

2 PROPRIEDADES ÓPTICAS

A seguir será feita uma revisão sobre as principais propriedades ópticas de interesse para o nosso estudo.

2.1. Luz

Segundo Maxwell, a luz é uma modalidade de energia radiante que se propaga através de ondas eletromagnéticas. As características de uma onda são comprimento de onda (λ) e a frequência (f). A velocidade da onda (c) as correlaciona da seguinte forma:

$$c = \lambda f$$

2.2. Espectro eletromagnético

O espectro eletromagnético está formado por um conjunto de ondas eletromagnéticas, tais como, ondas de rádio, microondas, raios infravermelhos, luz visível, raios ultravioletas, raios x e raios gama. As ondas diferem entre si pela frequência e propagam-se com a mesma velocidade da luz no vácuo.

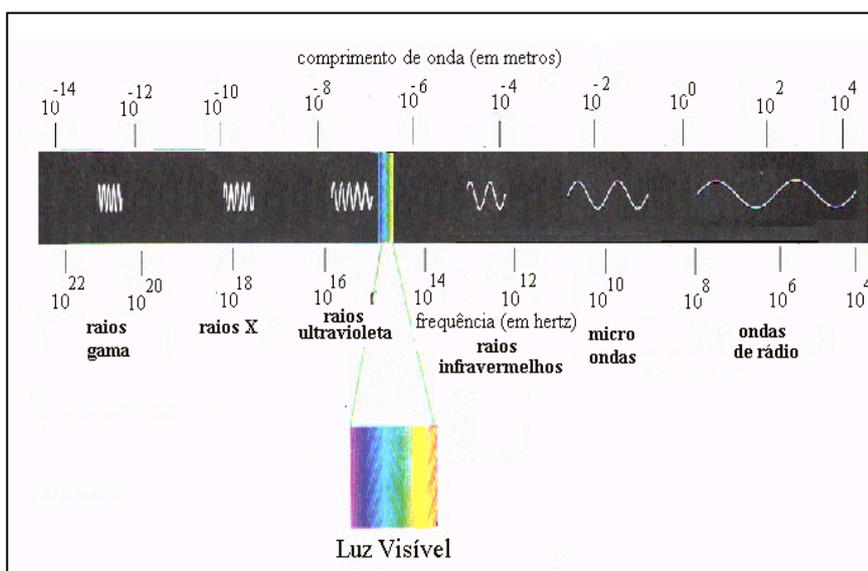


Figura 3- Espectro eletromagnético mostrando a faixa da luz visível (a figura não está em escala).

A optoeletrônica se centra principalmente na parte do espectro eletromagnético correspondente à luz visível e à parte do infravermelho próximo à luz visível

2.3. Absorção

Existem superfícies que absorvem a maior parte das radiações luminosas que chegam até elas. Geralmente, tais objetos são de cor preta.

Outros tipos de superfícies e objetos absorvem só uma determinada gama de comprimentos de onda refletindo o resto, o que vai definir a cor da superfície que observamos.

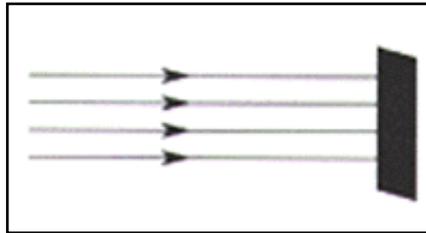


Figura 4- Absorção da luz.

2.4. Refração

Fenômeno que ocorre quando os raios luminosos passam de um meio para outro e sofrem uma variação na velocidade de propagação e uma mudança na direção.

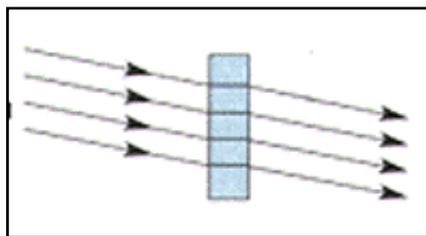


Figura 5- Refração da luz.

A relação entre a velocidade da luz no vácuo (c) e a velocidade da luz em um material particular (V_p); é chamado de **índice de refração "n"** daquele material. Para alguns comprimentos de onda (λ), o índice de refração depende mais do material. Então:

- Para materiais que não tem a capacidade de absorver luz (não absorventes):

$$m = c/V_p$$

- Para materiais que tem capacidade de absorver luz (absorventes):

$$m = m'(1 - ai)$$

Onde: m' : índice de refração real

a : relacionado com o coeficiente de absorção do material.

i : $\sqrt{-1}$, parte imaginaria, número complexo

A parte imaginaria do índice de refração é igual a zero para materiais não absorventes.

2.5. Reflexão

Quando os raios de luz chegam até um corpo e não podem continuar se propagando, saem desviados em outra direção, quer dizer, se refletem. Isto ocorre dependendo do tipo de superfície na qual os raios incidem e do ângulo que formam sobre a mesma, podendo ser uma reflexão uniforme ou dispersa.

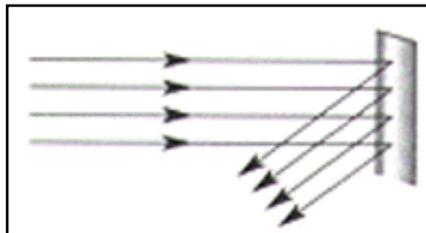


Figura 6- Reflexão da luz.

2.6. Espalhamento

O espalhamento da luz pela partícula do aerossol está governado pelo parâmetro de tamanho α que relaciona o tamanho da partícula com o comprimento de onda λ de radiação incidente.

$$\alpha = \frac{\pi d}{\lambda}$$

A interação da luz com as partículas do aerossol está descrita em termos da distribuição angular da luz espalhada. O modelo de espalhamento angular da luz depende principalmente do índice de refração e do parâmetro de tamanho α . O plano que se forma entre o feixe de luz incidente na partícula do aerossol e os raios da luz espalhada é chamado **plano de espalhamento**, e o ângulo formado por eles é chamado **ângulo de espalhamento θ** . (Hinds, 1969).

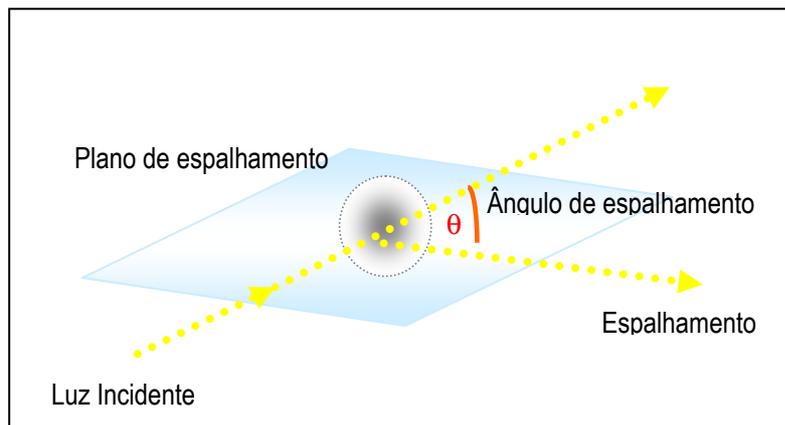


Figura 7- Plano de espalhamento e o ângulo de espalhamento da luz.

A luz espalhada por uma partícula é um indicador sensível do tamanho da partícula, o que permite medir o tamanho das partículas de aerossol com simples instrumentos. A luz espalhada é responsável pelos efeitos ópticos causados pelos aerossóis. (Morawaska, 1999).

A teoria geral do espalhamento da luz pelos aerossóis foi desenvolvida em 1908 por Mie e fornece a equação da intensidade de luz espalhada por uma partícula em qualquer ângulo θ , mas precisa-se conhecer o índice de refração (m) e o parâmetro de tamanho (α). (Hinds, 1969).

O espalhamento da luz por partículas individuais depende do tamanho, forma, índice de refração da partícula e do comprimento de onda da luz incidente. (Hidy, 1984).

Existem dois mecanismos de espalhamento da luz, o espalhamento de Rayleigh e o espalhamento de Mie.

O espalhamento de Rayleigh ocorre quando as dimensões das partículas espalhadoras são muito menores que o comprimento de onda do feixe incidente.

O espalhamento de Mie acontece quando o tamanho das partículas espalhadoras são da mesma ordem de magnitude que o comprimento de onda do feixe incidente.

2.7. Extinção

Quando as partículas do aerossol são iluminadas por um feixe de luz, ocorre o espalhamento e absorção desta luz pelas partículas do aerossol, ocorre então uma atenuação na intensidade do feixe de luz. Este processo é chamado extinção. Apesar de que todas as partículas do aerossol espalhem luz, nem todas absorvem luz. Só as partículas de materiais absorventes têm esta capacidade. (*Hinds, 1984*).

Esta característica de extinção dos aerossóis é importante na avaliação da concentração dos aerossóis, e influencia na visibilidade. Assim podemos ver a atenuação da luz num pôr do sol devido à intensidade da luz ser reduzida por extinção ao longo da atmosfera; além disso, observamos o sol de cor avermelhada porque existe uma forte extinção da luz azul. (*Hinds, 1984*).

A relação entre a intensidade da luz que atravessa o aerossol (I) e a intensidade da luz incidente sobre o aerossol (I_0) estão relacionados pela Lei de Beer-Lambert:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\sigma_e L}$$

Onde: σ_e : coeficiente de extinção do aerossol

L: comprimento do caminho do feixe de luz através do aerossol.

Esta expressão relata o decréscimo da intensidade da luz incidente devido à sua absorção gradativa, cujo modelo é visto através da figura abaixo, onde "dx" representa uma fatia infinitesimal na direção "x" da amostra, de comprimento L.

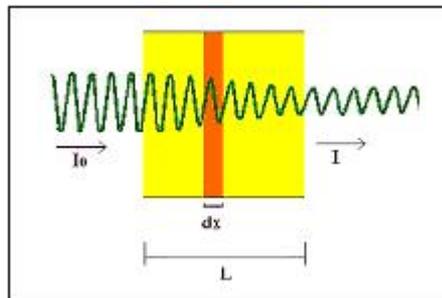


Figura 8- Decremento da amplitude da onda incidente devido à absorção.

Desta forma, a Lei de Beer-Lambert relaciona a intensidade do feixe incidente com a concentração de espécies absorvedoras.

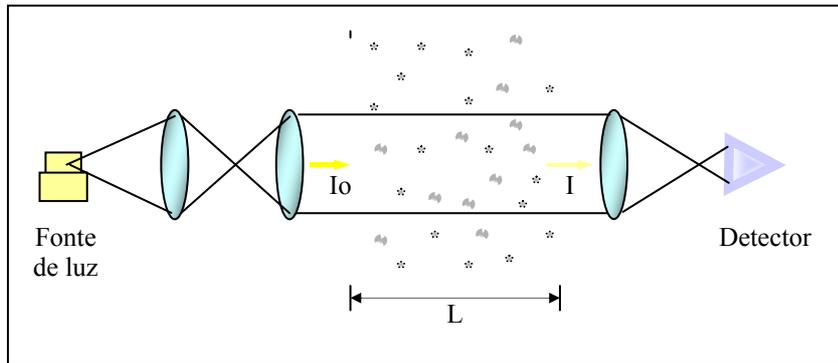


Figura 9- Instrumento de medição da atenuação do feixe de luz incidente que atravessa as partículas do aerossol.

A degradação da visibilidade é a manifestação mais óbvia da poluição do ar, que resulta principalmente do espalhamento da luz por partículas atmosféricas. Os efeitos da poluição sobre o espalhamento da luz são fortes nas áreas urbanas e industriais.

No controle da poluição do ar é muito importante a determinação da contribuição das diferentes fontes de emissão que influenciam o espalhamento total da luz. (Hidy, 1984).

2.7.1. Eficiência da extinção

Segundo Hinds; a eficiência de extinção das partículas representa uma medida relativa real da capacidade das partículas para remover luz do feixe em comparação com o bloqueio simples ou a interseção com a área projetada da partícula (A_p).

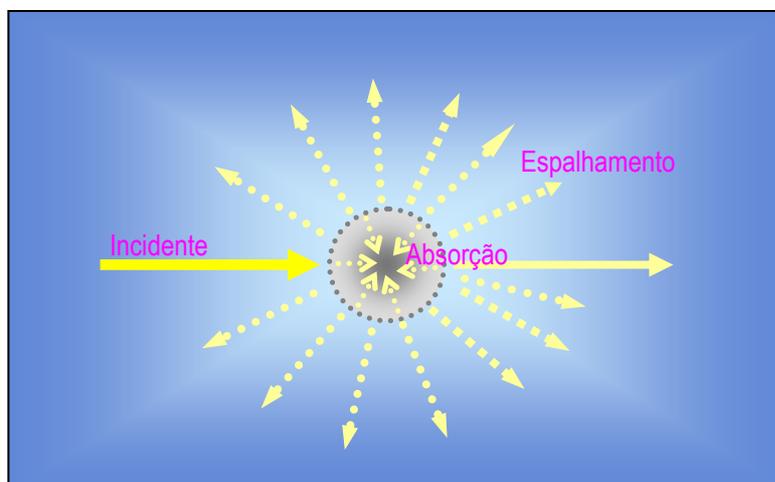


Figura 10- Absorção e espalhamento do feixe de luz incidente numa partícula.

A eficiência de extinção (Q_e), representa uma medida da capacidade que tem uma partícula para remover luz de um feixe de luz incidente em relação a sua área transversal, pode ser expressa como:

$$Q_e = \frac{\text{Potência espalhada} + \text{Potência absorvida}}{\text{Potência incidente na partícula}}$$

Segundo Hinds, 1969; a eficiência de extinção (Q_e) de uma partícula é a soma de sua eficiência de espalhamento (Q_s) e da eficiência de absorção (Q_a).

$$Q_e = Q_s + Q_a$$

Para partículas de materiais não absorventes:

$$Q_a = 0 \rightarrow Q_e = Q_s$$

A eficiência de extinção (Q_e) depende do índice de refração, forma da partícula e do parâmetro de tamanho α .

Para partículas de aerossol monodisperso (partículas com as mesmas dimensões) em um centímetro cúbico, cada uma, removerá de um feixe incidente de intensidade unitária $A_p Q_e$, watts. Então, o aerossol monodisperso (partículas com diferentes dimensões) de N partículas/cm³, terá um coeficiente de extinção (σ_e) de:

$$\sigma_e = N A_p Q_e = \frac{\pi d^2 N Q_e}{4}$$

Onde: A_p = área da partícula. [m²]

d = diâmetro da partícula [m]

Q_e = eficiência de extinção [adimensional].

$A_p Q_e$ = luz removida por uma partícula [m²].

$N A_p Q_e$ = luz removida por N partículas [1/m]

σ_e = coeficiente de extinção [1/m]

Para aerossóis polidispersos existe uma equação para cada tamanho de partícula,

$$\sigma_e = \sum_i \frac{\pi d_i^2 N_i (Q_e)_i}{4}$$

Onde: N_i : número de partículas com diâmetro d_i