



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física



Uma Abordagem Didática Sobre Propagação de Luz em Meios Complexos e Desordenados em Situações Cotidianas

Taísa de Oliveira Vieira

&

Felipe Arruda de Araújo Pinheiro e Carlos Eduardo Aguiar

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Taísa de Oliveira Vieira, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2020

Sumário

Uma Abordagem Didática Sobre Propagação de Luz em Meios Complexos e Desordenados em Situações Cotidianas	1
Fenômenos Ópticos.....	3
Cores do Céu.....	3
Cores da Neve.....	5
Espuma Branca	7
Ecuridão no Fundo do Mar.....	7
Areia Molhada.....	8
Garrafas Partidas.....	10
Pilha de Placas Paralelas e Transparentes	11
Lei de Lambert-Beer	13
Experimentos.....	14
Atividade 1: Explorando a Lei de Lambert-Beer.....	14
Atividade 2: Introdução aos Conceitos de Espalhamento e Absorção da luz.....	17
Atividade 2.1: Espalhamento de Luz por Cacos de Vidro Colorido.....	17
Atividade 2.2: Processos de Extinção da Luz	18
Atividade 3: Propagação de Luz em Lâminas Transparentes e em Meios Ópticos Homogêneos e Heterogêneos	20
Atividade 3.1: Lâminas Transparentes	20
Atividade 3.2: Brilho em Meios Porosos	23

Uma Abordagem Didática Sobre Propagação de Luz em Meios Complexos e Desordenados em Situações Cotidianas

A Óptica representa um grande campo de estudo da Física com grande variedade de aplicações no cotidiano. O significado da palavra sugere obter informações sobre o comportamento da luz com a matéria e seus efeitos. Porém, o ensino de óptica no ensino médio está tipicamente limitada ao estudo da óptica geométrica. Essa afirmação é facilmente comprovada quando consultamos os livros didáticos de Física para o Ensino Médio. Os conteúdos encontrados nos mesmos não contemplam assuntos como extinção, absorção e espalhamento múltiplo da luz. A explicação de vários fenômenos presentes no nosso cotidiano como o céu azul, a cor branca da neve, açúcar, sal, espumas, a escuridão no fundo do mar, tom azulado do gelo, areia molhada mais escura que areia seca, dentre outros, tipicamente não é abordada em salas de aula do ensino médio.

Diante deste cenário, o presente trabalho pretende explorar ramos da Óptica com pouca visibilidade na sala de aula proporcionando aos docentes um conjunto de experimentos de baixo custo a fim de investigar vários efeitos luminosos interessantes e envolvendo os estudantes de forma ativa e participativa. O avanço científico e tecnológico tem proporcionado acesso a uma variedade de ferramentas que podem contribuir para a produção de aulas práticas enriquecendo o processo de ensino-aprendizagem. O *smartphone* é um excelente instrumento para fins educacionais, porque possui uma variedade de sensores acessíveis à maioria dos discentes. Ao considerar a viabilidade dos usos de *smartphones* e *tablets* em sala de aula, Vieira (2013, p. 10) destaca que:

A diversidade de sensores encontrados em *smartphones* e *tablets* torna possível realizar um grande número de experimentos e observações sem a utilização de sistemas externos de aquisição de dados. Mais ainda, a extrema portabilidade dos aparelhos facilita a montagem de experimentos em salas de aulas regulares, dispensando em muitos casos o deslocamento dos alunos a um laboratório (que pode nem existir na escola).

Seguem as descrições dos fenômenos luminosos investigados, as propostas experimentais que foram elaboradas e a combinação e análise desses experimentos para a discussão dos conceitos físicos presentes na propagação da luz em meios complexos. As práticas abordadas aqui não seguem uma sequência didática e, portanto, são independentes e podem ser aplicadas como o professor desejar.

Os experimentos expostos nessa seção têm como foco a discussão pedagógica, ou seja, não nos preocuparemos com a descrição do aparato experimental; esse detalhamento está presente no capítulo 5 do livro *Fundamentals of Atmospheric Radiation*, de Bohren e Clothiaux (2006) e em *Clouds in a Glass of Beer—Simple Experiments in Atmospheric Physics*, de Bohren (2001).

Fenômenos Ópticos

Cores do Céu

O céu pode ser considerado uma grande tela de pintura em constante mudança, ora é muito azul, cinza, vermelho-alaranjado, com nuvens, sem nuvens, com a presença do Sol e também da Lua e as estrelas. Mesmo sendo tão comum a observação no cotidiano, muitas e muitas vezes somos fascinados pelas composições de cores e de formas diante dos nossos olhos. Essas observações nos instigam a querer compreender a causa dessas colorações.

Todas essas variações de cor e brilho observadas no céu ocorrem devido à presença de moléculas e partículas na atmosfera. A interação desses corpúsculos atmosféricos com a luz visível transmitida pelo Sol produz efeitos de espalhamento e absorção da luz. Isto é, determinados comprimentos de onda, quando incidem sobre as partículas são mais espalhados ou absorvidos que outros comprimentos de onda, e esse efeito é responsável pelo domínio de determinada cor. A remoção da energia do feixe incidente pode ocorrer tanto por absorção, resultando na dissipação da energia quanto por espalhamento em direções diferentes da direção inicial. A combinação dos processos de absorção e espalhamento de luz resulta no que chamamos de extinção da luz. Para simplificação da discussão, iremos considerar nesta seção que a extinção é dominada pelo espalhamento, ou seja, o processo de absorção não será considerado nesta discussão. No capítulo 3, analisamos a conexão entre o comprimento de onda e o tamanho do espalhador. Vimos que os comprimentos de onda correspondentes a luz violeta e azul são mais espalhados do que o vermelho, porque as partículas que participam do processo de espalhamento possuem dimensões pequenas quando comparados aos comprimentos de onda da luz visível, o que caracteriza o espalhamento de Rayleigh, (Krapas e Santos

2002). A combinação desse fator somado à sensibilidade do olho humano (mais sensível ao azul do que ao violeta) geram a percepção do azul do céu que é visto na maior parte do dia. O fato de termos no nascer e pôr do Sol tom avermelhado é explicado pelo caminho óptico percorrido por cada frequência da luz visível. Sabe-se que o vermelho é o menos espalhado e, portanto, o mais transmitido. Logo, pra uma espessura atmosférica grande o vermelho será o mais transmitido enquanto que as outras frequências são extintas. Tanto no amanhecer quanto no entardecer, a luz se propaga por uma distância maior na atmosfera do que nos outros instantes do dia e, por essa razão, o céu se apresenta vermelho nesses horários.

Sempre que imaginamos o céu ensolarado também vem à mente a presença de grandes nuvens brancas. A presença das nuvens no nosso dia a dia é tão evidente que esse elemento é objeto de estudo logo nas séries iniciais dos discentes e, no decorrer do ensino básico, o estudante será exposto a explicações sobre o processo de formação das nuvens mais de uma vez. Portanto, esse conhecimento é garantido para qualquer estudante. O que não é discutido é a questão da coloração da nuvem, o motivo de ser branca, ou a explicação para o tom cinza em dias frios.

O branco da nuvem é na maioria das vezes explicado como sendo o fruto do múltiplo espalhamento que a luz visível sofre ao atravessar um aglomerado de partículas que compõe a estrutura da nuvem. Mas espalhar todos os comprimentos de onda igualmente não é suficiente para a formação do branco. Se essa teoria fosse suficiente para explicar o branco o copo de leite seria azul, pois as partículas de leite espalham mais azul do que os outros comprimentos de onda, contudo isso não é verificado. Portanto, existem outros conceitos envolvidos nesse processo da formação do branco, a saber, o fato da nuvem ser opticamente espessa e fracamente absorvente. Por opticamente espesso, entende-se um meio com pequeno livre caminho médio em relação ao tamanho do sistema (ver seção 3.3.3). E fracamente absorvente está relacionado com a pequena dissipação no meio. Então, a formação de branco que vemos nas nuvens, no açúcar, no sal, no trigo, no leite, na neve e em outros elementos está relacionado com a combinação dos fatores citados acima. Um livre caminho

médio pequeno e pouca absorção para a luz produz múltiplos espalhamentos e a formação da cor branca.

A mudança do branco para o cinza na coloração das nuvens em dias frios ou chuvosos também é pouco discutida na área de ensino, e por isso iremos tratá-lo aqui. Nesse contexto, podemos pensar que a extinção que provoca o escurecimento das nuvens está relacionada com a absorção, isto é, o meio óptico mudou e estão presentes uma quantidade relevante de partículas absorventes e por isso ocorre essa diminuição da intensidade de espalhamentos para formar o cinza. Porém, essa afirmação é desmentida quando observamos as nuvens por cima numa viagem de avião. As nuvens são brancas e brilhantes, diferentes da visão do solo. A conclusão imediata é que ocorreu uma mudança na direção do espalhamento e pouca luz é transmitida para quem encontra-se no solo. Esse desfecho possui explicação no conceito de espalhamento direcional (ver seção 3.3), pois essa grandeza define se o espalhamento ocorrerá em todas as direções ou concentrada em uma direção. No frio ou chuva, as partículas que formam as nuvens são maiores do que em dias ensolarados. Um espalhador pequeno, produz o efeito de interferência construtiva das ondas emitidas pelos dipolos justamente pela proximidade das cargas e o resultado é um espalhamento em todas as direções. À medida que o tamanho do espalhador aumenta, os multipolos eletromagnéticos de ordem superior passam a contribuir para o espalhamento, possibilitando o fenômeno de interferência construtiva ou destrutiva numa determinada direção, de modo que o espalhamento é preferencialmente direcionado para frente.

Cores da Neve

Sabemos que a neve em geral apresenta coloração branca e o processo que causa essa cor é semelhante ao das nuvens estudado na seção anterior. Contudo, é possível observar um tom azulado em algumas estruturas de gelo encontradas na natureza, como por exemplo, as cachoeiras congeladas e glaciares, figura 1.



Figura 1: Cachoeiras congeladas. Minnehaha Falls, Estados Unidos.

A explicação para essa manifestação óptica está relacionada com a espessura do meio, um meio óptico composto por pouco espalhamento e muita absorção. O tom azulado aparece nas camadas finas de gelo, isso porque o espalhamento depende da distância entre as moléculas. O gelo com tonalidade azul é composto de bolhas de ar e por consequência ocorre um aumento no espaçamento entre os espalhadores, isto é, o livre caminho médio percorrido pelo fóton é maior e, portanto, a quantidade de luz espalhada será menor. Além disso, a probabilidade de um fóton ser absorvido quando incide uma única vez numa bolha aumenta quando o tamanho dos espalhadores aumenta e o gelo possui absorção mínima para o comprimento de onda da luz azul e é mais absorvente para a luz vermelha. O tom azulado de uma cachoeira de neve é devido à composição do meio óptico, pouco espalhamento e alta absorção, principalmente para o vermelho.

Durante esse processo os comprimentos de onda maiores (vermelho), são mais facilmente absorvidos e o espalhamento é mais relevante para os comprimentos de ondas curtos (azul). Desse modo, a luz azul será mais transmitida numa camada fina de gelo do que as outras faixas do visível, resultando o tom azulado de muitas estruturas de gelo.

Esse fenômeno muitas vezes é explicado usando como base teórica o conceito do espalhamento de Rayleigh, porém esses fundamentos são erroneamente aplicáveis. Sabe-se que o comprimento de onda correspondente

ao azul é o mais espalhado na atmosfera e o menos transmitido, percorrendo uma distância atmosférica pequena a cor azul sobressai. Para uma distância grande o vermelho se sobressai, pois é o mais transmitido e o menos espalhado.. Mas, essa ideia não é observada na neve, pois quando os fótons se deslocam por uma camada fina de neve, como o gelo espumante, o azul é evidente. Contudo, quando se transita um caminho maior, como numa caverna de gelo, o azul continua sendo mais espalhado e não o vermelho como esperado pela lei de Rayleigh.

Espuma Branca

Nessa parte do capítulo, iremos expor a explicação para a cor branca da espuma, muito comum de vermos na água da praia, em produtos de limpeza e em certas bebidas como cerveja e refrigerante.

A espuma é caracterizada por um meio formado por bolhas finas de líquido ao redor do ar. A bolha tem a mesma capacidade de espalhar os fótons que uma gota feita do mesmo material líquido e com o mesmo tamanho, a diferença é que a capacidade de absorção da bolha é muito menor em comparação com a gota. Dessa forma, o meio óptico encontrado na espuma é favorável à formação da coloração branca, pois o espalhamento é muito maior que a absorção.

Escuridão no Fundo do Mar

Muitas pessoas já tiveram a oportunidade de mergulhar alguns metros de profundidade dentro do mar, e puderam constatar um conhecimento comum, que é menor luminosidade a certas profundidades, mesmo num dia muito ensolarado com abundância de luz na superfície. O principal motivo para a extinção da luz neste caso é o predomínio do mecanismo de absorção relativamente ao espalhamento e, por consequência, os fótons incidentes são rapidamente

absorvidos, diminuindo exponencialmente a intensidade da luz com o aumento da profundidade, Lei de Lambert.

Areia Molhada

Nessa seção, discutiremos uma manifestação óptica muito interessante e que com certeza já foi contemplada por muitos. A diferença de brilho da areia seca para a areia molhada. Ninguém tem dúvida em dizer que a areia molhada é mais escura que a areia seca, mas decerto poucas pessoas foram esclarecidas sobre as razões desse efeito.

Já sabemos que, dependendo do tamanho do espalhador, o fóton pode ser preferencialmente espalhado numa direção específica. Partículas com tamanho reduzido em confronto ao comprimento de onda da luz incidente espalham em todas as direções (ângulo médio de espalhamento 90°) e espalhadores maiores que o comprimento de onda da luz incidente tendem a espalhar numa direção preferencial (ângulo médio de espalhamento menor que 90°).

A figura 2 ajuda a entender a importância do ângulo que o raio de luz incidente faz com o raio de luz espalhado. Na imagem da esquerda, o ângulo formado entre os raios é de 90° , e o caminho produzido por essa abertura é muito simples, e a luz rapidamente emerge. Na ilustração da direita, o ângulo entre os raios é menor que 90° e podemos verificar que a trajetória que os raios percorrem até emergir é muito maior.

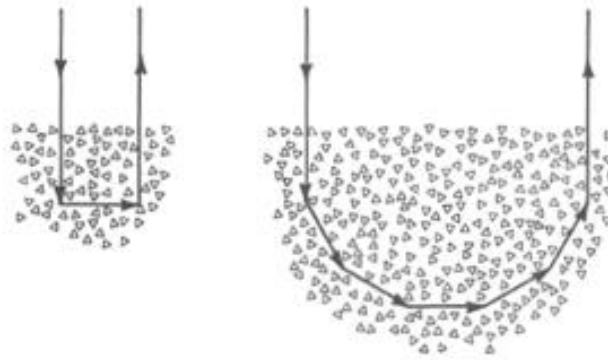


Figura 2: Dois possíveis caminhos que a luz pode seguir ao atravessar um meio óptico. Ilustração da esquerda, ângulo entre o raio incidente e o disperso é de 90° e na direita é menor que 90° . Essa diferença é relevante porque produz percursos distintos. A escolha do caminho é meramente ilustrativa, existem outras possibilidades. **Fonte:** Bohren (2001).

Como resultado desses caminhos ópticos distintos, é mais fácil a luz ser absorvida na segunda configuração do que na primeira, pois há mais colisões com centros espalhadores, intensificando as chances de absorção do fóton. Esse fator é uma propriedade importante para a definição do brilho de um corpo. Para uma quantidade significativa de eventos de espalhamento, um fóton fica mais suscetível a absorção. Como decorrência deste efeito a areia tem menor brilho. Para o contrário, o efeito é de maior brilho.

Além da influência do tamanho dos espalhadores e/ou absorvedores, outro aspecto que precisa ser considerado é o meio óptico circundante, no caso da areia seca, o ar, e da areia úmida, a água. Quando o fluido circundante possui um índice de refração muito próximo dos índices de refração das partículas de areia o espalhamento da luz dentro do sistema é menor, porque o meio está mais homogêneo desviando pouco o raio luminoso, ou seja, o caminho óptico para a luz emergir é muito maior. Por isso, a areia molhada é mais escura. Essa homogeneização do meio gera um espalhamento preferencialmente na direção frontal, diminuindo ainda mais o brilho das partículas. Por este motivo, temos que quanto maior for a diferença entre os índices de refração do meio circundante e os índices de refração do espalhador, maior será o brilho do corpo.

Observação: Além da areia esse fenômeno pode ser observado em outros meios porosos, como cortiça, madeira, cimentos, cerâmicas e etc.

Garrafas Partidas

A figura 3 mostra pedaços de vidro com tamanhos diferentes. Os pedaços maiores são verdes escuros e os bem pequenos são verdes claros. Essa distinção de cores está diretamente relacionada com o tamanho do grão de vidro. À medida que a dimensão diminui a área de seção transversal de absorção também diminui, atenuando a capacidade de absorção dos grãos, pois a absorvidade da molécula está relacionada com o tamanho. O espalhamento por cada partícula também decai, porém o decaimento da absorção é mais rápido do que o espalhamento, resultando numa coloração cada vez mais clara.



Figura 3: pedaços de vidro

Pilha de Placas Paralelas e Transparentes

Um resultado muito instigante, é notado quando empilhamos uma quantidade de placas transparentes. A intensidade de brilho é muito maior num conjunto de lâminas do que quando se tem apenas uma, figura 4.

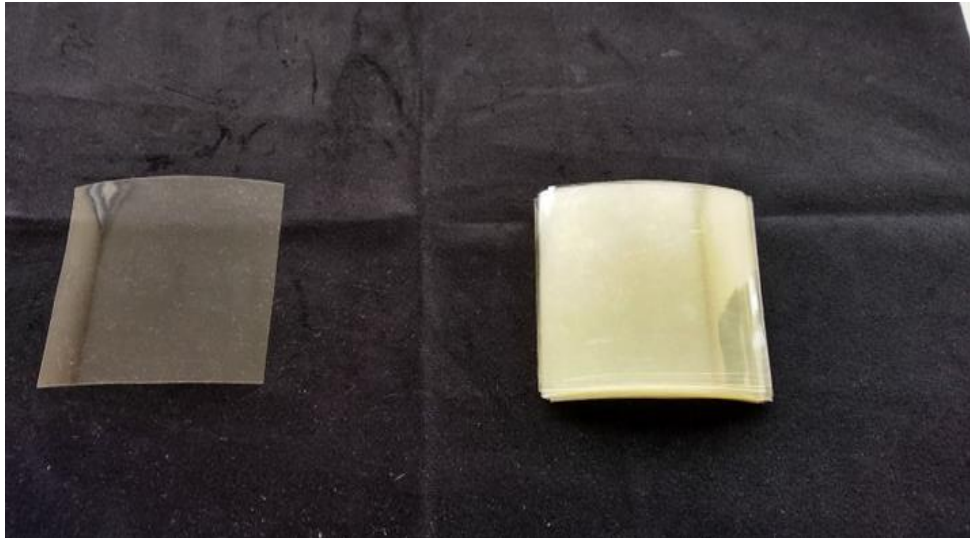


Figura 4: brilho de uma lâmina transparente versus brilho de 50 lâminas transparentes.

À medida que placas são adicionadas o conjunto torna-se cada vez mais brilhante, até alcançar um ponto em que a junção de outra transparência não fornece uma expansão significativa no brilho. Outra informação relevante é a individualidade dos materiais transparentes usados, uma vez que, cada um terá um poder de reflexão e absorção específicos. E essas qualidades são responsáveis por definir a espessura óptica da pilha, ou seja, um número pequeno de transparências, mas com refletividade alta apresenta comportamento semelhante a um número grande de transparências, mas de material de baixa refletividade.

Quando a luz incide sobre uma placa, esquema da esquerda da figura 5, parte da luz é refletida e outra parte é transmitida. A estrutura da direita da figura mostra o raio incidente, refletido e transmitido em duas placas. Nota-se que onda transmitida pela primeira placa é a incidente da segunda e, portanto, parte dessa onda será transmitida para o meio e outra será refletida. O raio refletido na

segunda placa atingirá a primeira placa e novamente parte dele será transmitido e outra parte refletido. Logo, é natural concluir que a primeira placa sempre refletirá uma quantidade de luz maior que as placas inferiores, porque cada lâmina inferior emitirá uma porção de luz que será transmitida ao início. Também é preciso levar em consideração a porção de energia que será absorvida durante o processo, de modo que os raios serão menos intensos a cada camada. À medida que o número de placas aumenta, a refletividade continua aumentando, até atingir um ponto de diminuir a luz espalhada, neste ponto, a adição de outra transparência não produz um aumento considerável da luz transmitida.

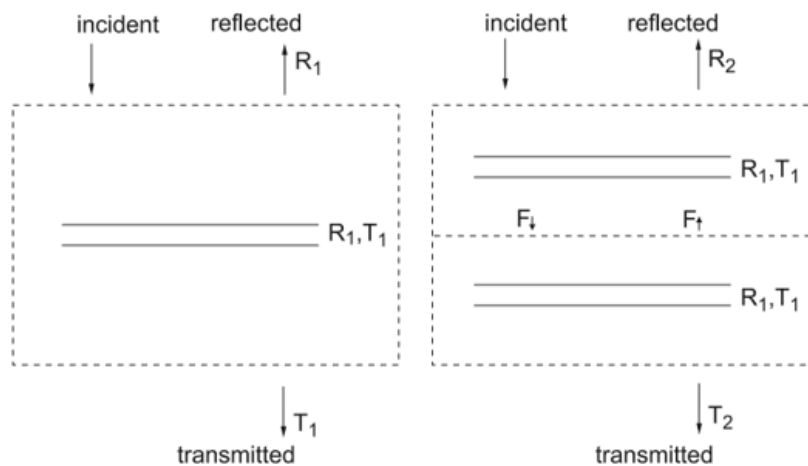


Figura 5: Esquema da esquerda representa uma placa uniforme infinita (em extensão lateral) com reflexividade R_1 e transmissividade T_1 . Segue que para duas dessas placas paralelas (esquema da direita), suficientemente distantes (relativas ao comprimento de onda da iluminação incidente) sua refletividade R_2 e sua transmissividade T_2 são consequências das irradiâncias descendentes e ascendentes (F_{\downarrow} e F_{\uparrow}) entre elas. **Fonte:** Bohren e Clothiaux (2006).

Lei de Lambert-Beer

Lei de Lambert

À medida que a luz atravessa um meio óptico sua intensidade luminosa diminuiu exponencialmente enquanto a espessura do meio óptico aumenta. Esse enunciado descreve a observação feita por Lambert (1870) sobre a transmissão de luz ao atravessar um meio. Esta lei é matematicamente expressa como, (vide derivação na seção 3.2.1)

$$I = I_0 e^{-\alpha l}, \quad (1)$$

onde I representa a intensidade da luz transmitida, I_0 a luz incidente, α o coeficiente de extinção e l o comprimento do meio.

O coeficiente de extinção pode ser determinado experimentalmente e depende das partículas espalhadoras/absorventes e do comprimento de onda da luz incidente, possuindo dimensão correspondente ao inverso do comprimento

Lei de Beer

Segundo os estudos desenvolvidos por Beer (1852), a intensidade luminosa que incide sobre uma solução sofre alterações quando a concentração da mesma é alterada. Ou seja, se a concentração tiver um aumento linear a luminosidade decai exponencialmente. Essa ideia é expressa a seguir,

$$I = I_0 e^{-\gamma c}, \quad (2)$$

onde I representa a intensidade da luz transmitida, I_0 a luz incidente, γ o coeficiente de extinção e c a concentração do meio absorvente.

Entenda concentração no contexto desse trabalho como sendo uma grandeza proporcional ao volume de tinta. Sendo a constante de proporcionalidade entre essas grandezas o volume total de líquido.

Experimentos

Seguem os experimentos com fins didáticos baseadas nos conceitos discutidos acima. As práticas são baseadas nos livros *Fundamentals of Atmospheric Radiation*, de Bohren e Clothiaux (2006) e *Clouds in a Glass of Beer—Simple Experiments in Atmospheric Physics*, de Bohren (2001). Foram elaboradas com o objetivo de explorar a participação dos discentes no processo de construção do conhecimento.

Acreditamos que as atividades práticas são capazes de estimular o desenvolvimento da criatividade, da curiosidade e da capacidade de refletir criticamente despertando no aluno o interesse em conhecer a ciência e em aprendê-la através da própria vivência.

No decorrer das aulas experimentais, buscamos envolver ao máximo a participação dos alunos. Para tal, utilizamos o método científico, isto é, os alunos realizaram previsões a partir da elaboração de perguntas, construíram hipóteses, observaram a experimentação, confrontaram e por fim a conclusão a respeito dos conceitos científicos presentes nos fenômenos.

Atividade 1: Explorando a Lei de Lambert-Beer

Nessa seção, discutiremos o experimento proposto para a averiguação da Lei de Lambert-Beer. O aparato utilizado na prática está representado na figura 6. O intuito é realizar medidas que mostrem o decaimento da intensidade luminosa à medida que a profundidade aumenta e também quando a concentração de partículas absorvente se intensifica. Para esse fim, um aparelho *smartphone* com o luxímetro (instrumento composto de sensores capazes de medir a intensidade luminosa) ativo é colocado abaixo do recipiente (ver figura 6) para fazer a leitura da quantidade de luz (lanterna de um segundo *smartphone*) e de suas variações de acordo com as mudanças feitas no meio óptico. Os experimentos foram realizados com mistura de água e tinta preta e,

portanto, o processo de extinção da luz é dominado pelo mecanismo de absorção.

Motivação: Por que para alguns metros de profundidade no mar a intensidade da luz é baixa?

Objetivos da atividade:

- Verificar o decaimento exponencial da intensidade luminosa com o comprimento;
- Verificar o decaimento exponencial da intensidade luminosa com a concentração;
- Discutir a curva exponencial.

Lei de Lambert

De acordo com a Lei de Lambert, a intensidade da luz ao atravessar um meio óptico diminui exponencialmente à medida que a profundidade aumenta. Então, para verificar experimentalmente esta lei, depositamos quantidades iguais de mistura de água com tinta preta, correspondente a uma altura de 1 cm do recipiente e, a cada acréscimo do composto, um novo registro era feito.



Figura 6: Aparato experimental utilizado para a verificação da Lei de Lambert-Beer.

A proposta é fazer com que os discentes colem os dados e depois marquem os pontos numa área quadriculada, para, à vista disso, analisarem o tipo de curva que foi medida. Essa atividade foi iniciada com a exposição conceitual da Lei de Lambert-Beer e os resultados foram empregados para comparar com a teoria. Mas o caminho inverso também é possível, ou seja, realizar primeiro a prática para assim conduzir os alunos ao entendimento do decaimento exponencial da luz.

Os procedimentos para análise de Beer são análogos ao experimento de Lambert, com a diferença que é a concentração do meio que aumenta linearmente.

Por que uma exponencial?

De forma optativa, no final da atividade o professor pode explorar mais a função exponencial presente nos experimentos, indagando os motivos que impossibilitam um decaimento linear, visto que os fótons sempre atravessam distâncias iguais. Como sugestão, o professor pode realizar uma prática bem simples retirada do projeto chamado *Eliminando Quadrados*, da coleção Matemática Multimídia desenvolvido pela Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: [file:/Users/Home/Downloads/TELA-eliminando quadrados---o_experimento%20\(2\).pdf](file:/Users/Home/Downloads/TELA-eliminando_quadrados---o_experimento%20(2).pdf).

No fim, o professor deve fazer o fechamento da aula discutindo as questões contidas na pós observação e analisar o entendimento adquirido pelos discentes.

Atividade 2: Introdução aos Conceitos de Espalhamento e Absorção da luz

Atividade 2.1: Espalhamento de Luz por Cacos de Vidro Colorido

O propósito dessa ação prática é mostrar a variação de brilho e da cor e a dependência do tamanho de cacos de vidro. Então, os grupos devem prever se ocorrerá alguma variação de brilho para um tamanho bem pequeno de vidro colorido (pó de vidro) em relação a um pedaço maior. Feito o palpite, o vidro colorido deve ser triturado na presença da turma, para observação dos mesmos.

Motivação: Por que o vidro colorido triturado é mais claro que um pedaço grande?

Objetivos da atividade: explorar os conceitos de espalhamento múltiplo e absorção da luz.



Figura 7: Variação de brilho/cor para tamanhos diferentes de vidro.

Após o procedimento, o docente deve promover uma discussão sobre o fenômeno observado, avaliando as repostas prévias e questionando sobre as possíveis explicações para o evento estudado. Por fim, deve esclarecer que o mecanismo de absorção está vinculado ao tamanho da área de absorção, e ao passo que essa diminuiu a absorvidade também diminuiu. Em contraponto, o espalhamento múltiplo aumenta, deixando o conjunto mais brilhoso.

Atividade 2.2: Processos de Extinção da Luz

Essa prática experimental foi desenvolvida para ser usada na discussão sobre os processos de extinção da luz através dos mecanismos de espalhamento e absorção. O experimento consiste em analisar imagens de dois recipientes idênticos projetadas na parede por um retroprojeto.

Motivação: Como podemos explicar o fato de que, em um dia chuvoso, a nuvem apresenta cor cinza para quem olha do solo e, para uma pessoa sobrevoando a mesma nuvem, a cor é branca?

Objetivos da atividade:

- Mostrar que, em muitas situações, não é possível identificar o mecanismo de extinção da luz, se por espalhamento ou absorção.

Inicialmente os recipientes são colocados sobre a região de projeção vazios, para mostrar que não existem diferenças entre os objetos. Então, fez-se uma mistura de 500 mL de água e uma gota de tinta preta e outra mistura com as mesmas proporções, porém com tinta branca (tintas de mesmo fabricante). Dessas misturas foram retirados 20 mL (seringa) e inserido em cada um dos frascos. Esses procedimentos são feitos sem que os alunos vejam, inclusive o retroprojeto é envolvido por um papel preto de modo que os estudantes não conseguem ver as vasilhas. Nesse momento os discentes divididos em grupos respondem qual das imagens está com a mistura de água e tinta preta e água e tinta branca (figura 8.a). Seguidamente, sem retirar o líquido dos recipientes foram adicionados uma gota de tinta preta na mistura preta e uma gota de tinta branca na mistura branca e o resultado é a imagem da figura 8.b, novamente foi preciso responder em quais recipientes estavam as misturas das tintas e também

se havia alguma diferença nas imagens e se era possível distinguir os mecanismos de extinção.



Figura 8.a



Figura 8.b

Figura 8: Projeções de dois recipientes idênticos cada um contendo mistura de água e tinta preta e água e tinta branca com concentrações parecidas.

O objetivo dessa análise é mostrar que nem sempre é possível identificar o mecanismo de extinção predominante no meio óptico. Um exemplo interessante relacionado a essa ideia é o caso das nuvens escuras em dias frios. A princípio pode se pensar que existe um domínio de partículas absorventes sobre as espalhadoras e por isso o brilho da nuvem diminui. Contudo, a imagem da mesma nuvem vista por cima revela a cor branca e o brilho comum dos dias ensolarados. Então, o que está ocorrendo não é a absorção dos fótons, mas sim um múltiplo espalhamento da luz, diminuindo a transmissividade através da nuvem, fazendo com que o espalhamento domine o processo de extinção da luz que chega a um observador no solo. Essa concepção é ilustrada pela figura 8.b, o recipiente da direita está com tinta branca e a espalhamento é tão grande que pouca luz atravessa o meio para atingir o anteparo.

Atividade 3: Propagação de Luz em Lâminas Transparentes e em Meios Ópticos Homogêneos e Heterogêneos

Atividade 3.1: Lâminas Transparentes

O experimento das lâminas transparentes foi elaborado com a finalidade de discutir a possibilidade de se obter um espelho a partir de materiais transparentes e também para examinar a variação de brilho em meios porosos, como areia.

Motivação: Um espelho pode ser construído a partir de materiais transparentes?

Objetivos da atividade:

- Observação da variação de brilho quando se aumenta o número de lâminas transparentes e a verificação da formação de um espelho.

✓ **Formação de um espelho:**

Consiste em questionar aspectos como transparência, opacidade, brilho e ausência de brilho à medida que placas transparentes de acetato são adicionadas formando uma pilha.



Figura 9.a: brilho de uma placa transparente versus brilho de 10 placas transparentes sobrepostas. As placas são idênticas.



Figura 9.b: brilho de uma placa versus brilho de 50 placas.

Os alunos precisam prever o comportamento das placas transparentes antes de verem a pilha formada, então os mesmos respondem algumas perguntas sobre o que possivelmente irá ocorrer. Após observarem o conjunto sobreposto de lâminas transparentes, os discentes são questionados se o sistema pode ser encarado como um espelho. E por fim precisam estimar a quantidade mínima de chapas necessárias para a formação do espelho.

Posteriormente, os estudantes recebem um esclarecimento físico sobre o fenômeno estudado. A saber, quando a luz incide sobre uma placa, esquema da esquerda da figura 5, parte da luz é refletida e outra parte é transmitida. A estrutura da direita da mesma figura mostra a incidência, reflexão e transmissão em duas placas. Nota-se que a luminosidade transmitida pela primeira placa é a incidência da segunda e, portanto, parte dessa energia será transmitida para o meio e outra será refletida, essa refletividade da segunda placa atingirá a primeira placa e novamente parte será transmitida e outra parte refletida. Logo, é natural concluir que a primeira placa sempre refletirá uma quantidade de luz

maior que as placas inferiores, porque cada lâmina inferior refletirá uma porção de luz que será transmitida ao início.

A parcela de energia luminosa que é transmitida pela placa superior é chamada de irradiância ascendente; essa grandeza depende do produto da fração de energia luminosa que atingiu a placa inferior pela refletividade da placa. A irradiância descendente representa a energia luminosa que atinge a placa inferior, e está relacionada com a transmissividade que ocorre na placa superior e a irradiância emitida pela inferior. Isto é, a transmissividade da primeira placa somada ao produto da irradiância ascendente e a refletividade da lâmina superficial.



Figura 10: Refletividade de uma pilha de placa paralelas. Resultado que se aproxima de um espelho.

O aparato experimental mostrado na figura 11, foi desenvolvido para medir a variação de brilho com a adição de transparências. Para a coleta de dados utilizou-se o luxímetro do aplicativo Physics Toolbox instalado no aparelho *smartphone*.



Figura 11: Aparato experimental utilizado para medir a variação de brilho no conjunto de lâminas.

Atividade 3.2: Brilho em Meios Porosos

O estímulo causador da elaboração dessa prática é a variação de brilho da areia seca para a areia molhada. Quer dizer, a areia úmida é mais escura que a seca. Os aspectos pertinentes para a discussão são o tamanho da partícula (visto na prática cacos de vidro) e a homogeneização do índice de refração do meio circundante.

Motivação: Por que existe uma diferença de cor entre a areia seca e a areia molhada?

Objetivos da atividade:

- Variações de brilho quando mudamos de meio óptico.

O professor deve estimular a classe a prever as possíveis alterações no brilho das pilhas de lâminas transparentes quando mergulhadas na água e na glicerina. Mergulhadas as placas, um debate deve ser levantado para explorar o efeito presenciado e se estava de acordo com as previsões realizadas.

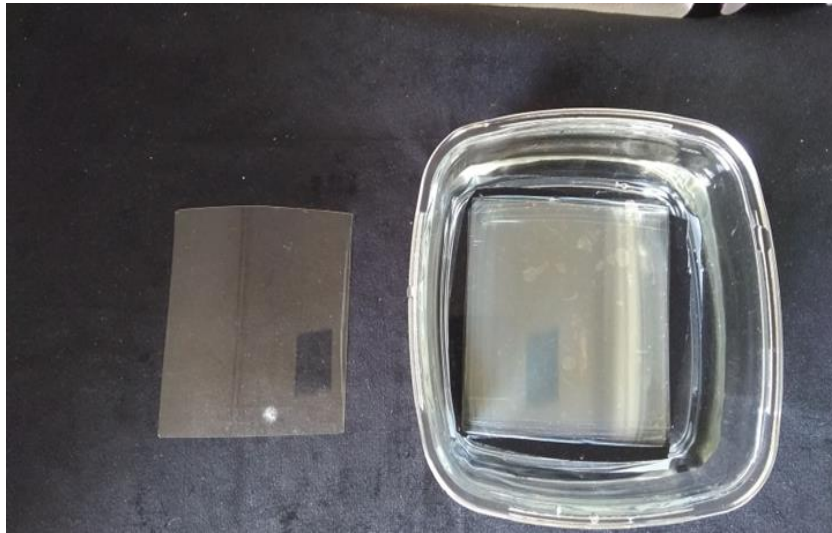


Figura 12: Lâminas mergulhadas em água.

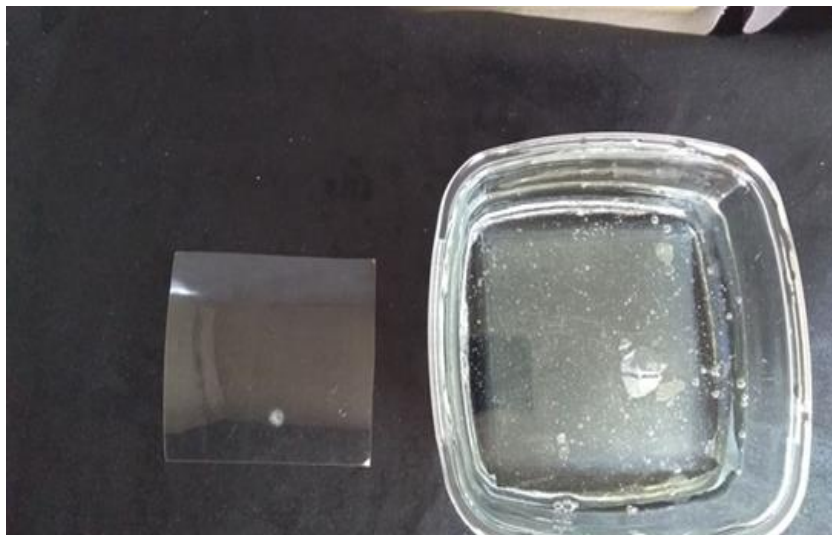


Figura 13: Lâminas mergulhadas em glicerina.

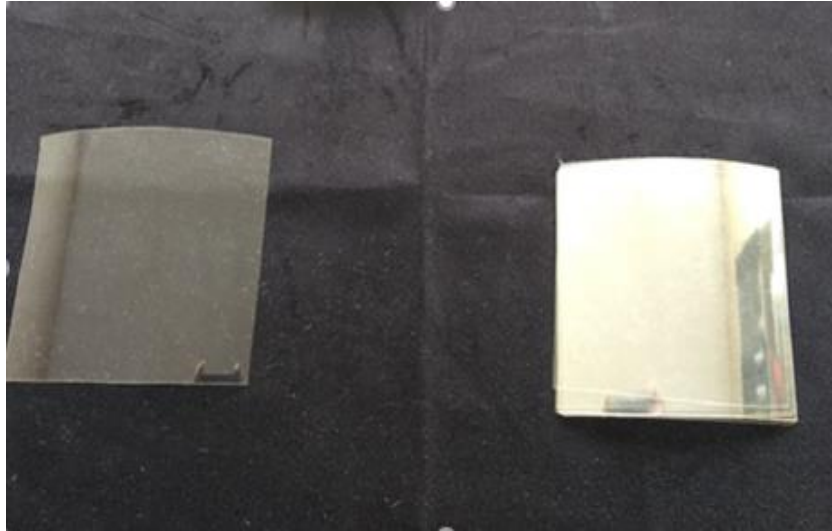


Figura 14: Lâminas no ar.

De acordo com os registros acima, é nítida a diferença de brilho nas três imagens. A causa dessa distinção é explicada pela disparidade entre os índices de refração das placas e do ambiente envolvente. Quanto mais próximos os índices de refração dos materiais envolvidos, menor a refletividade, pois ocorre uma homogeneização das propriedades óticas do meio, e os fótons não distinguem um material do outro, como mostrado na figura 13. O índice de refração dos grãos de areia têm valor mais próximos ao índice de refração da água do que o ar e, conseqüentemente, o espalhamento é menor e por isso menos luz chega ao nosso olho.