

Utilizando material didático adaptado para deficientes visuais

Alexandre César Azevedo

Julho de 2012

Mestrado Profissional em Ensino de Física

Instituto de Física - UFRJ

Utilizando material didático adaptado para deficientes visuais

Este trabalho é o produto da Dissertação de Alexandre César Azevedo apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física do Instituto de Física da UFRJ.

São apresentadas 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 a 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 vez por Karplus em 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 consequência 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.

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 80×50 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 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 do olho, 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 a 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. Isto deve-se 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 às 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 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. 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?

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 – Na parte superior o aluno ainda mostra uma incidência, só com o raio laser vermelho. Na parte inferior, o aluno já sente a incidência 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.

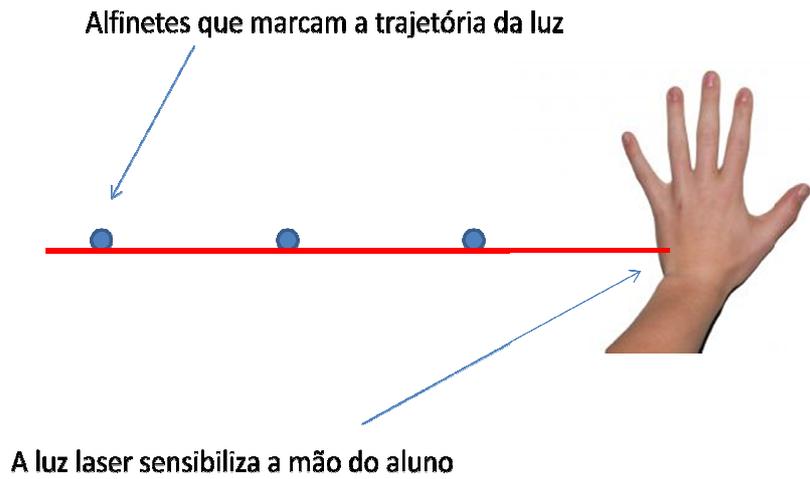


Fig. A.7 – Com o auxílio de alfinetes que “marcam” a trajetória da luz, pode-se demonstrar o conceito de propagação retilínea da luz.

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

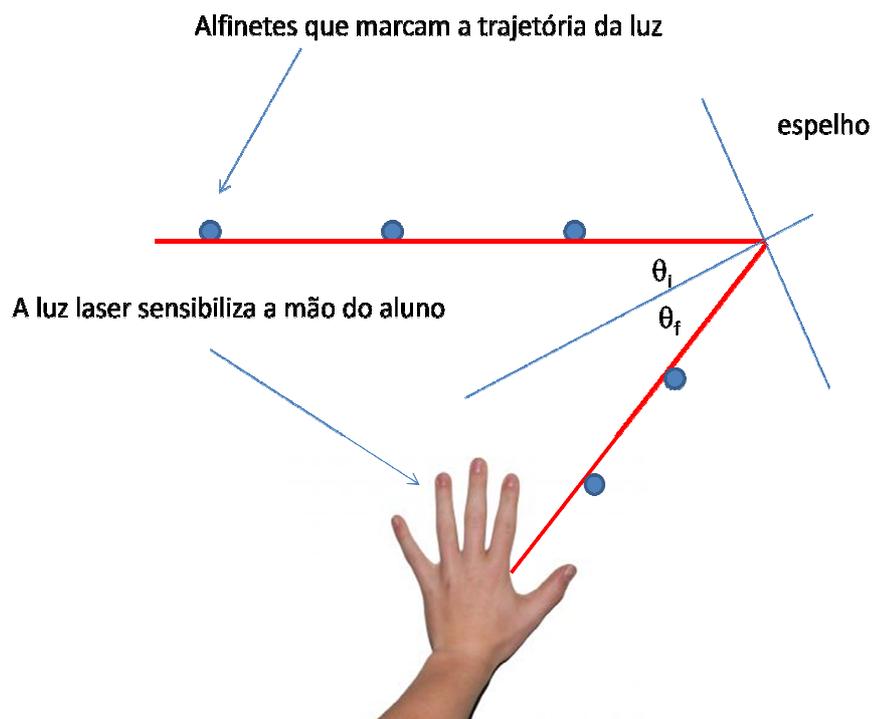


Fig. A. 8 – Ilustrando a lei da reflexão.

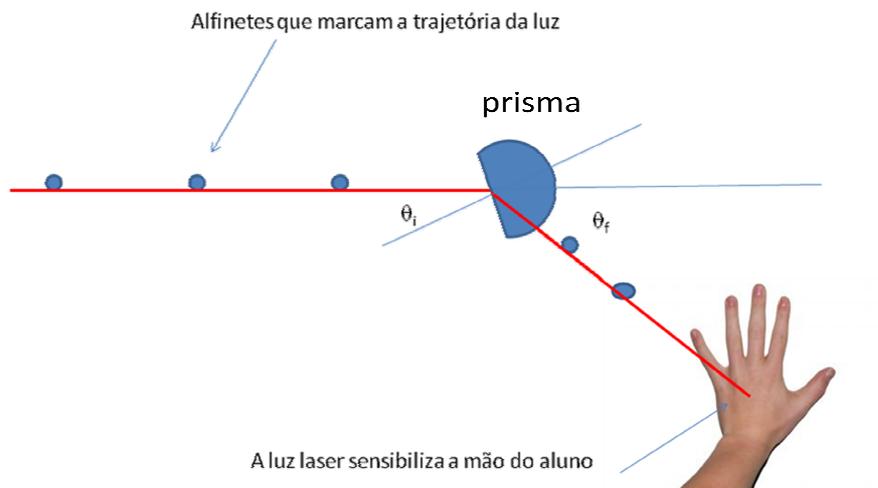


Fig. A. 9 – Ilustrando a lei da refração.

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 um meio 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 e forma com a normal à superfície um ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência, ou seja, o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência. 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 imã que representam os raios de luz. A lei da reflexão já era conhecida na Grécia antiga.

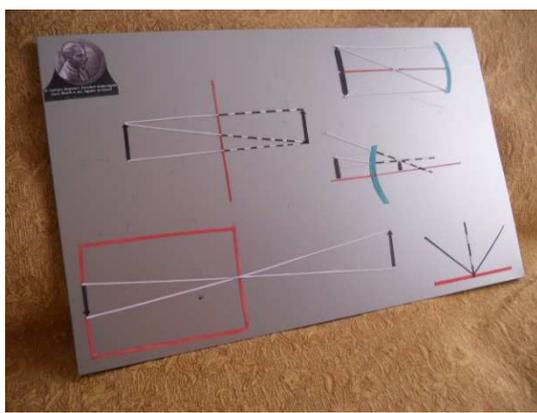


Figura A.11: Quadro magnético com figuras de estudo de óptica geométrica, cortadas em mantas imantadas.

Quando a luz passa de um meio para outro, 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 o 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 diretamenteem 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 a aplicar seus novos conhecimentos a situações

do cotidiano. A aplicação dos novos conhecimentos na resolução de problemas leva ao aluno a participar ativamente no processo ensino-aprendizagem. A resolução de problemas reais é, portanto, uma estratégia muito efetiva.

Frequentemente 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 analógico é que o sistema B é mais familiar do que o sistema de A. Essa familiaridade pode ter várias vantagens: as características do modelo analógico podem chamar a atenção para características negligenciados 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 conceptual 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.

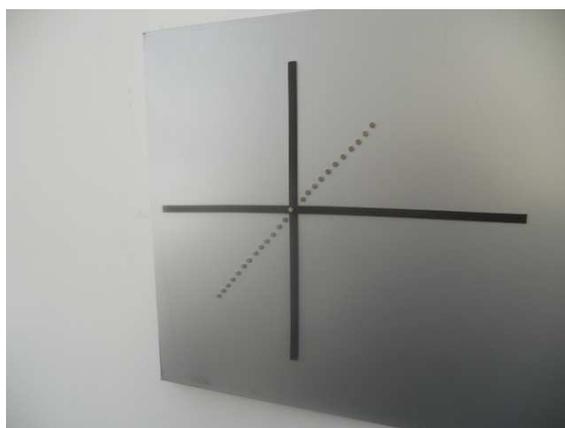


Figura A.12: Quadro magnético com desenho feito com duas formas de ímãs, os eixos do gráfico foram feitos com ímã em forma de tiras e a reta com ímãs em forma de pequenos cilindros.

Em resumo, este trabalho vem sugerir o uso da estratégia de ciclos de aprendizagem, para ensinar conceito de óptica 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 – Precauções com a utilização de lasers

Neste apêndice apresentamos algumas informações para os professores que utilizem 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 deveria estar sujeitos a regulamentos governamentais.

Lasers de potências moderadas e altas são potencialmente perigosos porque podem queimar a retina do olho, ou mesmo a pele. Para controlar o risco de lesão, foram criadas algumas normas por exemplo, ANSI Z136 nos Estados Unidos e a norma internacional IEC 60825 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 segundo, 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 a radiação laser com comprimento de

onda inferior a 400 nm e superior a 1400 nm são em grande parte absorvidos 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 ocorreu 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 (azul) e ultra-violeta 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 próximo 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 elevadas 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.

Comprimento de onda	Efeito patológico
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 μm (infravermelho)	Catarata, queima da retina
3.0 μm –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 lasers 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/cm² para um sistema pulsado de 1/4-s. Medidas de controle específicas devem ser implementadas.

Lasers classe 4: estes sistemas incluem todos os lasers com níveis de potência maior do que 500 mW ou maior do que 10 J/cm² 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 olho e lesões da pele. Todas as medidas de controle deve 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 óptica (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 proteção (comprimentos de onda e as densidades ópticas) são normalmente impressas nos óculos, geralmente perto do topo da unidade.

Há vários vídeos 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 proteção.