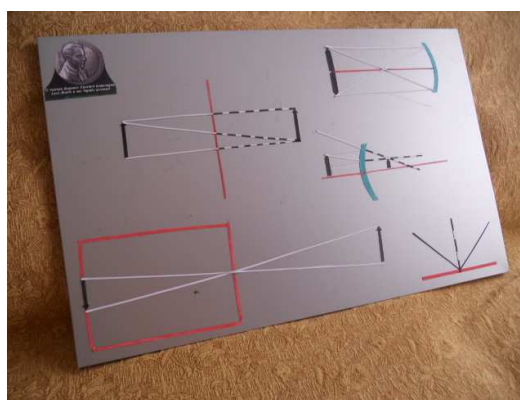


Figura A.11: Quadro magnético com figuras de estudo de óptica geométrica cortadas em mantas imantadas.

Quando a luz passa de um meio para outro, cujos índices de refração são diferentes, chamamos este processo de *refração*. A não ser que a luz incida perpendicularmente sobre a superfície de separação entre os dois meios ela será desviada. Para fazer o aluno deficiente visual compreender melhor o desvio da luz na refração, o professor pode fornecer ao aluno um par de rodas retirado, por exemplo, de um carrinho de brinquedo. Se ambas as rodas podem girar livremente, o carrinho descreverá uma trajetória em linha reta. Ao impedir o movimento de uma das rodas do carrinho, o mesmo será desviado de sua trajetória retilínea. Ao impedir, por exemplo, o movimento da roda da esquerda, o aluno poderá notar através do tato que a roda da direita manterá uma velocidade de rotação maior. Como consequência, a roda da direita gira em torno da roda da esquerda, percorrendo uma distância maior. A forma moderna da *lei da refração* foi formulada por Snell em 1621 e mais tarde por Descartes em 1637. A lei da refração diz que o raio refratado também permanece no plano de incidência. A lei de Snell-Descartes pode ser escrita como

$$n_1 \text{sen}\theta_1 = n_2 \text{sen}\theta_2$$

O aluno deverá ter sido apresentado à função seno previamente. O professor de física pode fazer uma revisão da função seno também utilizando o quadro com imãs.

### Terceira fase: aplicação do conceito

Na terceira etapa do Ciclo de Aprendizagem, ao aluno é permitida uma oportunidade para aplicar diretamente o conceito ou habilidade aprendida durante a atividade de criação do conceito. Esta atividade permite tempo adicional para a acomodação necessária por parte dos estudantes que precisam de mais tempo para atingir o



equilíbrio mental. Ele também fornece informações adicionais na forma de experiências equilibrantes para os alunos já acomodados os conceitos apresentados. Para iniciar a atividade de extensão do conceito, alunos e professores interagem no planejamento de uma atividade para aplicar o conceito desenvolvido e/ou habilidade, em uma situação relacionada com os objetivos instrucionais. Embora essa atividade permita aos alunos estenderem o conceito desenvolvido de forma a aplicá-lo diretamente em uma nova situação, a natureza da atividade de ampliação prevê equilíbrio ainda de novas habilidades cognitivas.

Nesta fase o instrutor facilitará o reforço e aprofundamento dos conceitos desenvolvidos, possibilitando ao aluno aplicar seus novos conhecimentos em situações do cotidiano. A aplicação dos novos conhecimentos na resolução de problemas leva o aluno a participar ativamente no processo ensino-aprendizagem. A resolução de problemas reais é, portanto, uma estratégia muito efetiva.

Freqüentemente, percebemos que o sistema o qual estamos estudando se comporta de forma similar a um outro sistema que já conhecemos. Este segundo sistema é chamado de modelo análogo para o primeiro sistema. O modelo análogo para um sistema físico é um outro, mais familiar, Sistema B, cujas partes e funções podem ser colocados em uma simples correspondência com as partes e funções do sistema A. A virtude de um modelo análogo é que o sistema B é mais familiar do que o sistema de A. Essa familiaridade pode ter várias vantagens: as características do modelo análogo podem chamar a atenção para características negligenciadas do sistema original. Relações no modelo análogo sugerem relações semelhantes nas do sistema sob estudo. Predições originais sobre o sistema alvo podem ser feitas a partir de propriedades conhecidas do modelo mais familiar análogo.

Um modelo é um objeto substituto, uma representação conceitual de uma coisa real. Os modelos são utilizados para nos ajudar a conhecer e compreender o assunto que eles representam. O termo modelo conceitual pode ser utilizado para se referir a modelos que são representados por conceitos ou conceitos relacionados que são formados após um processo de concepção na mente. Um modelo mental pode ser entendido como uma representação de algo na mente. Sugerimos alguns modelos de raios utilizando objetos físicos.

A representação mais simples da luz é como algo que viaja como raios em linha reta. Para os videntes, raios são fáceis de visualizar porque todos temos visto os raios de luz em áreas empoeiradas (efeito Tyndall), assim como raios de sol passando através de nuvens de chuva. No caso do aluno cego, ele pode sentir através do tato o que seja uma linha reta, uma descrição abstrata, uma linha matemática.



Figura A.11: aluno portador de deficiência visual estudando óptica geométrica no quadro magnético na fase de aplicação do conceito.

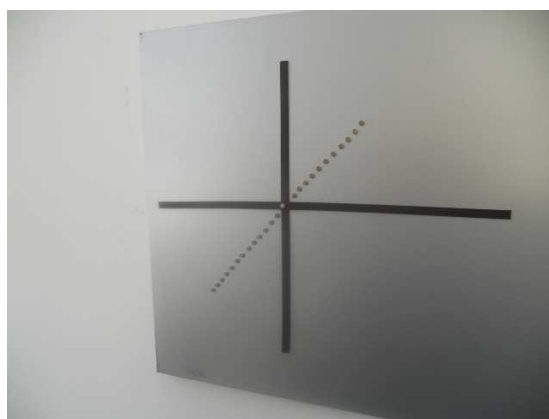


Figura A.12: Quadro magnético com desenho feito com duas formas de ímãs, os eixos do gráfico foram feitos com ímã em forma de tiras e a reta com ímãs em forma de pequenos cilindros.

Em resumo, este trabalho vem sugerir o uso da estratégia de ciclos de aprendizagem, para ensinar conceito de ótica geométrica e luz para estudantes portadores de deficiência visual. Apesar do fato de que o Ciclo de Aprendizagem oferece aos alunos a oportunidade de construir para si o conceito de um fenômeno, o professor deve ter a certeza de que o processo de aprendizagem está sendo desenvolvido corretamente, através de questionamentos, isto é, perguntas de sondagens, dicas e até cumplicidade.

## **Apêndice B – Precauções com a utilização de lasers**

Neste apêndice apresentamos algumas informações para os professores que utilizam lasers em suas aulas.

Existem normas que descrevem procedimentos para o uso seguro de lasers de modo a minimizar o risco de acidentes, especialmente acidentes envolvendo lesões oculares. Uma vez que mesmo quantidades relativamente pequenas de luz laser podem ocasionar lesões permanentes nos olhos. A venda e o uso de lasers está ou deveriam estar sujeitas a regulamentos governamentais.

Lasers de potências moderadas e altas são potencialmente perigosos porque podem queimar a retina, ou mesmo a pele. Para controlar o risco de lesão, foram criadas algumas normas por exemplo, ANSI Z136 [ANSI 136] nos Estados Unidos e a norma internacional IEC 60825 [IEC 2007] que definem as "classes" de lasers em função da sua potência e comprimento de onda. Estes regulamentos também descrevem medidas de segurança necessárias, tais como a rotulagem lasers com avisos específicos (Fig. B.1) , e usando óculos de segurança (Fig. B.2) quando estiver operando os aparelhos lasers. Nos Estados Unidos a norma ANSI Z136.5 descreve a utilização segura de lasers em estabelecimentos de ensino.

A pele é geralmente muito menos sensível à luz laser do que o olho, mas a exposição excessiva à luz ultravioleta a partir de qualquer fonte (laser ou não-laser) pode causar a curto e longo prazo efeitos semelhantes a queimaduras solares, enquanto comprimentos de onda visível e infravermelho são principalmente prejudiciais devido aos danos térmicos.



Fig. B.1 – Aviso que deve ser afixado em locais de operação de lasers.



Fig. B.2 - Óculos de proteção para operação de lasers.

A radiação laser provoca lesões predominantemente através de efeitos térmicos. Mesmo lasers de potências moderadas podem causar danos aos olhos. Lasers de alta potência também podem queimar a pele. Alguns lasers são tão poderosos que até mesmo a reflexão difusa sobre superfície podem ser perigosos para os olhos.

Características como coerência, pequeno ângulo de divergência da luz laser, além do mecanismo de focagem no olho, implicam que a luz do laser pode ser concentrada em um ponto extremamente pequeno sobre a retina. Um aumento da temperatura de apenas 10 °C pode destruir células fotorreceptoras da retina. Se o laser é suficientemente poderoso, um dano permanente pode ocorrer dentro de uma fração de segundos, mais rápido que um piscar de olhos. Radiação laser para comprimentos de onda no infravermelho próximo (400-1400 nm) penetra no globo ocular podendo causar aquecimento da retina, enquanto que a exposição à radiação laser com comprimento de onda inferior a 400 nm e superior a 1400 nm são em grande parte absorvido pela córnea, levando ao desenvolvimento de cataratas ou queimaduras.

Lasers infravermelhos são especialmente perigosos, uma vez que a característica protetora do olho de piscar por reflexo ("blink reflex") é desencadeada apenas pela luz visível. Pessoas expostas a lasers de alta potência emitindo radiação invisível, podem não sentir dor ou perceber danos imediatos à sua visão. Um pequeno ruído emanando do globo

ocular pode ser a única indicação de que ocorreram danos na retina, ou seja, a retina foi aquecida a mais de 100° C resultando em ebulição explosiva localizada e acompanhada pela criação imediata de um ponto permanente cego.

Os lasers podem causar danos nos tecidos biológicos, tanto para o olho e para a pele, devido a vários mecanismos. Danos térmicos ou queimaduras ocorrem quando os tecidos são aquecidos até o ponto onde a desnaturação das proteínas ocorre. Outro mecanismo é o dano fotoquímico, onde a luz provoca reações químicas no tecido. A lesão fotoquímica ocorre principalmente com luz de comprimento de onda curto a azul e a ultravioleta e podem ser acumulados ao longo de horas. Pulsos de lasers mais curtos do que cerca de 1 ms podem causar um aumento rápido da temperatura, resultando em ebulição explosiva de água. A onda de choque da explosão pode posteriormente causar danos relativamente longe do ponto de impacto. Pulsos ultracurtos podem também exibir auto-focagem nas partes transparentes do olho, levando a um aumento do potencial de danos em comparação com pulsos mais longos com a mesma energia.

O olho focaliza a luz visível e infravermelho próxima, sobre a retina. Um feixe de laser pode ser focalizado com uma intensidade sobre a retina que pode ser de até 200.000 vezes mais elevada do que no ponto em que o feixe de laser entra no olho. A maior parte da luz é absorvida por pigmentos de melanina no epitélio pigmentar, situados atrás dos fotorreceptores, provocando queimaduras na retina. A luz ultravioleta com comprimentos de onda mais curtos do que 400 nm tende a ser absorvida na córnea, onde pode produzir lesões, mesmo com potências relativamente baixas, devido aos danos fotoquímicos. A luz infravermelha causa principalmente danos térmicos à retina em comprimentos de onda do infravermelho próximo e nas partes frontais do olho em comprimentos de onda mais longos. A tabela abaixo resume as diversas condições médicas causadas por lasers em

diferentes comprimentos de onda, não incluindo as lesões por lasers pulsados. A Tabela B.I ilustra alguns dos danos causados pela luz laser.

<b>Comprimento de onda</b>	<b>Efeito patológico</b>
180–315 nm (UVB, UVC)	Inflamação da córnea, equivalente a queimadura por luz solar
315–400 nm (UV-A)	Catarata
400–780 nm (visível)	Danos fotoquímicos da retina (queima da retina)
780–1400 nm (infravermelho próximo)	Catarata, queima da retina
1.4–3.0 $\mu\text{m}$ (infravermelho)	Catarata, queima da retina
3.0 $\mu\text{m}$ –1 mm	Queimadura da córnea

A Tabela B.I- Alguns dos danos causados pela luz laser.

Os níveis de risco associados a cada classe de lasers estão listados abaixo:

Lasers de classe 1: Estes lasers não emitem níveis prejudiciais de radiação e são, portanto, isentos de medidas de controle. Por uma questão segurança, a exposição desnecessária à luz de lasers de classe 1 deve ser evitada. Lasers de classe 1 são os encontrados em alguns produtos eletrônicos com por exemplo impressoras a lasers e leitores de CD.

Lasers de classe 2: Estes lasers emitem luz laser acessível na região do visível e são capazes de provocar danos aos olhos através de exposição crônica. Em geral, o olho

humano piscará dentro 0,25 segundo quando exposto a luz laser de Classe 2. Este reflexo de pestanejo proporciona proteção adequada. Lasers de classe 2 têm níveis de potência inferior a 1 mW e são comumente encontrados em aplicações de alinhamento.

Os lasers de classe 2a são lasers para fins especiais não destinados para visualização. A sua potência de saída é inferior a 1 mW. Esta classe de lasers causa prejuízo apenas quando visto diretamente por mais de mil segundos. O que importa é a taxa acumulada, ou seja, os mil segundos podem ser distribuídos ao longo do dia. Muitos leitores de código de barras se enquadram nesta categoria.

Lasers classe 3a: Estes sistemas normalmente não são perigosos quando vistos momentaneamente a olho nu, mas eles apresentam riscos graves nos olhos quando vistos através de instrumentos óticos (por exemplo, microscópios e binóculos). Lasers de classe 3a têm níveis de energia de 1-5 mW.

Lasers classe 3b: Estes lasers causam ferimentos quando visualizados diretamente ou por reflexão especular. A potência de saída dos lasers classe 3b é 5-500 mW cw ou inferior a 10 J/cm<sup>2</sup> para um sistema pulsado de 1/4-s. Medidas de controle específicas devem ser implementadas.

Lasers classe 4: esta classe inclui todos os lasers com níveis de potência maior que 500 mW ou maior do que 10 J/cm<sup>2</sup> para um sistema pulsado de 1/4-s. Eles apresentam riscos para os olhos, pele, perigos e riscos de incêndio. Olhar diretamente para o feixe ou pelo feixe refletido especularmente, ou ainda pela exposição a reflexões difusas pode causar lesão nos olhos e na pele. Todas as medidas de controle devem ser implementadas.

Alguns lasers são incorporados em produtos eletrônicos. Por exemplo, impressora a laser, leitores de CD, são produtos laser Classe 1, mas eles contêm lasers de classes 3 ou 4.



Algumas orientações devem ser seguidas: Todos os participantes, alunos ou instrutores devem estar cientes dos riscos. Os experimentos devem ser realizados sobre uma mesa horizontal com todos os feixes de laser se propagando horizontalmente e nunca ultrapassando os limites da mesa. Os usuários nunca devem colocar os olhos na altura do laser para evitar feixes refletidos que eventualmente ultrapassem os limites da mesa. Relógios e outros ornamentos que podem refletir o laser não devem ser permitidos no laboratório. Todos os objetos situados sobre a mesa devem ter um acabamento de tal modo a impedir as reflexões especulares. Proteção ocular adequada deve ser sempre exigida para todos na sala, pois existe um risco significativo para uma lesão ocular. O alinhamento dos componentes óticos deve ser realizado com uma potência de feixe reduzida sempre que possível. Os óculos devem ser selecionados para o tipo específico de laser, para bloquear ou atenuar na faixa de comprimento de onda apropriado. Por exemplo, óculos de absorção de 532 nm têm tipicamente uma aparência de laranja, transmitindo comprimentos de onda maiores do que 550 nm. Estes óculos seriam inúteis como proteção para um emissor de laser de 800 nm. Além disso, alguns lasers podem emitir mais do que um comprimento de onda, e este pode ser um problema particular com alguns lasers mais baratos, tais como os ponteiros laser verdes de 532 nm que são usualmente bombeados por diodos de laser de infravermelhos (808 nm), e também gerar um feixe de laser de comprimento de onda de 1064 nm, que é usado para produzir a saída final de 532 nm. Se a radiação infravermelha é emitida, o que acontece em alguns ponteiros de laser verde, ela não irá ser bloqueada por óculos de proteção vermelhos ou laranjas que são projetados para absorver a luz verde. Os óculos são classificados através da densidade ótica (DO), ou seja, o logaritmo de base 10 do fator de atenuação, através da qual o filtro ótico reduz a potência do feixe. Por exemplo, óculos com  $DO=3$  irão reduzir a potência do feixe na faixa de comprimento de onda

especificado por um fator de  $10^3$ . As especificações de protecção (comprimentos de onda e as densidades óticas) são normalmente impressas nos óculos, geralmente perto do topo da unidade.

Há vários videos disponíveis na Internet mostrando passo-a-passo como construir um laser caseiro a partir de um leitor DVD. Nunca é demais repetir que todos os presentes devem sempre utilizar óculos de protecção.

## Referências

[ANSI 136] ANSI 136.5 (American National Standards Institute ) American National Standard for the safe use of lasers. Laser Institute of America, Orlando FL

[Azevedo 2010] A. C. Azevedo, *Construção Gráfica para Alunos Cegos: Física na Escola*, V. 11, nº1, 2010.

[Batista 2005] C.G. Batista, *Formação de Conceitos em Crianças Cegas: Questões Teóricas e Implicações Educacionais*. Psicologia: Teoria e Pesquisa, jan-abr 2005, vol. 21 n. 1, pp. 007-015.

[Baughman 1977] J. Baughman Jr., J; D. Zollman, *Physics lab for blind*. The Physics Teacher, v. 15, n. 6, p. 339-342, 1977

[Camargo 2000] E.P. de Camargo, *Um estudo das concepções alternativas de repouso e movimento de pessoas cegas*. Bauru. 2000. 219p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista.

[Camargo 2003] E. P. de Camargo, L.V.A Scalvi, *O ensino de Física e os portadores de deficiência visual: aspectos observacionais não-visuais de questões ligadas ao repouso e ao movimento dos objetos*. In: Nardi, Roberto. **Educação em Ciências da pesquisa à prática docente**. São Paulo: Escrituras, 2003, pp. 117-133.

[Camargo 2005] E.P. de Camargo, *O Ensino de Física no Contexto da Deficiência Visual: Elaboração e Condução de Atividades de Ensino de Física para Alunos Cegos e com Baixa Visão*: Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas SP, 2009.

[Camargo 2005] E.P. de Camargo, *Ensino de Ciências, Parâmetros Curriculares Nacionais e Necessidades Educacionais Especiais: Discussão, reflexão e diretrizes*. In: **Atas do V Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**, n.5. Bauru, São Paulo, 2005.

[Camargo 2007] E.P. de Camargo.; R. Nardi, *Rua Planejamento de atividades de ensino de Física para alunos com deficiência visual: dificuldades e alternativas*. Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias, v.6, n.2, p.378-401, 2007.

[Camargo 2008] E.P. de Camargo, R. Nardi, P.R.P. Maciel Filho e D.R.V. de Almeida, *Como Ensinar Óptica para Alunos Cegos e com Baixa Visão?*, Física na Escola, V.9, nº1, 2008.

[Camargo 2011] E.P. de Camargo, *Ensino de Óptica para Alunos Cegos – Possibilidades*, Editora CRV, São Paulo, 2011.

[Chaves 2012] Chaves, E. O – Gera a Escola Expectativas que Ela não pode Cumprir? – Retirado da Internet no site [www.serprofessoruniversitario.pro.br](http://www.serprofessoruniversitario.pro.br), em 12 de fevereiro de 2012.

[Clement 1989] Clement, J. (1989). *Learning via Model Construction and Criticism*. In: G.Glover, R. Ronning & C. Reynolds (Eds.), **Handbook of Creativity, Assessment, Theory and Research**. New York, NY: Plenum.

[Costa 2006] L. G. Costa, M. C. D. Neves, D. A. C. Barone, *Ciência E Educação*, **12**,143 (2006).

[Diderot 2006] DIDEROT, Denis. *Carta aos cegos escrita por aqueles que vêem*. São Paulo, editora Escala 2006.

[Dubois 1996] Dubois. C, Moura. M. G. H, Santos. W. J, Garcia. E.V, Carvalho. M, Gabrielli. M. M, Oliveira. A. L. M, Kobal. K e Costa. M. J – *Do Outro Lado do Quadro Negro* – 1996.

[Ferreira, 1975] A. B. H. (1975). *Novo dicionário Aurélio*. Rio de Janeiro:Nova Fronteira.

[Frish 1972] O. R. Frish, *The Nature of Matter*, London, Thames and Hudson (1972).

[Halloun 2006] Ibrahim A. Halloun, *Modeling Theory in Science Education*, Springer, AA Dordrecht, The Neatherlands, (2006).

[Henderson 1965] D. R. Henderson, *Laboratory Methods in Physics for the Blind*, (Master Dissertation) University of Pittsburg, Pennsylvania, (1965).

[Hestenes 1997] Hestenes, D. (1997). Modeling methodology for physics teachers. In: E. F. Redish & J. S. Rigden (Eds), *The Changing Role of Physics Departments in Modern Universities. Proceedings of ICUPE*, 935-957. College Park, MD: American Institute of Physics.

[IEC 2007] IEC 60825 - Safety of Laser Products Package (International Electrotechnical Comission), 2007.

[IBRAHIM 2006] IBRAHIM A. HALLOUN, *MODELING THEORY IN SCIENCE EDUCATION*, Springer, AA Dordrecht, The Netherlands, (2006).

[Lima 2010] N.A.C.Lima, A.C.B. Araújo e B. Moraes, *Problemas Fundamentais da Defectologia: Aproximações Preliminares à Luz do Legado de Vygotsky*: Revista Eletrônica Armas da Crítica, Ano 2, Número Especial, 2010.

[Karplus 1962] Karplus, R. (1962). Science Teaching and the Development of Reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 14 (2), 169-175.

[Karplus 1977] Karplus, R (1977). *Science Teaching and the Development of Reasoning*. *Journal of Research in Science Teaching*, 14 (2), 169 – 175.

[Moreira 1996] M.A. Moreira, *Investigações em Ensino de Ciências* – V1(3), pp.193-232, 1996

[Morgano 2011] Fabiane Frota da Rocha Morgado e Maria Elisa Caputo Ferreira, *Rev. Bras. Ed. Esp.*, Marília, v.17, p. 21, (2011).

[Oliveira 2002] F.I.W. de Oliveira, V.A. Biz e M.Freire, *Processo de Inclusão de Alunos Deficientes Visuais na Rede Regular de Ensino: Confeção e Utilização de Recursos Didáticos adaptados*: Núcleo de Ensino/PROGRAD – Faculdade de Filosofia e Ciências – UNESP – Campus Marília, 2002.

[Orrico 2007] ORRICO, H.; CANEJO, E.; FOGLI, B. Uma reflexão sobre o cotidiano escolar de alunos com deficiência visual em classes regulares. In: GLAT, R. (Org.). *Educação Inclusiva: cultura e cotidiano escolar*. Rio de Janeiro: Editora Sete Letras, 2007.

[Pacheco 2007] PACHECO, J. et al. *Caminhos para a inclusão: um guia para o aprimoramento da equipe escolar*. Porto Alegre: Artmed, 2007.

[Paulo Freire] PEDAGOGIA DA AUTONOMIA, 1999, pg.77 apud Luciana Ferreira dos Santos 2005, *Leitura de Mundo e Multiculturalismo na Escola sobre a Ótica Freireana*, V Colóquio Internacional Paulo Freire – Recife, 19 a 22 de setembro de 2005.

[Parry 1977] M. Parry, M. Brazier, E. Fishbach, *The Physics Teachers*, 35, 470 (1977).

[Piaget 1989] J. Piaget, B. Inhelder, **A psicologia da criança**. 10. ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1989. 135 p.

[Pietrocola 1999] M. Pietrocola, *Construção e realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos*. *Investigações Científicas*, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 4, (1999).

[Pietrocola 2010] M. Pietrocola, A. Pogibin, R. Andrade, T. R. Romero. Coleção Física em Contextos Pessoal, Social e Histórico. Caderno de Orientações para o Professor pág 4, Editora FTD, São Paulo (2010).

[Robles-De-La-Torre 2006] Robles-De-La-Torre G., **The Importance of the Sense of Touch in Virtual and Real Environments**. IEEE Multimedia 13(3), Special issue on Haptic User Interfaces for Multimedia Systems, p. 24-30, 2006.

[dos Santos 2001] L. T. dos Santos, O Olhar do Toque: Apendendo Com o Aluno Cego a Tecer o Ensino de Física, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, (2001).

[Santos 2009] M.C.Santos, F.F da Silva e M.C. Barbosa-Lima, Concepções de Calor e Temperatura de Alunos Cegos: VII Encontro Nacional de Pesquisadores em Educação em Ciências, 2009.

[Souza 2008] M.C. Souza, M.P.R. da Costa e N. Studart, *Tecnologia para o Ensino de Eletrodinâmica para o Aluno Cego: Física na Escola*, V. 9, nº 2, 2008.

[Thacker 2003] B. A. Thacker, Rep. Prog. Phys. 66 (2003) 1833-1864.

[Vieira 2013] L. P. Vieira, Dissertação de Mestrado, Instituto de Física UFRJ, em andamento.

[Vygotsky 1993] Source: XMCA Research Paper Archive; First Published: Collected Works of L S Vygotsky. Volume 2, The Fundamentals of Defectology, Plenum Press 1993; Transcribed: by Andy Blunden.

[Vygotsky 2005 apud Perovan, Dalton Gean] *A Influência do Meio Social na Formação de Conceitos sobre Drogas* – IX Congresso Nacional de Educação – EDUCERE – III Encontro Sul Brasileiro de Psicopedagogia – 26 a 29 de outubro de 2009 – PUCPR – PUC Paraná.

[Wells 1995] Wells, M, Hestenes, D. Swackhamer, G (1995). *A Modelling Method for High School Physics Instruction*. American Journal of Physics, 64 (7), 606 – 619.

[White 1993] White, B.Y. (1993). *ThinkerTools: Causal Models, Conceptual Change, and Science Education*. Cognition and Instruction, 10 (1), 1-100.