

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COORDENADORIA DE ENSINO MÉDIO E TECNOLÓGICO
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM**



Técnico em Geoprocessamento
Colégio Politécnico
UFSM

Apostila de Física

Patrícia Duro Borges

**Santa Maria
2009**

1- ONDAS	3
1.1- Classificação das Ondas	3
1.1.1- Direção da Vibração.....	4
1.2- Natureza das Vibrações	4
1.3- Graus de liberdade para a propagação das ondas.	4
1.4- Ondas Periódica.....	4
1.5 - Exercícios propostos:.....	6
1.6 - Frente de onda, princípio de Huyghens	8
1.7 - Reflexão e refração de ondas.....	9
1.7.1 - Reflexão	9
1.7.2 - Refração.....	10
1.8 - Difração, dispersão e polarização	10
1.9 - Dispersão da luz branca - Composição das cores.....	12
1.10 - Efeito Fotoelétrico	12
1.11 - Interferência ou superposição	14
2- ACÚSTICA	17
2.1 - Ondas sonoras	17
2.2 - velocidade do som.....	18
2.3 - A percepção do som	18
2.4 - Propriedades das ondas sonoras	19
2.5 - Ressonância	19
2.6 - Espectro da frequência eletromagnética.....	20
2.7 - Principais aplicações das faixas de comprimento de ondas.....	20
2.8- Largura de banda	21
3- ÓPTICA GEOMÉTRICA	21
3.1-Princípios da óptica geométrica	Erro! Indicador não definido.
3.1.1-Sombra e penumbra.....	Erro! Indicador não definido.
3.1.2- Câmara escura.....	Erro! Indicador não definido.
3.1.3- Exercícios de fixação.....	27
4- RADIAÇÃO ÓPTICA	28
4-Natureza e propagação da luz	34
4.1- A cor de um corpo por reflexão.....	38
4.2 - Fontes de radiação óptica	38
4.3 - O espectro óptico.....	39
4.3 - Espectro Eletromagnético.....	39
4.3.1- Classificação das ondas eletromagnéticas.....	39
4.3.2- Tabela de propagação de ondas e efeitos da atmosfera terrestre.....	40
4.4 - Grandezas de radiação óptica	42
4.4.1 - A Energia Radiante e sua dependência do Tempo e do Espaço.....	42
4.4.2 - Grandezas da radiação relacionadas à área	44
4.4.3 - Grandezas radiométricas Relacionadas à Natureza do Material.....	45
4.4.4 - Grandezas Radiométricas Espectrais	47
4.4.5 - Grandezas Radiométricas, Fotométricas e Quântica	47
4.5 - Características De Fontes De Radiação Óptica	47
4.5.1 - Leis da Radiação de Corpo Negro	48
4.5.2- Tabela com as Definições De Grandezas Radiométricas	49

4.5.3- Tabela com Definições De Grandezas Fotométricas	50
<i>5- OBJETIVAS FOTOGRÁFICAS</i>	<i>51</i>
5.1- Características de uma objetiva.....	51
5.2- Distância Hiperfocal	52
5.3- Profundidade de Campo	53
5.4- Tipos de objetivas fotograficas :	53
Anexo 1 - Prefixos do sistema internacional para a expressão dos múltiplos e submúltiplos:	54
Anexo 2 - Frequências, Mecanismos de propagação, Efeitos da atmosfera e do terreno, Aspectos do sistema, Tipos de serviço	56
Anexo 3- Regiões da atmosfera terrestre	55
<i>Bibliografia Consultada:</i>	<i>57</i>

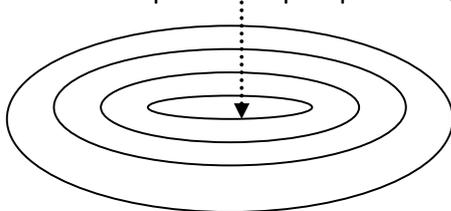
1- ONDAS

Em nosso meio, estamos rodeados por ondas, mecânicas, sonoras, luminosas, de rádio eletromagnéticas, etc. Graças a elas é que existem muitas maravilhas do mundo moderno, como a televisão, o rádio, telecomunicações via satélite, o radar, o forno de microondas, imagens eletrônicas e as mais recentes aplicações bélicas do sistema GPS, Raio X, telecomunicações, etc.

Pulso: É a perturbação produzida em um ponto de um meio.

Onda: É o movimento provocado pela perturbação que se propaga em um meio.

Exemplo:



Quando uma pedra cai na superfície de um lago, ela desloca certo volume de água. Ocorrem, simultaneamente, um deslocamento lateral e um deslocamento vertical. A porção de água que se projeta acima do nível normal do lago tende a descer; mas, quando atinge a posição de equilíbrio, ultrapassa-a, devido a inércia, deslocando, lateral e verticalmente, uma nova porção de água ao seu redor. Assim, a oscilação mecânica vai se propagando pela superfície do lago.

O fenômeno descrito é um exemplo de propagação ondulatória. A perturbação que se propaga recebe o nome de **onda**.

É importante observar que a água do lago, como um todo, não se moveu. Uma bóia em sua superfície oscilaria em torno de uma posição, sem ser arrastada pela onda. Essa é a principal característica da propagação ondulatória:

As ondas transportam energia, sem envolver transporte de matéria.

Portanto ondas são perturbações periódicas ou oscilações de partículas, por meio das quais, muitas formas de energia propagam-se a partir de suas fontes. Todos os movimentos ondulatórios em um meio resultam de oscilações de partículas individuais em torno de suas posições de equilíbrio. Isso significa que uma onda progressiva é o movimento provocado por uma perturbação qualquer e não um deslocamento do meio em si mesmo. As ondas propagam somente energia, que é transferida através de átomos e moléculas da matéria.

De um modo geral, as ondas necessitam de um meio material para se propagarem, exceto as ondas eletromagnéticas que se propagam no vácuo.

Uma onda possui uma frequência e um comprimento. A frequência corresponde ao número de vezes que uma onda passa por um ponto do espaço num intervalo de tempo, ou seja, ao número de oscilações da onda por unidade de tempo em relação a um ponto. A frequência é geralmente expressa em ciclos por segundo ou Hertz. O comprimento de onda indica a distância entre dois pontos semelhantes de onda, dado em metros.

1.1- Classificação das Ondas

Podemos classificar as propagações ondulatórias de acordo com três critérios: A direção da vibração, a natureza da vibração e o grau de liberdade para a propagação das ondas.

1.1.1- Direção da Vibração

Ocorre uma *propagação transversal* quando a direção da vibração é perpendicular a direção em que se propaga a onda. (Ex. diapasão)

Propagação Longitudinal é aquela em que a direção da vibração é a mesma na qual se efetua a propagação da onda.(Ex. mola)

Nas *Propagações Mistas*, ambas as condições ocorrem simultaneamente. É o caso das perturbações que se propagam pela superfície dos líquidos.

1.2- Natureza das Vibrações

Nas *propagações mecânicas* ocorre transporte de vibrações mecânicas, isto é, as partículas materiais vibram. É o caso das ondas em cordas, em molas, na superfície e no interior dos líquidos, dos sólidos (terremotos) e dos gases (som se propagando no ar), etc. As ondas mecânicas necessitam de um meio material para a sua propagação; logo, **o som não se propaga no vácuo**.

As *propagações eletromagnéticas* correspondem a variações no campo elétrico e no campo magnético, originado por cargas elétricas oscilantes. É o caso das ondas de rádio, das microondas, da luz visível, dos raios X e dos raios gama. Essas ondas não necessitam, obrigatoriamente, de um meio material para a sua propagação; podem, portanto, propagar-se inclusive no vácuo.

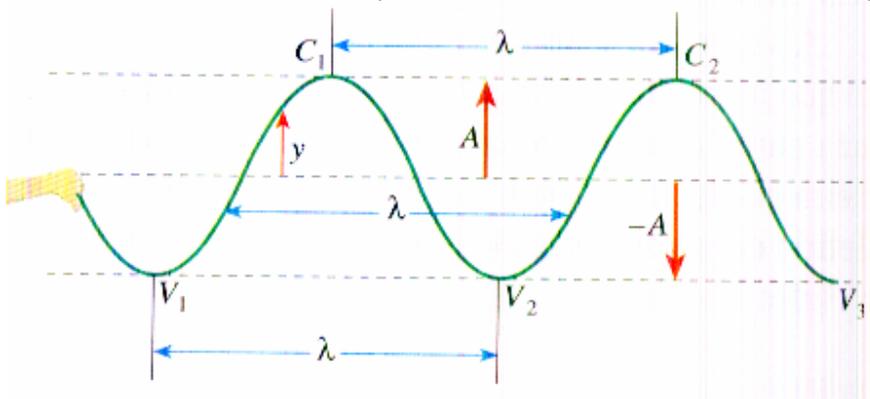
1.3- Graus de liberdade para a propagação das ondas.

- Nas **propagações unidimensionais**, as ondas se deslocam sobre uma linha (as ondas em uma corda por exemplo).
- Nas **propagações bidimensionais**, as ondas são produzidas sobre uma superfície (as ondas na superfície dos líquidos, por exemplo).
- Nas **propagações tridimensionais**, as ondas se propagam em todas as direções, por todo o espaço (a propagação do som no ar, por exemplo).

1.4- Ondas Periódica

Uma sucessão de pulsos iguais produz uma onda periódica. Entre as ondas em geral, as periódicas apresenta especial interesse, tanto pela facilidade de descrição, quanto pela aplicação prática.

Analisaremos as ondas periódicas unidimensionais conforme a figura:



Nas ondas periódicas destacamos:

Amplitude da onda (A) - É a medida da altura da onda para voltagem positiva ou negativa. Também é definida como crista da onda. A amplitude do sinal digital é igual a diferença da voltagem para o degrau entre 0 e 1. Iniciando na voltagem zero, a onda cresce e atinge a amplitude, decresce, se anula,

atinge a amplitude negativa e volta a crescer até se anular novamente. Essa seqüência compõe um ciclo.

Frequência (f) - É o número de ciclos por segundo, ou o número de cristas por segundo. Um ciclo é também denominado por 1 Hertz = 1 Hz, medida visual de frequência.

Fase - É o ângulo da inflexão em um ponto específico no tempo, medido em graus.

Elongação (y) - é o valor algébrico da ordenada do ponto oscilante da onda.

Concordância de fase - Quando dois pontos têm sempre o mesmo sentido de movimento. (São pontos da onda que tem a mesma elongação exemplo C_1 e C_2 , ou V_1 e V_2). São todos os pontos de uma onda separados por uma distância $\lambda, 2\lambda, 3\lambda, 4\lambda, \dots, n\lambda$, sendo n um número inteiro.

Oposição de fase - Quando tem sentidos de movimentos opostos. Exemplo quando C_1 começa a descer V_2 começa a subir assim como C_2 e V_3 . Ao longo de uma onda podemos encontrar muitos pontos que oscilam em oposição de fase. $C_1V_2 = \lambda/2$ e $C_2V_3 = \lambda + \lambda/2 = 3\lambda/2 = (2n-1) \cdot \lambda/2$ e assim sucessivamente.

Velocidade de fase - É a velocidade de propagação de uma onda, ou seja, a velocidade das cristas, dos vales, assim como todas as outras fases. (É a velocidade que um ponto qualquer da onda se desloca)

Período (T) - Intervalo de tempo (s) de uma oscilação completa de qualquer ponto da onda.

Cristas (C_1 e C_2) - picos de energia máximos de uma onda.

Vales (V_1, V_2, V_3) - picos de energia mínimos de uma onda.

Comprimento de Onda (λ) - É a menor distância entre dois pontos que vibram em concordância de fase, em particular é a distância entre duas cristas ou dois vales consecutivos.

Observações:

1 - A distância entre dois pontos C_1 e C_2 é o comprimento onda λ . Essa distância é percorrida pela onda no período T . Assim temos:

$\Delta s = \lambda$ e $\Delta t = T$, então a velocidade de propagação da onda é dada por

$$V = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow V = \frac{\lambda}{T}, \text{ como } T = \frac{1}{f}, \text{ obtemos } V = \lambda \cdot f$$

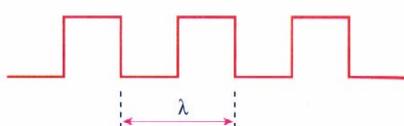
$V = \lambda \cdot f =$ equação fundamental ondulatória.

2 - A frequência de uma onda é a frequência da fonte que a produziu e não varia durante a propagação.

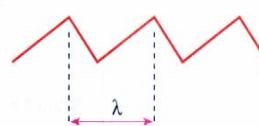
3 - A velocidade de propagação é característica do meio; para ondas de mesmo tipo e num mesmo meio, temos mesma velocidade.

4 - Existem ondas periódicas não-cossenoidais, como a onda quadrada e a onda dente de serra da figura a seguir, porém os conceitos de frequência e comprimento de onda são aplicáveis a todas as ondas periódicas.

a)



b)



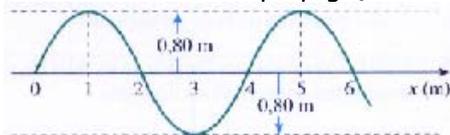
1.5 - Exercícios propostos:

1 - (UFMS- 2005) Uma máquina colheitadeira moderna incorpora um dispositivo GPS, que funciona emitindo ondas eletromagnéticas a um satélite. Se o satélite está a uma distância de 240 Km da colheitadeira e se as ondas eletromagnéticas têm comprimento de 1,2cm, a frequência das ondas e o tempo de ida são respectivamente, em Hz e em s.

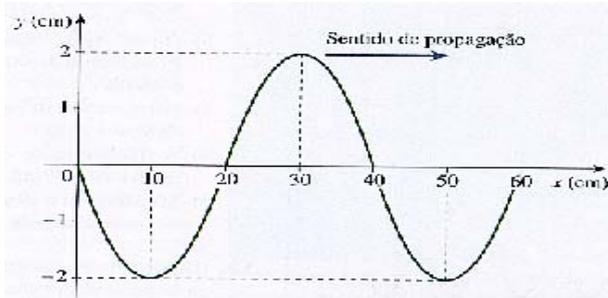
- a) $2,5 \times 10^{14}$, 8×10^{-5}
- b) $3,6 \times 10^{12}$, 8×10^{-6}
- c) $2,5 \times 10^{10}$, 8×10^{-4}
- d) $3,6 \times 10^{10}$, 8×10^{-5}
- e) $2,5 \times 10^8$, 8×10^{-4}

2 - A figura mostra o perfil de uma corda onde se propaga uma onda periódica, com frequência de 10Kz. Determine:

- a) A amplitude e o comprimento da onda;
- b) Sua velocidade de propagação.



3- (UFSE) Uma onda estabelecida numa corda oscila com frequência de 50Hz. O gráfico mostra a corda num certo instante:



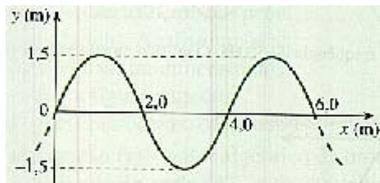
Assinale as afirmações abaixo sobre esse fenômeno, dando a soma dos números correspondentes às alternativas corretas:

- 00) A amplitude da oscilação é de 4cm.
- 11) O comprimento da onda mede 40cm.
- 22) O período de oscilação é de 50s.
- 33) A velocidade de propagação é de 20m/s.
- 44) Essa propagação ondulatória é transversal.

4 - (E.F.O.Alfenas-MG) A sucessão de 5 pulsos completos (onda) foi produzida numa corda de 2,0s.

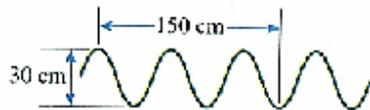
- a) Determine o período da onda;
- b) Suponha a velocidade de propagação dessa onda igual a 0,6m/s e determine o seu comprimento.

5- (UERJ) Uma onda tem frequência de 40,0Hz e se comporta como se vê no diagrama.



Nas condições apresentadas, determine a velocidade de propagação da onda.

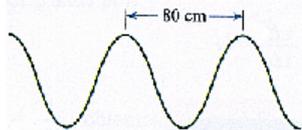
6 - (Mackenzie - SP)



Uma onda mecânica, que se propaga num determinado meio com velocidade 1,50m/s, apresenta as características da figura acima. A frequência dessa onda é:

- a) 1,00Hz b) 1,25Hz c) 2,50Hz d) 5,00Hz e) 10,00Hz.

7- (UFSE) A onda periódica representada se propaga com velocidade de 20cm/s.



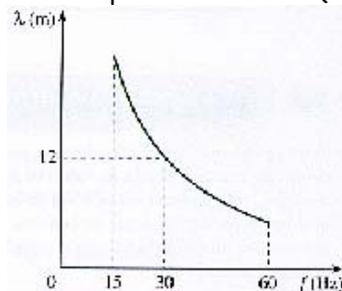
O período dessa onda, em segundos, é igual a:

- a) 0,40 b) 2,5 c) 4,0 d) 8,0 e) 40

8 - (U.F.Santa Maria-RS) Uma onda sonora propaga-se no ar com uma velocidade v e frequência f . Se a frequência da onda for duplicada:

- O comprimento da onda duplicará.
- O comprimento da onda não se alterará.
- O comprimento da onda se reduzirá à metade.
- A velocidade da propagação da onda dobrará.
- A velocidade de propagação da onda se reduzirá à metade.

9 - (UERJ) Através de um dispositivo adequado, produzem-se ondas em um meio elástico, de modo tal que as frequências das ondas obtidas se encontram no intervalo de 15Hz e 60Hz. O gráfico mostra como varia o comprimento de onda (λ) em função da frequência (f).



- Calcule o menor comprimento da onda produzido nessa experiência.
- Para um comprimento de onda de 12m, calcule o período da onda.

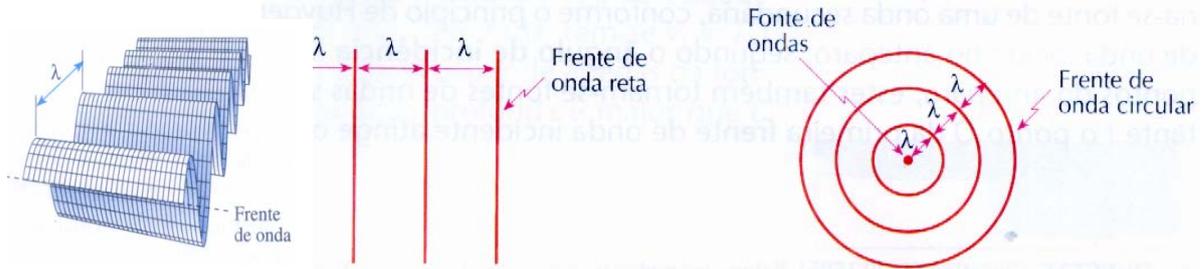
1.6 - Frente de onda, princípio de Huyghens

Para estabelecer o princípio de Huyghens, devemos inicialmente entender o significado de **frente de onda**. Uma frente de onda corresponde a uma linha ou a uma superfície, formados por pontos da onda que estejam em concordância de fase e que separam a região perturbada da região não-perturbada pela propagação ondulatória.

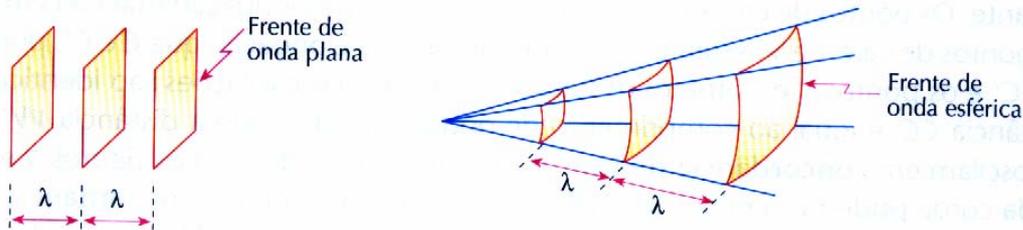
Podemos agora enunciar o princípio de Huyghens:

"Cada ponto de uma frente de onda se comporta como uma nova fonte de ondas elementares e progressivas. A linha ou a superfície que tangencia todas as ondas elementares produzidas corresponde a frente de onda em um instante posterior".

Na propagação bidimensional em meios homogêneos e isótropos, (que apresentam as mesmas propriedades em todas as direções), as frentes de onda podem ser retas ou circulares.

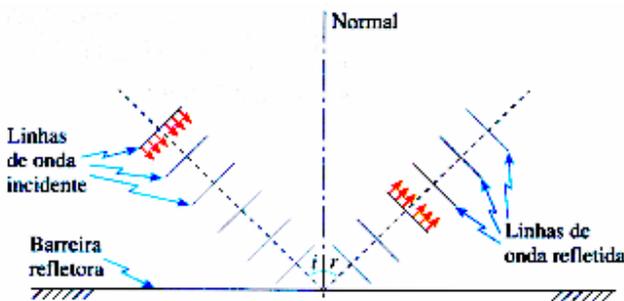


Na propagação tridimensional em meios homogêneos e isótropos, as frentes de onda podem ser planas ou esféricas



Na representação de uma onda em propagação, é costume retratar a frente de onda e suas posições anteriores defasadas de um período T e, portanto, distantes λ uma da outra (figura anterior) logicamente posições anteriores da frente de onda são, num instante qualquer, constituídas por pontos que estão em concordância de fase com os pontos da frente de onda.

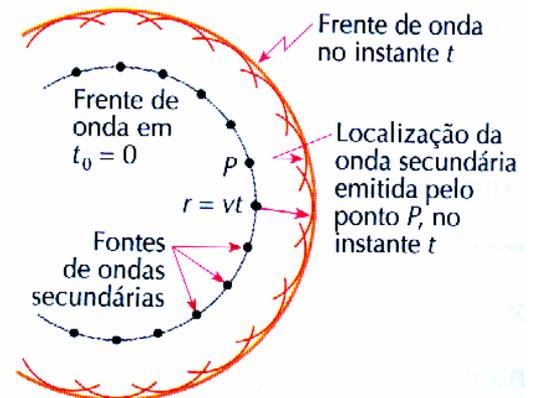
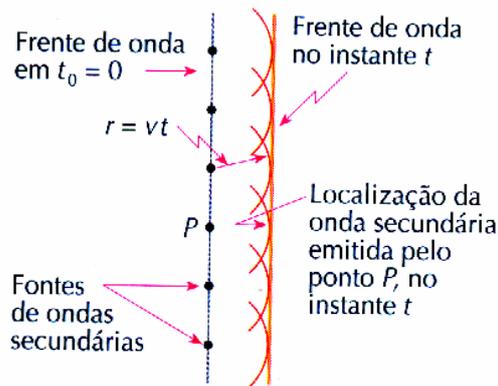
O princípio de Huygens, permite determinar a posição de uma frente de onda num instante t conhecendo-se a posição dessa frente em um instante anterior, que se convencionou por $t_0 = 0$



Cada ponto de uma frente de onda, no instante $t_0 = 0$, pode ser considerado uma fonte de ondas secundária, produzida no sentido de propagação e com a mesma velocidade no meio. No instante posterior a t a nova frente de onda é a superfície que tangencia essas ondas secundárias.

A figura a seguir representa a posição de duas frentes de onda, no instante $t_0 = 0$, uma reta e outra circular. Para determinar a posição da frente de onda no instante t , utiliza-se o princípio de Huygens: em $t_0 = 0$ cada ponto p da frente de onda é considerado uma fonte de onda

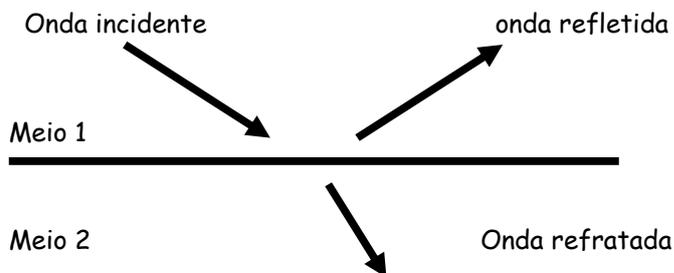
secundária ; no instante t o raio dessas ondas é $r = vt$, sendo v a velocidade das ondas no meio homogêneo e isotrópico. A frente de onda nesse instante é a superfície que tangencia essas ondas secundárias. Conforme figura a seguir. Portanto podemos concluir pelo princípio de Huygens que cada ponto de uma frente de onda, num dado instante, é fonte de novas ondas elementares, com as mesmas características da onda inicial; a frente de onda, no instante $(t + \Delta t)$, é a envolvente das frentes dessas novas ondas elementares, nesse novo instante.



1.7 - Reflexão e refração de ondas

1.7.1 - Reflexão

Quando uma onda incide na fronteira entre dois meios, uma parte da energia incidente retorna ao meio onde a onda se propagava; a outra parte passa a se propagar no novo meio. Esses dois fenômenos são denominados respectivamente de **reflexão** e **refração**, ocorrem simultaneamente porém são estudados em separado para melhor compreensão.



Na **reflexão** sabemos que a velocidade de propagação de uma onda é função do meio; portanto, podemos afirmar : A onda refletida terá a mesma velocidade da onda incidente, pois ambas se propagam no mesmo meio. A frequência por ser também uma característica da fonte, permanece inalterada, em decorrência, o comprimento de onda também permanece inalterado ($v = \lambda \cdot f$)

Na reflexão de ondas, a medida do ângulo de incidência é igual a medida do ângulo de reflexão ou seja $i = r$

1.7.2 - Refração

Refração é o fenômeno pelo qual a onda passa de um meio para outro. Quando uma onda sofre refração, sua frequência e sua fase não variam. Isto significa que a onda refratada continua com a mesma frequência e em concordância de fase com a onda incidente.

O que caracteriza a refração é uma mudança na velocidade de propagação, podendo haver ou não mudança na direção de propagação. No caso específico de incidência normal à fronteira de separação, não haverá mudança na direção de propagação.

Índice de refração - A alteração observada na direção da propagação da luz, quando se refrata, é tanto mais acentuada quanto maior for a variação de sua velocidade de sua velocidade ao passar de um meio para outro. Para expressar quantitativamente essas alterações foi definida uma grandeza, denominada de índice de refração de um meio material, representado normalmente por n .

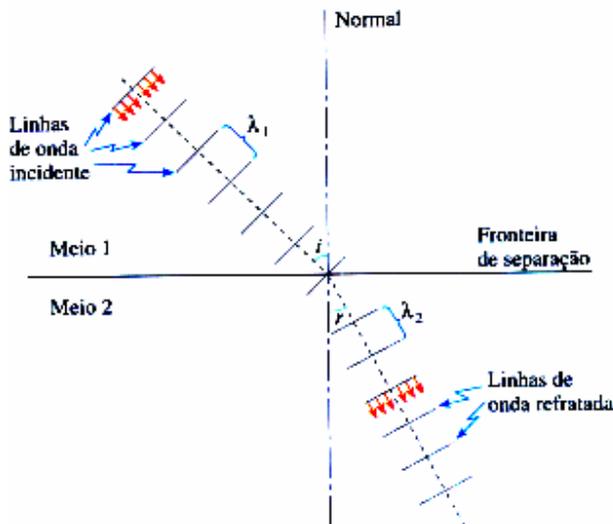
$$n = \frac{c}{v} \quad \text{onde, } c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

A refração de ondas obedece a lei de Snell-Descartes, logo:

$$n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r \Rightarrow \frac{c}{v_1} \cdot \sin i = \frac{c}{v_2} \cdot \sin r \Rightarrow \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$$

Obs: A frequência, por ser uma característica da fonte das ondas não se altera com a refração.

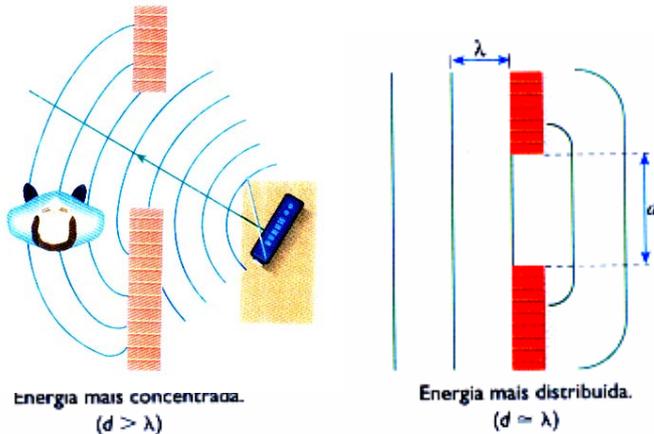
Como $v = \lambda \cdot f$, também poderemos ter $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$



1.8 - Difração, dispersão e polarização

Difração - A difração ocorre quando uma onda encontra uma fenda, ou um obstáculo. As ondas conseguem contornar obstáculos e fendas e chegar a regiões que não seriam atingidas caso apresentassem apenas propagação retilínea. No caso específico das ondas sonoras que no ar apresentam comprimentos de onda que variam de 1,7cm a 17m o fenômeno da difração é percebido dia-a-dia. Isso porque os obstáculos satisfazem a condição básica para a difração, pois apresentam dimensões da ordem do comprimento do som. Podemos por exemplo escutar o som de um rádio, mesmo que haja uma parede nos separando dele.

Na difração, a energia não se distribui igualmente em todas as direções. Quanto menor for o comprimento de onda (λ) em relação ao tamanho da fenda ou o obstáculo (d) atingido, menor será a capacidade de contorná-los, conforme se vê nas figuras.



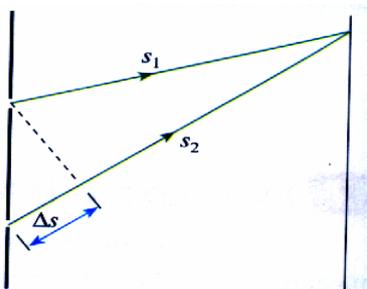
No caso específico da luz, a mesma condição deve ser verificada. A difração ocorre quando uma onda luminosa atinge uma fenda com dimensões da ordem do comprimento da luz. Ao atravessar a fenda, a onda espalha-se, assumindo uma forma praticamente esférica, conforme observado na experiência de Young mostra a figura a seguir.

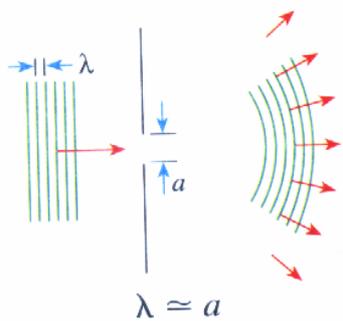
Em 1801, o cientista inglês Thomas Young (1773-1829) mostrou, por meio de uma experiência de interferência de ondas luminosas, que a luz comporta-se como uma onda, ou seja, a luz é um fenômeno ondulatório. Nesse experimento, Young utilizou a luz solar, que, ao sofrer difração na fenda F_1 , espalhou-se e atingiu as fendas F_2 e F_3 , onde sofreu novamente difração, dando origem a duas ondas esféricas que interferiram entre si, produzindo uma figura com interferências construtivas e destrutivas na tela colocada a uma distância d das fendas F_2 e F_3 .

A condição para se obter interferência construtiva ou destrutiva está relacionada à diferença de percurso dos raios luminosos que partem das fendas e se dirigem a um determinado ponto da tela. Se esta diferença for um múltiplo inteiro de comprimentos de onda, a interferência será construtiva:

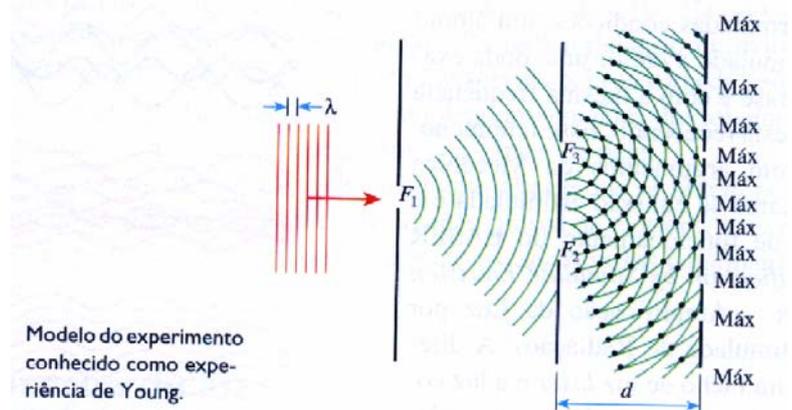
$$\Delta s = n\lambda \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

Se a diferença de percurso for igual a um número ímpar de meios comprimentos de onda, teremos uma interferência destrutiva, ou seja: $\Delta s = i \cdot \frac{\lambda}{2}$ ($i = 1, 3, 5, \dots$)





Quanto menor for a largura da fenda, mais acentuada será a difração.



Modelo do experimento conhecido como experiência de Young.

Dispersão - Ocorre quando, além da velocidade da onda depender do meio, ela depende também de outros fatores, tais como a frequência e a amplitude. Ocorre com a luz diferença provoca a separação das frequências (cores) quando a luz sofre refração. nos meios materiais, onde ondas de diferentes frequências se propagam com diferentes velocidades. Esta

1.9 - Dispersão da luz branca - Composição das cores

Luz Branca								
4,3.10 ¹⁴ Hz		5,0.10 ¹⁴ Hz			6,0.10 ¹⁴ Hz		7,5.10 ¹⁴ Hz	
Infra.Vermelho.	Vermelho	Alaranjado	Amarelo	Verde	Azul	Anil	Violeta	Ultra Violeta
		Red			Green		Blue	
		Amarelo			Ciano			
		Magenta						

Resumo: Amarelo + Azul = Branco
 Ciano + Vermelho = Branco
 Magenta + Verde = Branco

1.10 - Efeito Fotoelétrico

O efeito fotoelétrico é um fenômeno no qual metais, quando expostos à energia radiante, podem chegar a emitir elétrons.

Aplicação do efeito fotoelétrico: células fotoelétricas que são amplamente utilizadas hoje no controle de portas de elevador, aparatos de segurança, cronometragem etc.

A explicação correta para o efeito fotoelétrico, que deu a Einstein o Prêmio Nobel de Física de 1921, diz que a energia chega aos elétrons do metal em "pacotes", e não continuamente, como se pensava na visão ondulatória clássica. Cada "pacote" é um *quantum* de energia, ou seja, carrega uma

quantidade bem definida de energia. O modelo elaborado por Einstein passou a ser conhecido como **teoria dos quanta**.

Os *quanta* de energia radiante foram batizados de **fótons**. No efeito fotoelétrico, os fótons interagem com a matéria como se fossem partículas, mas a sua propagação no espaço tem um comportamento ondulatório.

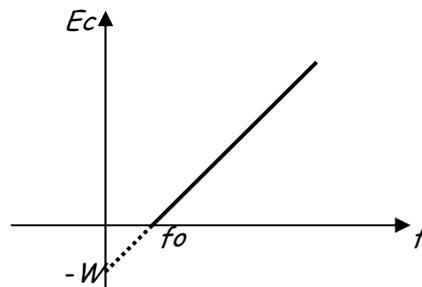
A energia de cada fóton é dada por: $E = hf$

Nessa expressão, f é a frequência do fóton e h é a constante de Planck, que, no SI, vale $6,63 \cdot 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$

Cada elétron ligado a um metal interage com o núcleo por uma força atrativa. Assim, o elétron precisa receber uma quantidade mínima de energia para ser extraído. Se a energia de cada fóton não superar essa quantidade mínima, o elétron não é extraído e o efeito fotoelétrico não acontece. Mas, se a energia de cada fóton superar o valor mínimo exigido, o elétron é extraído. Esse raciocínio explica o fato de o efeito fotoelétrico depender somente da frequência da radiação incidente.

A energia mínima para extrair um elétron da placa metálica é chamada de **função trabalho (W)** e depende do tipo de metal utilizado. Se a energia do fóton incidente superar o valor da função trabalho, o saldo ficara na forma de energia cinética do elétron extraído (E_c). Podemos então escrever: $E_c = hf - W$

No gráfico abaixo, temos a energia cinética do elétron extraído em função da frequência do fóton incidente. A frequência mínima do fóton incidente necessária para produzir o efeito fotoelétrico é f_0 . Para frequências menores que f_0 , o efeito não ocorre, mas ao utilizar radiação com frequência superior a f_0 , o número de elétrons extraídos do metal é proporcional à intensidade da radiação incidente.

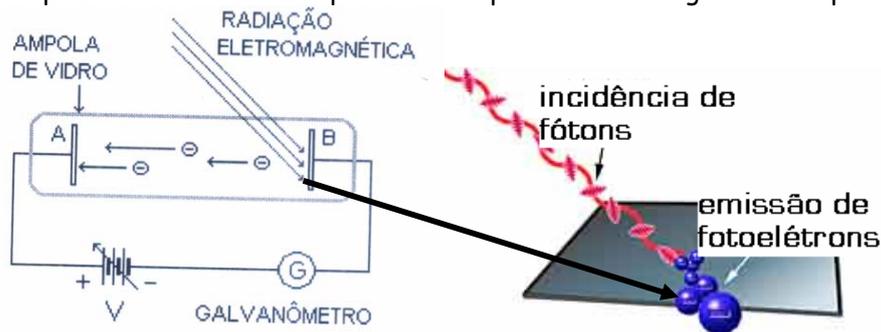


A interação da radiação eletromagnética com uma matéria, geralmente sólida, resulta na emissão de elétrons; algumas substâncias exibem o fenômeno também com luz visível. Isso é chamado fotoemissão. A energia dos fótons é liberada para os elétrons emitidos, que são chamados de fotoelétrons e podem constituir uma corrente em um circuito elétrico. A energia dos elétrons depende da frequência da luz; sua intensidade afeta somente o número de elétrons emitido. A fotoemissão levou ao desenvolvimento da fotocélula, Para explicar o efeito fotoelétrico são necessárias a seguintes suposições:

- A luz é absorvida em quantidades discretas, chamadas fótons.
- A intensidade de um feixe de luz de uma dada frequência que atinge a superfície do metal é proporcional ao número de fótons que chegam à superfície, por segundo.
- Toda a energia de um fóton é absorvida por um único elétron.
- A taxa de emissão de fotoelétrons é diretamente proporcional à intensidade da luz incidente.

Obs: Lembre-se que quando se aumenta o comprimento de onda a frequência diminui, e quando se diminui o comprimento de onda a frequência aumenta.

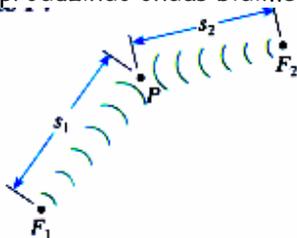
Num dispositivo experimental que permite estudar as características do efeito fotoelétrico (figura a seguir) entre as placas metálicas A e B existe uma diferença de potencial variável V igual a $V_A - V_B$. Sem a incidência de radiação eletromagnética, não existe corrente elétrica no circuito. Com a incidência de radiação eletromagnética na placa B, mantida com um potencial menor que na placa A, existe uma corrente elétrica que pode ser medida pelo galvanômetro. Mesmo que a placa B seja mantida num potencial maior que a placa A, ainda assim pode aparecer corrente elétrica no circuito. A corrente elétrica aparece por causa da radiação eletromagnética, que arranca elétrons da superfície da placa B. Com isso a luz gera uma força eletromotriz e o par de materiais se torna uma célula; chama-se isso de efeito fotovoltaico. Como base de muitos aparelhos sensíveis à luz, este é um dos princípios atualmente usados para tentar aproveitar a energia solar na produção de eletricidade.



1. 11 - Interferência ou superposição

Consideremos dois pulsos unidimensionais propagando-se em uma corda elástica, em sentidos opostos. As perturbações se propagam de modos independentes. Portanto um pulso não interfere na propagação do outro. Na realidade, não há interferência de ondas; o que ocorre nos pontos onde elas se encontram é uma superposição. O nome interferência permanece apenas por motivos históricos, consagrados pelo uso.

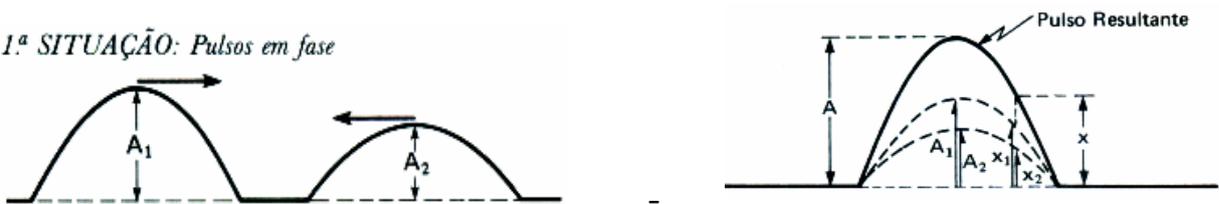
Consideremos a figura a seguir que representa duas fontes F_1 e F_2 em concordância de fase, produzindo ondas bidimensionais que atingem o ponto P .



Quando duas ondas bidimensionais atingem simultaneamente o mesmo ponto P , ocorre os seguintes tipos de superposição ("interferência"):

Interferência construtiva - 1^o situação, as ondas ao atingir o ponto P , estão em concordância de fase. Sendo A_1 a amplitude da primeira onda e A_2 a amplitude da segunda e efetuando-se a superposição, o ponto passa a oscilar com amplitude $A = A_1 + A_2$. Em particular se $A_1 = A_2$, então $A = 2A_1$

1^a SITUAÇÃO: Pulsos em fase

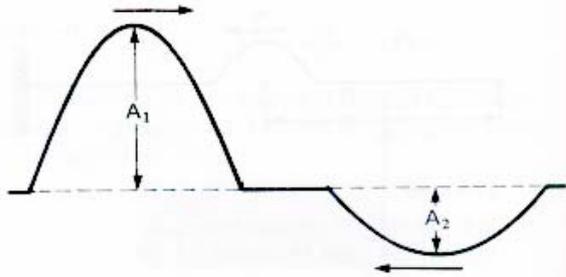


A crista resultante tem uma amplitude igual a soma das amplitudes individuais dos pulsos. Após a superposição os pulsos continuam sua propagação, normalmente como se nada tivesse acontecido.

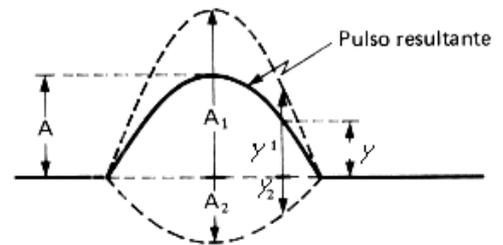
Esse fato justifica-se pelo "princípio da independência da propagação ondulatória"



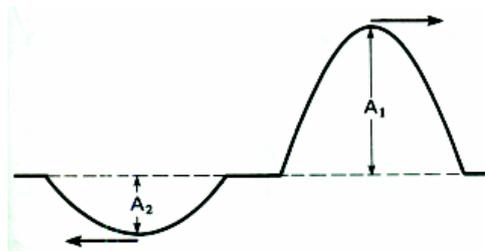
Interferência Destrutiva - 2ª situação, no instante da superposição dos pulsos em oposição de fase, conforme a figura a seguir, cada ponto possui uma elongação Y igual a diferença das elongações Y_1 e Y_2 que cada ponto produziria se chegasse sozinho. Portanto a crista resultante tem uma amplitude igual a diferença das amplitudes individuais.



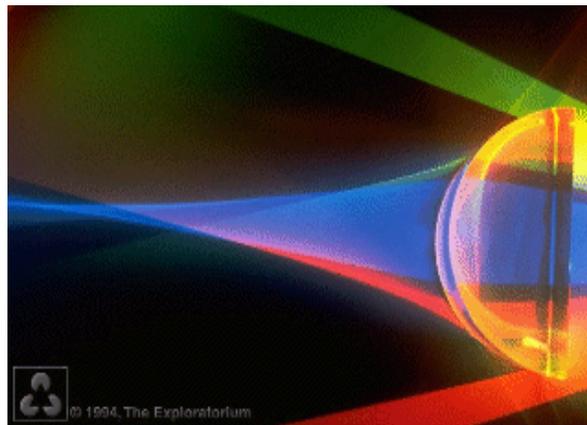
=



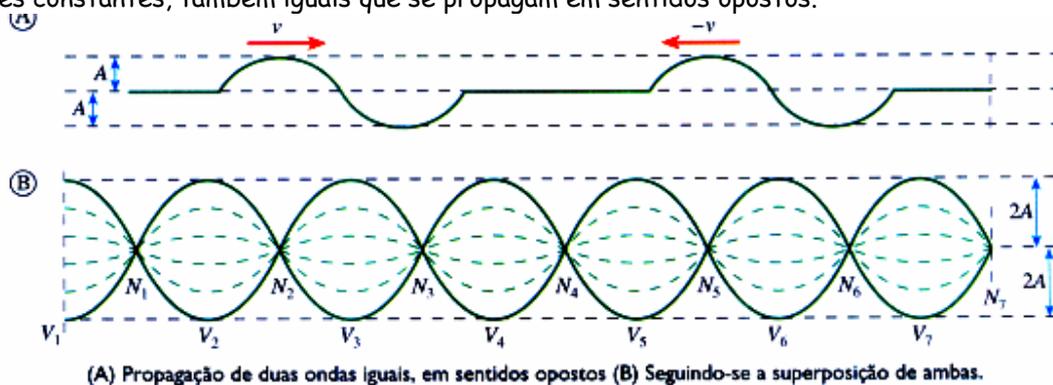
Após a superposição, também vale o princípio da independência da propagação ondulatória, assim após a superposição, temos:



Outro exemplo interessante de interferência acontece quando feixes de cores diferentes se cruzam, verificando uma mudança de cor apenas na região do cruzamento dos feixes, voltando às cores originais após saírem daquela região.

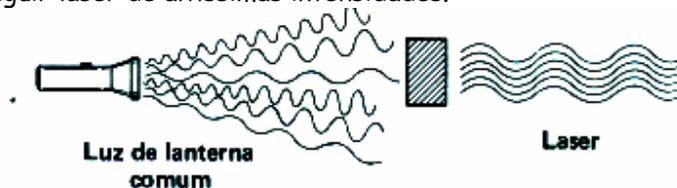


Onda Estacionária : A onda estacionária é um caso particular de interferência. Nesta situação, superpõem-se duas ondas periódicas unidimensionais que tem frequências iguais e constantes, amplitudes constantes, também iguais que se propagam em sentidos opostos.



Obs: As condições vistas, também são válidas quando a interferência ocorre entre ondas tridimensionais, como ondas sonoras e luminosas.

A luz emitida por uma lanterna comum é constituída de ondas eletromagnéticas de diversas frequências aleatoriamente defasadas . O *laser* (light amplification by stimulated emission of radiation). Por sua vez é constituído de ondas eletromagnéticas de mesma frequência e mesma concordância de fase (luz coerente). Em virtude da interferência construtiva entre essas ondas, pode-se conseguir *laser* de altíssimas intensidades.



Polarização

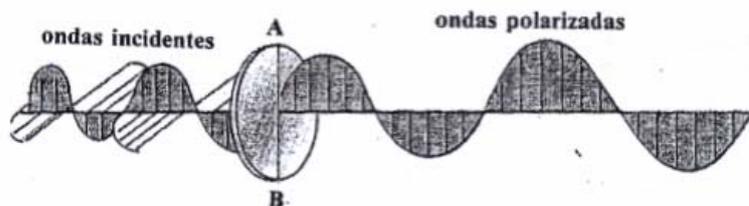
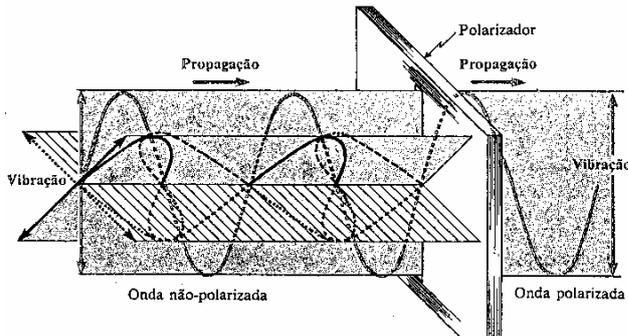
Uma onda natural (ou não polarizada) é a aquela que possui várias direções transversais de vibração, em relação à direção da propagação. Polarizar essa onda é fazê-la vibrar em apenas uma direção através de um polarizador.

Dizemos que uma onda é polarizada quando suas vibrações são todas paralelas, isto é, quando os pontos vibram num único plano.

Assim, obtemos luz polarizada fazendo a luz natural atravessar uma placa denominada de polaróide, que absorve todas as vibrações luminosas, exceto aquelas que se realizam numa determinada direção, conforme esquema a seguir.

A polarização só ocorre em ondas transversais, jamais em ondas longitudinais.

As aplicações da polarização da luz são as mais variadas: filtros de raios luminosos, de modo que possibilite a verificação de cenas em terceira dimensão, filtros das ondas de radar de abertura sintética de forma a possibilitar um tratamento da imagem de forma a torná-la mais nítida possível. Fotografias, filtros fotográficos etc..



2- ACÚSTICA

Chama-se **som** as ondas mecânicas que sensibilizam nossa audição. Costumamos, naturalmente, valorizar a visão como o sentido mais importante que possuímos, mas nos esquecemos que a percepção do som apresenta algumas vantagens em relação a percepção da luz. Por exemplo, quando misturamos duas radiações puras, tais como a vermelha e a amarela, nossa visão não as percebe separadamente; o que veremos é uma cor alaranjada. Já com a audição conseguimos identificar vários sons diferentes, mesmo recebendo-os em conjunto. Por exemplo, fechando os olhos e prestando atenção ao ouvir uma orquestra, podemos identificar cada um dos vários instrumentos que atuam simultaneamente.

2.1 - Ondas sonoras

As ondas sonoras são ondas longitudinais que se propagam no ar e em outros meios. Elas têm origem mecânica e, portanto, não se propagam no vácuo.

A sensibilidade do ouvido humano às ondas sonoras varia de uma pessoa para outra; e para uma mesma pessoa, varia com a idade. Os parâmetros médios adotados são 20 Hz, as vibrações são chamadas de **infra-sons**; acima de 20.000 Hz, chamam-se **ultra-sons**. A figura a seguir sintetiza isso.

Frequência Hz	Denominação	Método de excitação	Aplicação
0,5 ---- 20	Infra-sons	Vibração da água em grandes reservatórios,	Prognóstico do tempo, diagnóstico de doenças

		batidas do coração.	do coração.
20 ---- 2.10 ⁴	Sons Audíveis	Voz humana e dos animais, instrumentos musicais, apitos, se-reias, alto-falantes ...	Para comunicação e sinalização, assim como para a medição de distâncias.
2.10 ⁴ ---- 10 ¹⁰	Ultra-sons	Emissores magnetotrictivos e piezoelétricos, apitos de Galton, também são excitados por alguns animais e insetos (morcegos, grilos, gafanhotos etc.)	Deteção submarina por eco, limpeza e deteção de defeitos em peças e estruturas de construções, aceleração de reações químicas, investigação em medicina, biologia e física molecular.
10 ¹¹	Hipersons	Vibrações térmicas das moléculas	Em investigações científicas.

2.2 - velocidade do som

Por ser uma onda mecânica, o som normalmente se propaga mais rapidamente nos sólidos do que nos líquidos, mais rapidamente do que nos gases.

Comparando a velocidade do som com a velocidade da luz, temos:

Som	$V_{\text{sólidos}} > V_{\text{líquidos}} > V_{\text{gases}}$	Não se propaga no vácuo
luz	$V_{\text{sólidos}} < V_{\text{líquidos}} < V_{\text{gases}}$	Vácuo = c

A tabela abaixo nos dá a velocidade do som em algumas substâncias.

Como o som é onda, a sua velocidade (v), a sua frequência (f) e o seu comprimento de onda (λ) se relacionam por: $v = \lambda f$

Ar a 0° C	331 m/s
Ar a 15° C	340 m/s
Água a 20° C	1.482 m/s
Ferro	4.480 m/s
Aço	5.941 m/s
Alumínio	6.420 m/s

2.3 - A percepção do som

Há varias grandezas físicas que caracterizam um som. **Intensidade** é uma delas. As ondas sonoras podem ser mais intensas ("som forte") ou menos intensas("som fraco").

A **altura** é uma outra qualidade do som. É ela que nos permite diferenciar entre um som grave e um som agudo. Som **grave** é o som de baixa frequência; som **agudo** é o de alta frequência. A voz do homem é mais grave do que a da mulher; ou seja, a voz da mulher é mais aguda que a do homem.

Uma terceira qualidade do som é o **timbre**.

O timbre nos permite distinguir entre sons de mesma frequência (mesma altura) e de mesma intensidade, emitidos por fontes diferentes. Por exemplo, distinguimos se uma mesma nota musical é

produzida por um piano ou por uma flauta porque o timbre do som de um instrumento difere do timbre de outro, pois produzem em nosso aparelho auditivas sensações diferentes.

2.4 - Propriedades das ondas sonoras

Uma onda sonora pode sofrer reflexão, refração, difração ou interferência. Somente não ocorre a polarização, porque o som se constitui de ondas longitudinais, não transversais.

Vamos ao estudo da reflexão sonora. Todas as nossas sensações correspondem a uma combinação entre os órgãos sensitivos e a nossa mente. Um aspecto comum a todas as nossas sensações é que elas não são instantâneas. Começam, perduram uns pequenos intervalos de tempo e se vão. A dor de uma alfinetada, por exemplo: Retirado o alfinete (estímulo), ela ainda continua.

A compreensão dessa característica é o ponto básico para entendermos **eco** e **reverberação**. Vamos admitir que, recebida uma vibração auditiva, por mais curta que seja, a sua sensação perdure um décimo de segundo. Esse intervalo de tempo ($\Delta t_r = 0,1s$) se denomina **remanescência**.

Para entender o que é reverberação, suponhamos que uma pessoa (receptor) receba dois sons - o primeiro chega diretamente de uma fonte sonora, e o segundo após o som ter refletido em uma barreira qualquer.

Quando uma pessoa recebe um segundo som antes que termine o tempo de remanescência do primeiro, acontece uma superposição de ambos. O resultado é uma sensação única, mais intensa e prolongada, chamada de **reverberação do som**.

E o tempo de remanescência que nos dá noção das dimensões de um ambiente em que um som se propaga. Quando conversamos em campo aberto, não há reforço para o som direto; nossa voz, por exemplo, parece mais fraca, e os sons ficam mais curtos.

O tempo de reverberação poderá ser prolongado se tivermos vários sons refletidos. Duas superfícies frontais lisas e rígidas favorecem a ocorrência desse fenômeno.

Para que haja eco, o som refletido deve chegar ao receptor com um atraso maior do que o tempo de remanescência.

Analisemos uma situação de uma pessoa que esteja de frente para uma barreira. Ela pode ouvir o som da própria voz de dois modos: diretamente ou refletido na barreira. O som refletido chega de volta até ela após um intervalo de tempo dado por: $\Delta t = \frac{2d}{v_{som}}$.

Ocorre o fenômeno eco quando $\Delta t > \Delta t_r$ ($\Delta t_r = 0,1s$). Considerando-se a velocidade do som no ar 340 m/s, uma pessoa deve estar a 17 m de uma barreira para ouvir o eco da própria voz.

2.5 - Ressonância

Qualquer sistema mecânico possui um ou mais modos de vibração livre. A cada um dos modos de vibrar corresponde uma frequência que chamamos de **frequência natural**. Uma corda fixada em seus dois extremos possui vários modos de vibração. Um que chamamos de **modo fundamental**, e os outros, formados de frequências múltiplas do modo fundamental, que chamamos de **modos harmônicos**.

É possível, no entanto, fazer uma corda vibrar com a frequência que quisermos. Claro que não será uma oscilação livre. Quando temos uma fonte forçando um sistema qualquer a oscilar, ocorre uma **oscilação forçada**.

Podemos segurar um balanço infantil, leva-lo para lá e para cá com a frequência que bem quisermos. Contudo, se o sentido da força aplicada for sempre o sentido do movimento do balanço, a amplitude aumentará cada vez mais; conseguiremos esta condição se alternarmos o sentido da força

conforme se alterna o sentido do movimento do balanço. Ou seja, a frequência da força oscilante deve ser igual à frequência natural do balanço; nessa condição, dizemos que o oscilador entra em ressonância com a força oscilante. A **condição de ressonância** é portanto:

$$F_{\text{fonte}} = f_{\text{sistemas}}$$

Ao ocorrer à ressonância, há uma transferência contínua de energia da fonte para o sistema, cuja amplitude de vibração vai aumentando. Isso ocorre até o instante em que a energia dissipada por eventuais amortecimentos passa a equivaler à energia fornecida pela fonte. A partir desse instante, a amplitude se mantém. Durante os terremotos, por exemplo, os edifícios entram em vibração forçada. Curiosamente, no Japão, país constantemente atingido por abalos sísmicos, verificou-se que, *grosso modo*, os prédios mais altos eram menos atingidos em suas estruturas do que os mais baixos, por terem frequência natural mais distante da oscilação forçada.

A sintonização das estações num rádio constitui um exemplo de ressonância elétrica. Quando giramos o botão do sintonizador, fazemos com que a frequência da corrente alternada no aparelho se torne igual à das ondas emitida pela estação transmissora.

Os fornos de microondas também são exemplos de ressonância em que as moléculas de água absorvem seguidamente a energia radiante, obtendo-se assim um aquecimento sem chamas. Também a fragmentação de cálculos renais com o uso de ultra-som é uma importante aplicação de ressonância na medida, que pode muitas vezes evitar os inconvenientes de uma cirurgia.

2.6 - Espectro da frequência eletromagnética

Frequência	Banda	Tipo de frequência
20kHz para baixo		Audível
Menos de 30 kHz		Rádio
30 - 300 kHz	VLF (Very Low Frequency)	Rádio
300 kHz - 3MHz	LF (Low Frequency)	Rádio AM
3 - 30 MHz	MF (Medium Frequency)	Rádio
30 - 300 MHz	HF (High Frequency)	Radio
300 MHz - 3GHz	UHF/VHF (Very High Frequency)	Rádio FM
3 - 30 GHz	SHF (Super Higt Frequency)	Rádio
Mais de 30 GHz	EHF (Extremely Higt Frequency)	Rádio
100 GHz		Raio - X
Acima de 10^{22}		Raios Cósmicos

2.7 - Principais aplicações das faixas de comprimento de ondas

Faixa de frequência	Faixa de comprimento de onda	Aplicação
30 a 535 kHz	30 km a 560 m	Navegação aérea e marítima
535 a 1605 kHz	560 m a 189 m	Típica emissora de rádio AM
27 MHz	12,5 m	Rádio faixa do cidadão (PX)

30 a 50 MHz	10 m a 6 m	Polícia, bombeiro e guarda florestal
50 a 54 MHz	6 m a 5,5 m	Rádio Amador
54 a 216 MHz	5,5 m a 1,4 m	Canais de TV UHV (2 a 13)
88 a 108 MHz	3,4 m a 2,8 m	Típica rádio FM
470 a 890 MHz	64 cm a 34 cm	Canais de TV UHF (14 a 83)
824 a 894 MHz	36 cm a 33,5 cm	Telefônica Celular
1,3 a 1,6 GHz	23 cm a 18 cm	Radar
3 a 300 GHz	10 cm a 1 mm	Microondas
4 a 8,5 GHz	7,5 cm a 3,5 cm	Satélites de comunicação

Fonte: *The New Grolier Multimedia Encyclopedia* (CD-ROM)

As ondas de rádio com frequência na faixa de 10KHz a 10MHz são bem refletidas nas camadas superiores da atmosfera - ionosfera, onde a presença de íons e elétrons é elevada, o que permite sua captação a considerável distância da estação transmissora. Devido aos altos valores de λ de onda, tais ondas tem uma grande capacidade de contornar obstáculos (difração).

Já as ondas com frequência superior a 100MHz são absorvidas pela ionosfera e, devido a curvatura da Terra, para que sejam recebidas a grandes distâncias, tornam-se necessário o uso de estações repetidoras ou de satélites.

2.8- Largura de banda

É a diferença entre a maior e a menor frequência. Pensando em largura de banda como o diâmetro de um tubo, quanto maior a sua largura maior sua capacidade. Igualmente, quanto maior a frequência da largura de banda, mais dados ela pode carregar. TV tem largura de banda de 6000kHz porque ele carrega áudio, vídeo e outros sinais.

A conexão transmissor/receptor se dá por diversos tipos de onda: As terrestres ou de superfície, que seguem a superfície da terra, em geral exploram baixas frequências, apresentam longos comprimentos de onda (10.000m), e não estão sujeitas as variações topográficas.

3- ÓPTICA GEOMÉTRICA *Atenção reformular*

INTRODUÇÃO

Para enxergar as coisas a seu redor (luz do Sol, de tocha, de vela, de lâmpada), o ser humano sempre necessitou de luz. Sem ela seria impossível viver. Afinal como seria o mundo sem luz ?

Podemos dizer que a luz é uma forma de energia radiante que se propaga por meio de ondas eletromagnéticas. É o agente físico responsável pela produção da sensação visual.

O estudo da luz é realizado pela Óptica, que é dividida, em:

ÓPTICA GEOMÉTRICA - Estuda e analisa o comportamento e a trajetória da propagação luminosa.

ÓPTICA FÍSICA - Estuda a natureza da luz.

FONTES DE LUZ

Todos os corpos que emitem luz são chamados fontes de luz. Podemos distinguir dois tipos:

Fontes primárias ou corpos luminosos são as fontes que possui luz própria. Exemplos: O Sol, as estrelas, uma lâmpada acesa, etc.

Fontes secundárias ou corpos iluminados são as fontes que não têm luz própria. Exemplos: a Lua, o livro, sua roupa, uma caneta, uma parede, etc.

ATENÇÃO:

Quanto as dimensões, as fontes de luz podem ser classificadas em:

Fontes pontuais ou puntiformes, quando suas dimensões são desprezíveis em relação a um ambiente em estudo ou uma fonte representada por um único ponto emitindo infinitos raios de luz. Exemplo: uma pequena lâmpada num estádio de futebol.

Fontes extensas, quando suas dimensões são relevantes a um ambiente em estudo ou uma fonte constituída de infinitos pontos de luz. Exemplos: Uma lâmpada próxima a um livro, o Sol iluminando a Terra, etc.

Quanto ao tipo, classificamos a luz emitida pelas fontes em:

Luz monocromática ou simples é a luz de uma única cor, como a luz monocromática amarela emitida pelo vapor de sódio, nas lâmpadas.

Luz policromática ou luz composta é a luz resultante da mistura de duas ou mais cores, como a luz branca do Sol ou a luz emitida pelo filamento incandescente da lâmpada comum.

A luz branca emitida pelo Sol, é uma luz policromática constituída por um número infinito de cores, as quais podem ser divididas em sete cores principais (as cores do arco íris) : vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta.

VELOCIDADE DA LUZ

Para qualquer que seja o tipo de luz, verifica-se que sua velocidade de propagação no vácuo é constante e, aproximadamente, igual a 300.000 km/s. Mas nos meios materiais a velocidade da luz assume valores diferentes, sempre menores que 300.000 km/s, e em qualquer meio decresce no sentido da luz vermelha para a violeta.

ANO-LUZ

É uma unidade de comprimento muito utilizada para medir distâncias astronômicas. O ano-luz corresponde a distância que a luz percorre no período de um ano e equivale a aproximadamente $9,46 \times 10^{15}$ m.

A estrela Alfa da constelação do Centauro é a estrela mais próxima do Sol, e dista "apenas" 4,3 anos-luz do Sol.

RAIO DE LUZ

Linha orientada que representa a trajetória seguida pela luz.



FEIXE LUMINOSO OU PINCEL DE LUZ

É um conjunto de raios luminosos. Existem três tipos de feixes (pincel) luminosos.



MEIOS ÓPTICOS

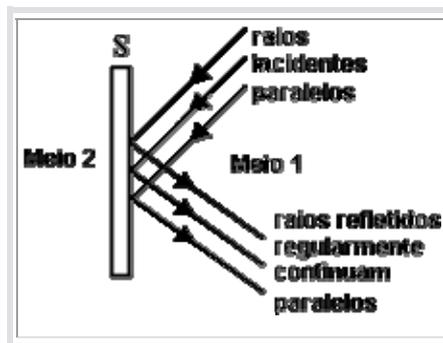
Meio Transparente é aquele meio que permite a propagação regular da luz possibilitando a formação de uma imagem nítida dos objetos. Exemplos: ar, vidro, papel celofane, etc.

Meio Translúcido é o meio que permite a propagação irregular da luz e observador não vê o objeto com nitidez através do meio. Exemplos: vidro fosco, papel vegetal, tecido fino, etc.

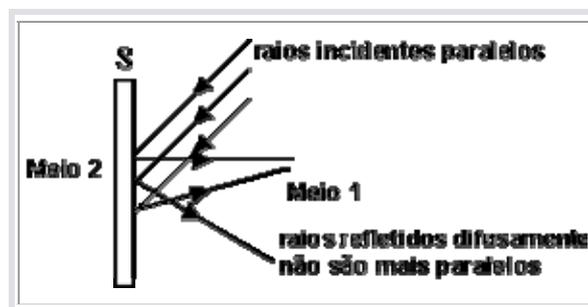
Meio Opaco é o meio que não permite a propagação da luz. Exemplos: parede, madeira, tijolo, etc.

FENÔMENOS ÓPTICOS

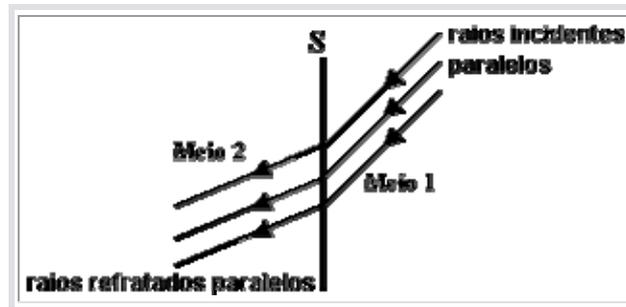
Reflexão regular: a luz incidente em S volta ao mesmo meio, regularmente. Ocorre quando S é uma superfície metálica bem polida (espelhos).



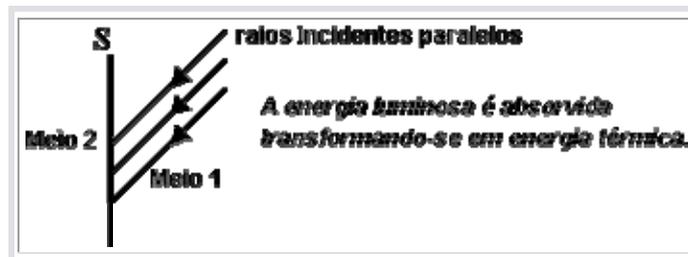
Reflexão irregular ou Difusão: a luz incidente em S volta ao mesmo meio, irregularmente. Ocorre quando S é uma superfície rugosa.



Refração: a luz incidente atravessa S e continua a se propagar no outro meio. Ocorre quando S separa dois meios transparentes (ar e água, água e vidro, etc.)



Absorção: a luz incidente em S não se reflete e nem se refrata. A luz, que é uma forma de energia radiante, é absorvida em S, aquecendo-a. Ocorre, por exemplo, nos corpos de superfície preta (corpos negros).



A COR DOS OBJETOS

A cor apresentada por um corpo, ao ser iluminado, depende do tipo de luz que ele reflete difusamente. A luz branca é constituída por uma infinidade de cores que podem ser divididas em sete cores: vermelha, alaranjada, amarela, verde, azul, anil e violeta.

Um observador vê cada corpo com uma determinada cor, da seguinte maneira: se a luz incidente no corpo é branca (composta de todas as cores) e o corpo absorve toda a gama de cores, refletindo apenas a azul, o corpo é de cor azul.

Então, o corpo branco é aquele que reflete difusamente toda a luz branca incidente e o corpo negro é aquele que absorve todas as cores, não refletindo difusamente nenhuma cor.





PRINCÍPIOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

Nossos estudos sobre a óptica é feito basicamente através do conceito do raio de luz e princípios da propagação geométrica. São estes:

Princípio da propagação retilínea da luz

"Nos meios transparentes e homogêneos a luz se propaga em linha reta."

Exemplo: A formação de sombras e penumbras.

Princípio da independência dos raios luminosos

"Se dois ou mais raios de luz, vindos de fontes diferentes, se cruzam, eles seguem suas trajetórias de forma independente, como se os outros não existissem."

Exemplo: O uso simultâneo de vários refletores durante um show.

Princípio da reversibilidade dos raios de luz

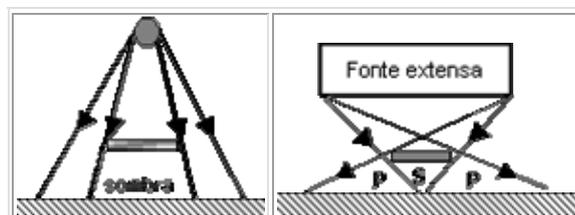
"Se um raio de luz se propaga em uma direção e em sentido arbitrários, outro poderá propagar-se na mesma direção e em sentido oposto."

Exemplo: É o que observamos quando olhamos pelo espelho de um retrovisor e percebemos que alguém nos observa através dele."

SOMBRA E PENUMBRA

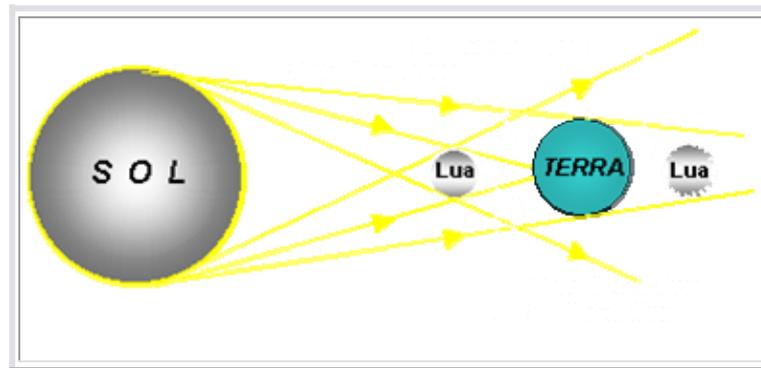
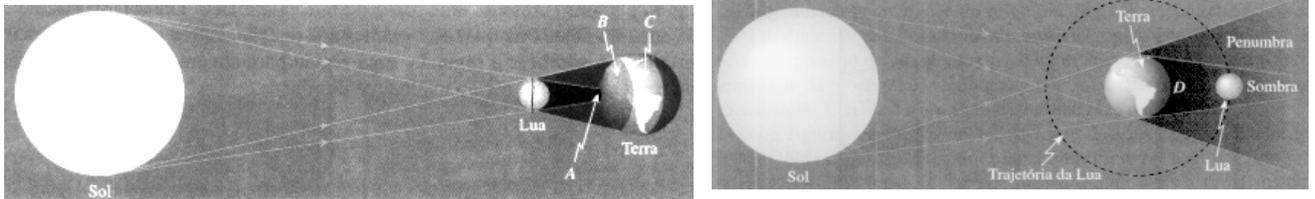
Sombra é uma região do espaço que não recebe a luz direta da fonte.

Penumbra é uma região que recebe apenas parte da luz direta da fonte.



ECLIPSE DO SOL E DA LUA

A palavra eclipse significa "ocultação", total ou parcial, de um astro pela interposição de um outro, entre o astro e o observador, ou entre um astro luminoso e outro iluminado.



Eclipse total do Sol é visualizado quando o observador se encontra numa região de sombra da Lua.

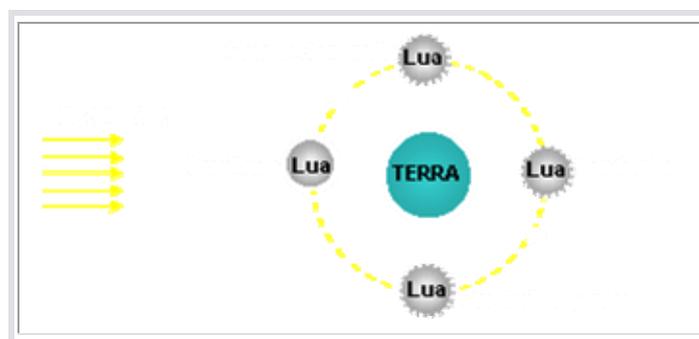
Eclipse parcial do Sol é visualizado quando o observador se encontra numa região de penumbra da Lua.

Eclipse total da Lua é visualizado quando o observador se encontra numa região de sombra da Terra.

Eclipse parcial da Lua é visualizado quando o observador se encontra numa região de penumbra da Terra.

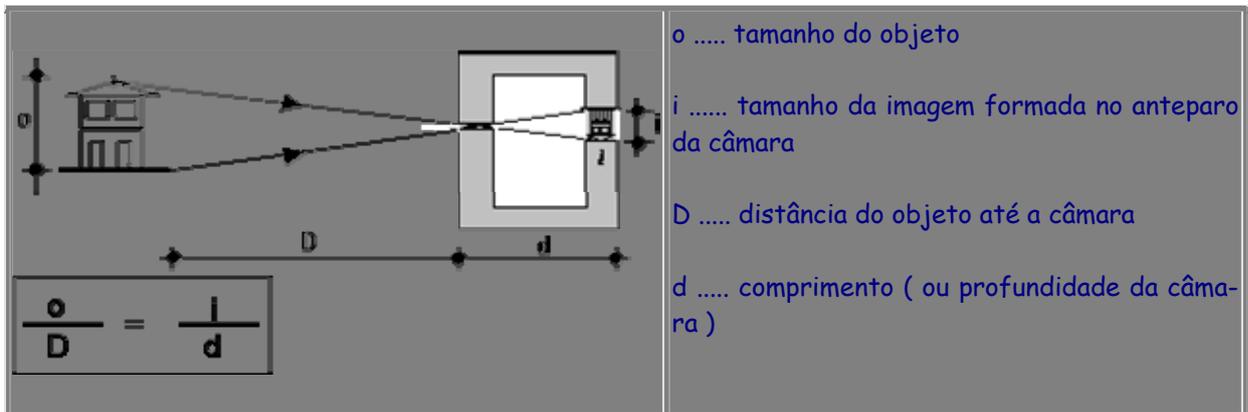
FASES DA LUA

O movimento de translação da Lua ao redor da Terra tem duração aproximada de 27,3 dias e, durante esse movimento, a face da Lua voltada para a Terra pode não coincidir com aquela iluminada pela luz solar. Quando a face da Lua voltada para a Terra é a não-iluminada pelo Sol temos a fase da **lua nova**. A fase da **lua cheia** ocorre quando a face voltada pela Terra é a face iluminada pelo Sol. Na passagem da lua nova para a lua cheia temos a fase do **quarto crescente**, quando apenas um quarto da superfície da Lua é visível, e na passagem da lua cheia para a lua nova, a fase do **quarto minguante**.



CÂMARA ESCURA

Esta câmara é uma aplicação prática do princípio de propagação retilínea da luz. Podemos associar esta câmara a uma máquina fotográfica rudimentar. A câmara possui um pequeno orifício para a entrada da luz que vai incidir num anteparo (onde é formada a imagem do objeto)



Fonte - <http://www.fisicafacil.pro.br/optica.htm> em 20/05/07

3.1.3- Exercícios de fixação

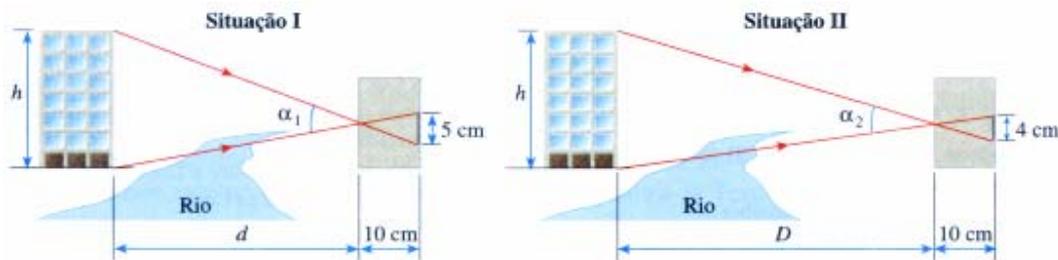
1) Uma onda eletromagnética de frequência igual 300 GHz ($3 \cdot 10^{11}$ Hz) pertence àquela parte do espectro eletromagnético correspondente às chamadas microondas. Ondas com essa frequência têm um comprimento de onda comparável:

- À altura de um ser humano.
- Ao diâmetro da moeda de um real.
- À espessura da moeda de um real.
- Ao diâmetro de um vírus.
- Ao diâmetro de um átomo.

2) Com uma câmara escura de orifício, obtêm-se a partir de um objeto de altura y , colocada a sua frente, uma imagem de altura $\frac{y}{40}$. Se duplicarmos a distância entre objeto e orifício, a nova imagem terá a altura:

- a) $\frac{y}{160}$ b) $\frac{y}{120}$ c) $\frac{y}{80}$ d) $\frac{y}{40}$ e) $\frac{y}{20}$

3) Usando uma câmara escura de orifício de 10cm de profundidade, deseja-se medir a altura de um edifício que fica às margens opostas de um rio. Com a face da caixa que contém o orifício paralelo à face lateral do edifício mede-se cuidadosamente a altura da imagem obtida e verifica-se que tem 5cm (situação I). A seguir afasta-se 15m do prédio e obtém-se outra imagem, desta vez com 4cm de altura (situação II). As figuras seguintes, que estão fora de escala, ilustram todo o processo.



- No esquema, mesmo fora de escala, é possível tirar algumas conclusões. O que acontece com o ângulo de visada (α) quando a câmara se afasta do objeto: aumenta, diminui ou permanece o mesmo?
 - O que acontece com o tamanho real do prédio quando dele nos afastamos?
 - Determine a distância original do prédio (d) até a câmara.
 - Determine a altura (h) do edifício.
- 4) Quanto as radiações infravermelhas, não podemos afirmar que:
- São ondas eletromagnéticas com frequências imediatamente superiores a luz violeta;
 - São ondas eletromagnéticas com frequências imediatamente inferiores a luz vermelha;
 - São emitidas por qualquer objeto a uma determinada temperatura;
 - Sua emissão é tanto mais intensa quanto mais aquecido estiver o corpo;
 - Ao receber as radiações infravermelhas um corpo se aquece e por esse motivo elas são usadas em fisioterapias.
- 5) A sombra de uma pessoa que tem 1,80m de altura mede 40cm. No mesmo instante, ao seu lado, a sombra projetada de um poste mede 0,8m. Se, mais tarde, a sombra do poste diminui 30cm, a sombra da pessoa passará a medir:

4- RADIAÇÃO ÓPTICA

Universidade Federal de Santa Maria
Colégio politécnico - UFSM
Curso Técnico em Geomática - 044.BAS.FIS.03

- **Natureza da luz - O que é a luz?**
 - Teoria corpuscular da luz
 - Teoria ondulatória da luz
 - **Dualidade onda/partícula**
- Teoria corpuscular da luz
- **Em 1672, o físico inglês Isaac Newton (fig. 1.1) apresentou uma teoria conhecida como modelo corpuscular da luz. Nesta teoria a luz era considerada como um feixe de partículas emitidas por uma fonte de luz que atingia o olho estimulando a visão.**
 - **Esta teoria consegue explicar muitos bem alguns fenômenos de propagação da luz .**

Newton publicou muitos trabalhos no campo da ótica e da matemática. Revolucionou a ciência física formulando as três leis básicas da mecânica e a lei da gravitação universal. Newton descobriu também que a luz poderia se dividir em muitas cores, através de um prisma, fenômeno da dispersão da luz (fig. 1.2), e usou esse conceito experimental para analisar a luz.

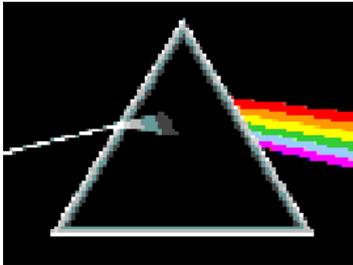


Fig. 1.1 Sir Isaac Newton (1642-1727)

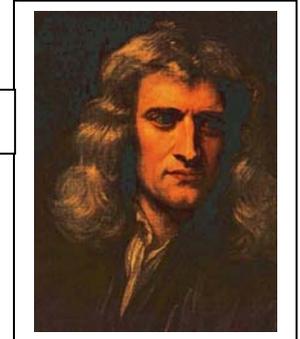


Fig. 1.2 Dispersão da luz através de um prisma

Teoria ondulatória da luz

- Na segunda metade do século XIX, James Clerk Maxwell (fig. 1.3), através da sua teoria de ondas eletromagnéticas, provou que a velocidade com que a onda eletromagnética se propagava no espaço era igual à velocidade da luz, cujo valor é, aproximadamente:
- No século XIX, o cientista francês L. Foucault, medindo a velocidade da luz em diferentes meios (ar/água), verificou que a velocidade da luz era maior no ar do que na água, contradizendo a teoria corpuscular que considerava que a velocidade da luz na água deveria ser maior que no ar (Newton não tinha condições, na época, de medir a velocidade da luz).

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} = 300\,000 \text{ km/s}$$



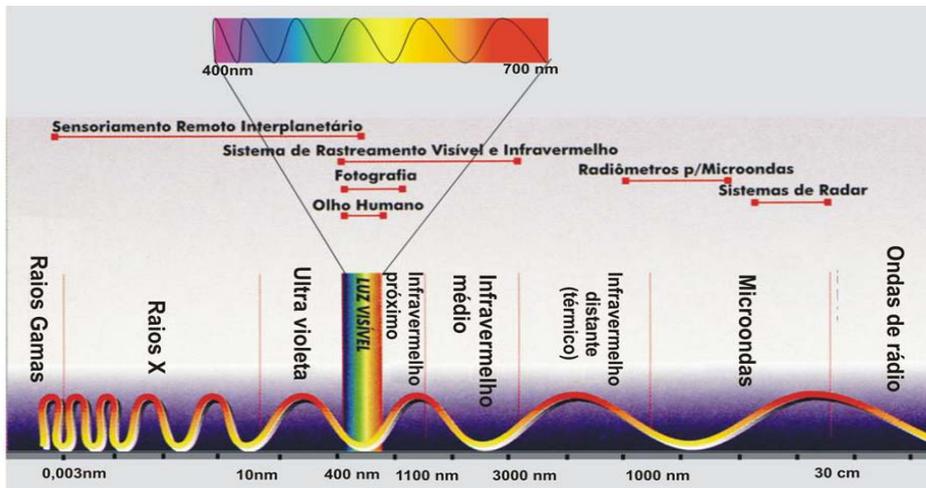
Físico escocês que fez importantes trabalhos em eletricidade e eletromagnetismo. O seu maior trabalho foi a previsão da existência de ondas eletromagnéticas.

Fig. 1.3 James Clerk Maxwell (1831-1879)

- Maxwell estabeleceu teoricamente que:
A luz é uma modalidade de energia radiante que se propaga através de ondas eletromagnéticas.
- Hertz, 15 anos após a descoberta de Maxwell, comprovou experimentalmente a teoria ondulatória, usando um circuito oscilante.
- - Características de uma onda: comprimento de onda (λ) e frequência (f).

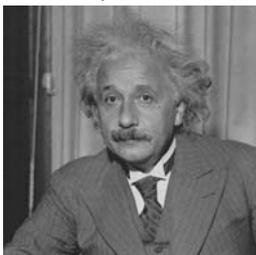
Espectro Eletromagnético

O espectro eletromagnético (conjunto de ondas eletromagnéticas - fig. 1.5) apresenta vários tipos de ondas eletromagnéticas: ondas de rádio, microondas, radiação infravermelha, luz (radiações visíveis), ultravioleta, raios X e raios gama. As ondas diferem entre si pela frequência e se propagam com a mesma velocidade da luz no vácuo.



Dualidade onda/partícula

- Quando parecia que realmente a natureza da luz era onda eletromagnética, essa teoria não conseguia explicar o fenômeno de emissão fotoelétrica, que é a ejeção de elétrons quando a luz incide sobre um condutor.
- Einstein (1905 - fig 1.6) usando a idéia de Planck (1900), mostrou que a energia de um feixe de luz era concentrada em pequenos pacotes de energia, denominados fótons, que explicava o fenômeno da emissão fotoelétrica.



Em 1905 fez a famosa teoria da relatividade, que propunha analisar os movimentos das partículas que apresentavam grandes velocidades para as quais a mecânica Newtoniana não era válida.

Fig. 1.6 - Albert Einstein (1879-1955).
O mais importante físico do século XIX.

A natureza corpuscular da luz foi confirmada por Compton (1911). Verificou que quando um fóton colide com um elétron, eles se comportam como corpos materiais.

A **constante de Planck**, representada por h , é uma constante física usada para descrever o tamanho dos quanta. Tem um papel fundamental na teoria de Mecânica quântica, e tem o seu nome em homenagem a Max Planck, um dos fundadores da Teoria Quântica. Seu valor é de aproximadamente, $h = 6,6260693 \cdot 10^{-34} \text{ j.s}$

ou, com eV como unidade de energia: $h = 4,13566743 \cdot 10^{-15} \text{ eV.s}$

Um dos usos dessa constante é a equação da energia do fóton, dada pela seguinte fórmula: $E = h \cdot \nu$ onde:

E = energia do fóton, denominada *quantum*;
 h = constante de Planck;
 ν = frequência da radiação (letra grega, lê-se "ni").

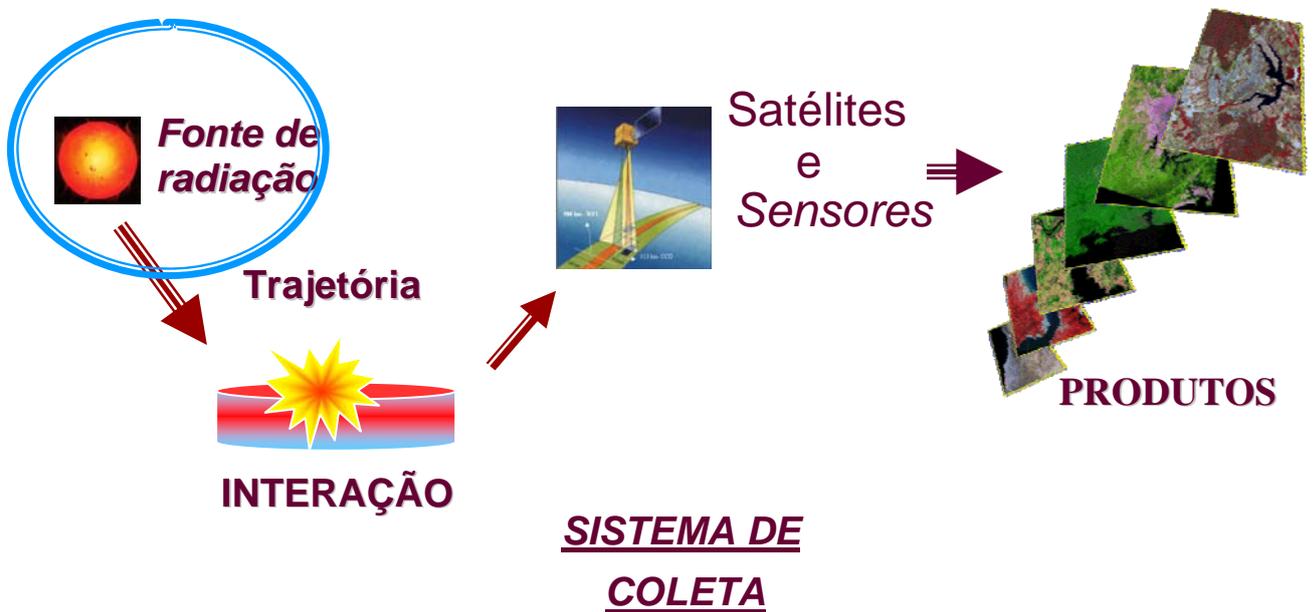
Atualmente se aceita o fato de que:

A luz tem caráter dual:

- os fenômenos de reflexão, refração, interferência, difração e polarização da luz podem ser explicados pela teoria ondulatória

- os de emissão e absorção podem ser explicados pela teoria corpuscular.

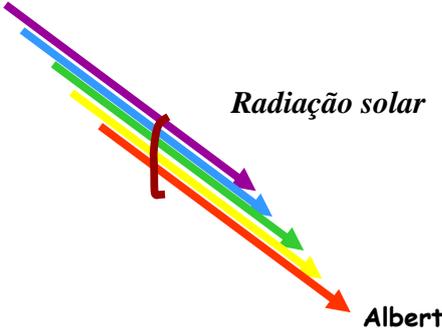
Sensoriamento Remoto



Natureza da REM

Teoria Corpuscular	Teoria ondulatória
--------------------	--------------------

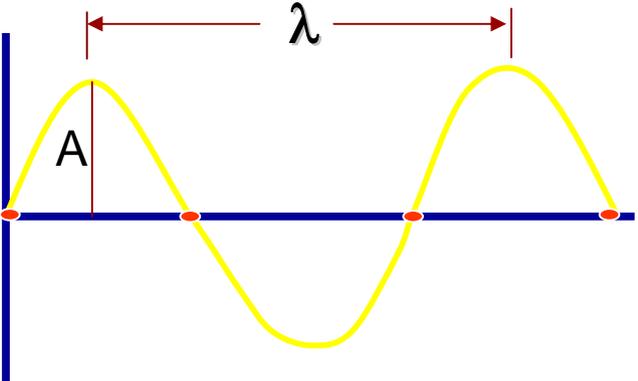
- Albert Einstein (1905)



Radiação solar

Albert

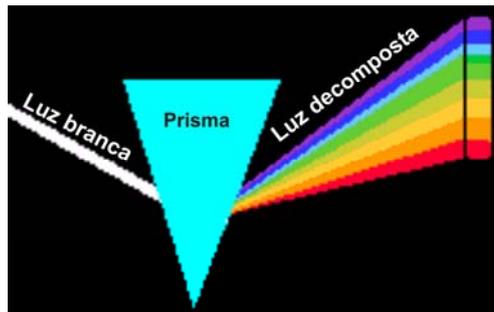
Einstein (1905)
 $C = \lambda \cdot f$
 Onde:
 C = velocidade da radiação
 λ = comprimento de onda
 f = frequência



A é amplitude da onda
 λ é o comprimento da onda

Radiação solar ou luz solar

Albert Einstein
 $E = h f$
 h = (cte Planck)
 f = frequência da radiação

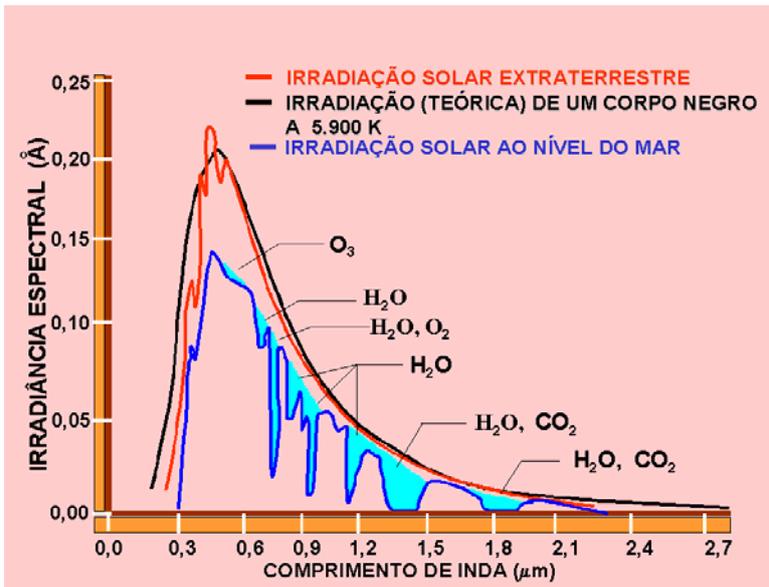


Relação entre (E) e (C)

$$E = h \cdot f \qquad e \qquad c = \lambda \cdot f$$

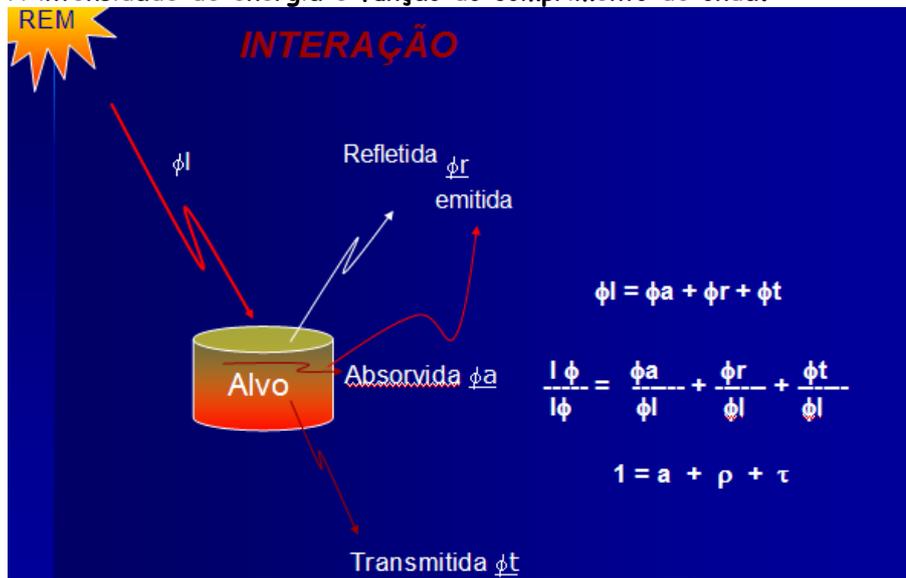
Isolando-se f , nas duas equações, temos: $E = h \cdot \frac{C}{\lambda}$

CONCLUSÃO : cada λ tem uma energia



RESUMO

- O sol é a fonte de energia para os sensores passivos
- A radiação eletromagnética é discreta (quantizada).
(emissão em feixe) quantum
- A intensidade de energia é função do comprimento de onda.



Corpo negro

Em física, um corpo negro é um corpo que absorve toda a radiação que nele incide: nenhuma luz o atravessa nem é refletida. Apesar do nome, corpos negros produzem radiação eletromagnética, tal como luz. Um corpo negro pode ser definido como:

- a) Corpo que absorve toda a radiação que nele incide;

- b) Corpo que, para uma dada temperatura, emite a quantidade máxima possível de radiação térmica.
- c) Sua radiação é isotrópica, ou seja, não depende da direção

4.1-Natureza e propagação da luz

A Luz é um fenômeno que intriga cientistas há muito tempo. Os próprios gregos já haviam indagado a respeito de sua natureza, chegando a duas conclusões, por vezes conflitantes, que alternavam a preferência dos estudiosos. A escola Pitagórica, principalmente com Platão, acreditava que todo objeto visível emitia uma torrente constante de partículas luminosas, que eram captadas por nossos olhos. A oposição disso veio com Aristóteles, que acreditava sair dos nossos olhos uma onda vibratória que atingia objetos e tornava-os visíveis. Tinha-se então duas teorias: Partículas e ondas. As partículas propagavam-se como gotas saindo de uma mangueira, e as ondas, como uma pedra atirada na água. Tratava-se apenas de especulações sobre a natureza e, embora a discussão sobre a teoria de partículas e ondas tenha perdurado até o início do séc. XX, hoje se sabe que tanto Platão quanto Aristóteles estavam certos, ainda que parcialmente.

A primeira descoberta importante surgiu ainda na Grécia com Heron, de Alexandria, que, fazendo experiências com espelhos, descobriu que a luz caminha em linha reta, o que levou à seguinte lei: o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

Dáí até o séc. XVII, o progresso foi lento. O que mais intrigava os cientistas da época era saber se, afinal, a luz era uma partícula ou uma onda.

Foi somente em 1621 que o matemático Wilbord Snell explicou o fenômeno, dizendo que ao penetrar num novo meio, os raios mudam de direção. Mas isso não contradiz a lei formulada por Heron? Snell diz que não, porque a luz continua em linha reta depois de atravessar o novo meio. Snell mediu então o desvio em vários meios como água, ar, vidro, e constatou que o desvio variava de acordo com o meio. A esse fenômeno ele chamou REFRAÇÃO.

O ângulo de refração varia também com o ângulo de incidência. Se o raio incidir num ângulo de 90° , não há desvio nenhum, uma parte é refletida e outra é transmitida na mesma direção.

Em 1678, Christian Huygens sugeriu que o índice de refração é determinado pela velocidade que a luz atravessa o meio. Ele pensava que a luz era um movimento ondulatório, e se estivesse certo, o índice de refração seria maior quanto menor fosse a velocidade com a qual a luz penetrasse no meio. Mas se fosse partícula, ocorreria o posto, ou seja, num meio mais denso, a velocidade seria maior, porque as partículas seriam atraídas pelas moléculas. Mas não havia tecnologia disponível para medir a velocidade da luz com precisão, de maneira que permaneceu a dúvida quanto à natureza do fenômeno luminoso, embora Huygens estivesse certo quanto à refração ser decorrente da alteração de velocidade. Isaac Newton também fez importantes contribuições neste campo, a maioria no campo da cor. A princípio, fazendo um feixe de luz passar por um prisma, percebeu que a luz se decompunha num espectro de cores, passando do alaranjado, amarelo, azul, até o violeta, e que podia recompor em luz branca este espectro à vontade. Assim, descobriu que a luz branca era formada por todas as cores do espectro. Mas, isolando as cores, nada podia fazer para alterar sua natureza. Essa sua teoria incentivou-o a acreditar que tratavam-se de partículas e não de ondas, mas ele próprio não tinha certeza sobre isso.

A vitória da teoria ondulatória foi quase total com o cientista italiano Francesco Grimaldi, contemporâneo de Newton, que, ao estudar a formação de sombras, verificou que elas nunca apre-

sentavam contornos nítidos, chamando este fenômeno de DIFRAÇÃO. Pouco tempo depois, Thomas Young, partindo dos mesmos pressupostos, fez a seguinte experiência: Fez um feixe de luz atravessar uma parede com dois buracos, e a sombra projetada numa segunda parede alternava sombras e luz. Concluiu que, por sua natureza ondulatória, a luz, quando cruzavam as cristas das ondas, mantinham a luz, mas quando cruzavam os vales, permaneciam em sombra. Essa alternância de luz e sombra é chamado Padrão de Interferência, e decorre do esforço e anulação de ondas que chegam em tempos diferentes.

Cabe então definir alguns conceitos: A distância entre uma crista à outra é chamado Comprimento de Onda, e o número de cristas, ou ondas, que passam por um determinado espaço num segundo, é chamado de Frequência. Assim, comprimento de onda \times frequência = velocidade. Em se tratando de luz, a velocidade num dado meio é constante. Assim, quanto maior for o número de ondas por segundo, menor será a distância que cada um terá que percorrer e portanto, seu comprimento será menor. Essas diferenças são percebidas, por exemplo, na cor. Cada cor, tendo uma frequência, tem um comprimento de onda, e é justamente isso que a diferencia.

Graças à experiência de Young é que conhecemos o fenômeno da polarização. Dois cristais, com características moleculares semelhantes, deixarão passar toda a luz, mas, ao girá-los, a luz irá diminuindo até o ponto em que nenhum raio conseguirá ultrapassar o segundo.

Até então, a teoria ondulatória reinava soberana, pois a teoria das partículas não conseguia explicar os fenômenos de interferência e difração. A dúvida sobre a natureza da luz persistiu por causa de uma outra experiência, que já havia sido feita por Newton: Considerando que a passagem da luz através de um prisma, se a luz fosse um fenômeno ondulatório, as diferentes cores obtidas em sua decomposição deveriam chocar-se umas com as outras quando devidamente desviadas da trajetória original, assim como o padrão de interferência de Young. Mas tal fenômeno não era verificado sob nenhuma condição, pois os raios decompostos não sofriam qualquer tipo de alteração da trajetória entre eles próprios. E, embora as evidências sobre a teoria ondulatória reinassem soberanas, ainda persistiam dúvidas insolúveis que eram deixadas muitas vezes de lado como argumento.

Somente no final do séc. XIX é que os cientistas voltaram a perguntar afinal, o que é a luz. O físico teórico inglês James Clerk Maxwell demonstrou que a luz fazia parte de um imenso espectro eletromagnético, e é percebida por nosso olho por ser sensível. Maxwell descobriu ainda que existe um elemento de ligação entre todo o espectro eletromagnético, e este era sua velocidade. No vácuo, todo o espectro viaja a aproximadamente 300.000 km/s, ou $3,00 \times 10^8$ m/s. Desde os comprimentos quilométricos de baixa frequência até os minúsculos comprimentos que só podem ser medidos em frações de milímetros, todos caminham à velocidade da luz.

A teoria ondulatória seria universalmente aceita se, no advento do novo século, novas experiências não tivessem destronado a ondulatória como natureza absoluta da luz.

As experiências do físico Phillip Lenard, em 1900, demonstraram um fenômeno inexplicável: Ao expor uma placa de zinco à luz ultravioleta, esta liberava elétrons (negativos) e a placa adquiria carga positiva. A quantidade de elétrons emitidos por segundo era proporcional à intensidade de luz emitida. Isso foi caracterizado como efeito fotoelétrico, e sua aplicação atual é, principalmente nos aparelhos e câmaras de TV. Se a teoria ondulatória valesse para explicar esse fenômeno, a energia liberada destes elétrons seria também proporcional à intensidade de luz, mas isso não foi verificado, e sim que a energia liberada era inversamente proporcional aos comprimentos de ondas do feixe. Um raio de luz de comprimento pequeno emitia grande quantidade de energia, e vice-versa.

Foi somente em 1905, com Albert Einstein, que o fenômeno foi explicado. Ele propôs que a teoria ondulatória era incompleta, e que a luz poderia ter características de partículas também. Matematicamente, demonstrou que um elétron liberado podia absorver uma partícula radiante, e ela

então daria energia a ele, chamando essa energia de fóton ou quantum de energia. Então, quanto menor o comprimento de onda, mais energia ela poderia liberar. Em 1923, Arthur Compton demonstrou que os fótons tinham energia cinética, e, portanto, massa. *A luz, portanto é ondulatória e corpuscular, predominando por vezes uma, por vezes outra, mas sua constituição é de ambas características.*

Hoje sabemos que a luz é um fenômeno elétrico, ligado à troca de energia entre elétrons. Assim é um determinado átomo possui um determinado número de camadas onde rodeiam os elétrons. Quando estes elétrons recebem um estímulo qualquer, sofrem alterações físicas, somente visíveis através das conseqüências destas alterações. A luz é uma destas conseqüências. Se uma determinada quantidade de energia incidir sobre o elétron, este poderá, dependendo da quantidade de energia, se desprender de sua camada original e passar para outra, mais interna ou mais externa. Quando isto acontece, o elétron libera a energia excedente desta passagem, energia esta chamada fóton. Fóton é, em última análise, a menor unidade daquilo que chamamos luz. Fóton é luz. Na prática, o que acontece é que quando passamos uma corrente elétrica por um filamento de metal, seus elétrons se aquecem, em decorrência do estímulo desta passagem. Como se trata de muita energia, os elétrons do filamento começam a trocar de camada e assim produzem fótons, milhões deles que são liberados dando assim a sensação da luz.

Daí concluímos que:

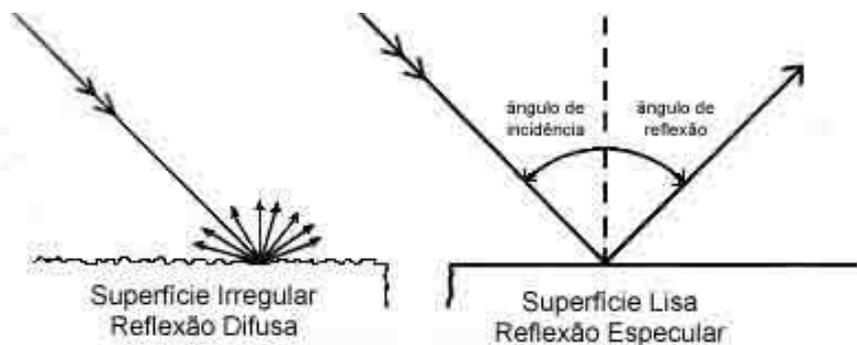
1) A luz visível é apenas uma ínfima parte do espectro eletromagnético.

2) A luz, tendo massa, pode alterar qualitativamente uma estrutura qualquer.

3) A luz segue os seguintes princípios: Ao ser emitida sobre um objeto qualquer, ocorrerá

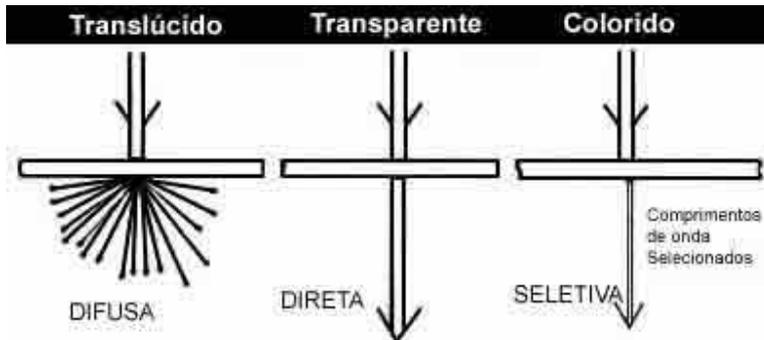
a) Reflexão b) Absorção c) Transmissão d) Refração e) Dispersão

Ocorrerá **reflexão**, se o objeto for opaco, e poderá ser especular ou difusa. Se for especular, o ângulo de incidência será igual ao ângulo de reflexão. Se for difusa, os raios divergirão em várias direções.



Ocorrerá **absorção** em quase todos os casos, principalmente se o objeto for preto, e aí todos os comprimentos de onda serão absorvidos, e transformados em calor.

Ocorrerá **transmissão** num meio translúcido ou transparente. Se o meio tiver uma cor, todas as demais serão barradas por ele, só deixando passar a frequência correspondente à mesma cor do meio.



Os objetos, ao refletirem ou transmitirem a luz solar, não só o fazem em quantidade, mas também em qualidade. Significa que, de acordo com suas características físico-químicas, refletem ou transmitem determinados comprimentos de onda, adquirindo assim cores próprias.

Assim, um objeto que reflita ou transmita uniformemente todos os comprimentos de onda e examinado à luz solar aparecerá como branco (ou cinza, se absorver ou transmitir uniformemente uma parte da luz total incidente). Uma maçã é vermelha porque reflete apenas a porção de luz vermelha que sobre ela incide, absorvendo as demais. Um pedaço de veludo preto absorverá todos os comprimentos de onda da luz incidente sobre si. Um vidro transparente incolor transmite uniformemente todos os comprimentos de onda que sobre ele incidem, ao passo que um verde somente deixa passar os comprimentos de onda correspondentes ao verde e absorve os demais. Tais conceitos de absorção, reflexão e transmissão são importantes para o bom entendimento da ação da luz e formação das cores. Em especial serão úteis para o estudo do emprego dos filtros, tanto na fotografia a cores como em B/P.

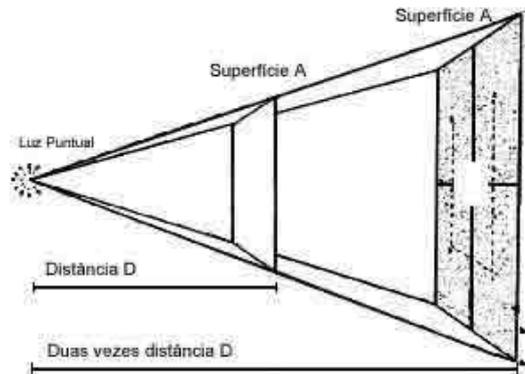
Ocorrerá **refração** se a luz incidir em ângulo sobre uma superfície transmissora. Como a superfície transmissora é um meio onde a luz altera sua velocidade, ocorre a refração sob a seguinte fórmula:

$\text{Sen } A1 / \text{Sen } A2 = \text{Constante}$, que é $v1/v2$, ou seja, a velocidade de cada meio. Considerando $n = \text{velocidade da luz no vácuo} / \text{velocidade da luz no meio}$, temos que n é o índice de refração, se aplicado à fórmula $n1 \text{Sen } A1 = n2 \text{Sen } A2$.

Portanto, quanto maior for o ângulo de incidência, maior será o ângulo de reflexão. Mas existe um limite para refração, que é o ângulo de 90° formado por seus senos. Ultrapassando esse limite, todo o feixe de luz será refletido.

Dispersão ocorre em todos os casos com exceção do raio laser, pois a luz saída de uma fonte tende sempre a se dispersar em todas as direções, o que explica o fenômeno das sombras não definidas.

Quanto maior for a distância de uma fonte de luz ao seu objeto, menor será a luz por este recebido, na razão da quarta parte cada vez que se duplica a distância. Ou seja, Uma intensidade de luz determinada por uma distância, é reduzida à quarta parte cada vez que se dobra a distância. Esta lei é conhecida como "**Lei do inverso dos quadrados da distância**".



4.1- A cor de um corpo por reflexão

A luz branca (luz policromática emitida pelo sol ou por uma lâmpada incandescente) é constituída por uma infinidade de luzes monocromáticas, as quais, podem ser divididas em sete cores principais: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil, violeta. Essas cores compõem o espectro de luz visível e estão compreendidas entre as frequências $4 \cdot 10^{14}$ Hz para o vermelho e $8 \cdot 10^{14}$ Hz para o violeta, ambos os valores aproximados. Os objetos não se comportam todos do mesmo modo em relação as radiações refletidas, quando iluminados por luz branca. Alguns podem refletir difusamente todas as radiações componentes dessa luz; outros refletem somente algumas; e há também objetos que podem absorver todas as componentes da luz branca.

Para nós, o importante é a componente (ou componentes) refletida difusamente pelo objeto. Se um objeto iluminado pela luz branca solar refletir difusamente apenas a componente verde, ele será visto por nós na cor verde. Se refletir somente o azul, será visto na cor azul, e assim por diante. Corpo branco é que reflete difusamente todas as cores componentes da luz branca; corpo negro, ao contrário é o que absorve todas as cores que nele incidem.

Vemos assim que nossa percepção de cores depende de vários fatores, como a fonte de luz usada, a luz refletida difusamente, e também a nossa sensibilidade visual em relação a luz que recebemos

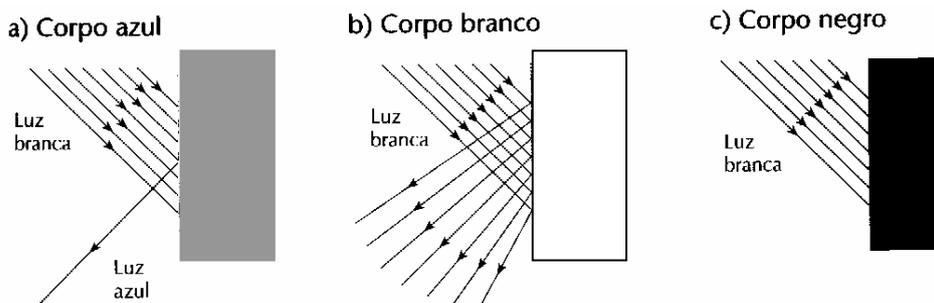


Figura 3 As cores dos corpos são determinadas pela luz refletida difusamente por eles.

4.2 - Fontes de radiação óptica

A radiação óptica proveniente de um objeto tem duas origens possíveis. Uma, a emissão, é a atividade interna dos átomos que constituem o objeto. Energias correspondentes aos comprimentos de onda do espectro óptico envolvem tipicamente transições de elétrons no átomo.

À medida que esses elétrons mudam seus níveis de energia, eles absorvem e/ou emitem energia na forma de radiação eletromagnética (REM). Os elétrons podem ser estimulados a fazer transições por meio de energia interna, reações químicas ou fontes externas de energia, como campos ele-

tromagnéticos, por exemplo. A intensidade e os comprimentos de onda da radiação emitida dependem da natureza da estimulação.

A segunda fonte de radiação a partir de um objeto é a reflexão ou a transmissão de fontes riantes no ambiente em que se encontra o objeto. A reflexão pode ocorrer em função de um simples espalhamento, ou pode envolver a absorção seguida de reemissão de comprimentos de ondas selecionados. Um comprimento de onda transmitido e aquele que passa através do objeto.

4.3 - O espectro óptico

A luz visível é apenas umas das muitas formas de *radiação eletromagnéticas* (REM). Outras formas familiares são as ondas de rádio, raios-ultravioletas, raios-X e o calor. Todos esses tipos de REM são similares e são irradiadas segundo a Teoria Ondulatória.

Conforme mostra a figura, essa teoria nos ensina que a REM se propaga segundo uma senoidal harmônica e à velocidade da luz (c). A distância entre dois picos de onda determina o comprimento de onda (λ) da REM, enquanto o número de picos a passar num determinado ponto fixo no espaço, por unidade de tempo, determina a frequência (f) dessa mesma REM.

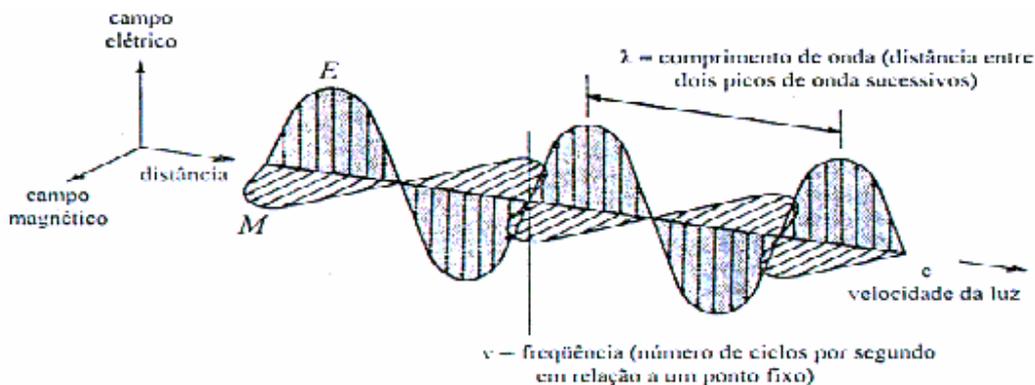


Gráfico de propagação da luz, segundo a Teoria Ondulatória.

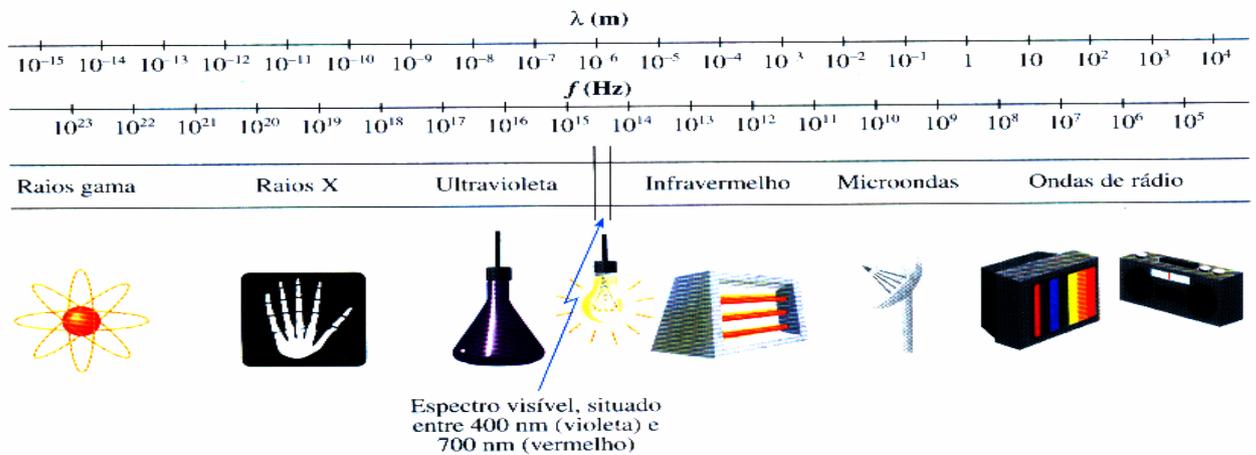
FONTE: Adaptada de Lillesand e Kiefer (1994), p. 4.

4.4 - Espectro Eletromagnético

O conjunto de todas as radiações e a ordenação destas radiações em função do comprimento de onda e da frequência desde os raios cósmicos até as ondas de rádio e TV, formam o espectro eletromagnético.

4.3.1- Classificação das ondas eletromagnéticas

**Classificação das ondas eletromagnéticas
Segundo o comprimento de onda (λ) e a frequência (f)**



4.3.2- Tabela de propagação de ondas e efeitos da atmosfera terrestre

COMPRIMENTO DE ONDA	NOME DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS
Até 0,001A°	Raios cósmicos
0,001 A° - 0,01A°	Raios gama
0,01 A° - 100A°	Raios-X
100A° - 4000A°	Ultravioleta
4000 A° - 7000A°	Luz visível
7000 A° - 100μ	Infravermelho
100μ - 100cm	Ondas de radar e microondas
1m - 1km	Ondas hertzianas (Ondas de Rádio)

A (angstrom)	$1A = 10^{-8} \text{ cm} = 10^{-10} \text{ m}$
μ (micron)	$1\mu = 10^{-3} \text{ mm} = 10^{-6} \text{ m}$

Uma vez que a velocidade da luz é constante no meio em que se desloca ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$, no vácuo), nota-se pela equação: $c = v \cdot \lambda$ que, para qualquer que seja a REM considerada, a frequência e o comprimento de onda serão sempre inversamente proporcionais. Em Sensoriamento Remoto (SR), a forma mais comum para se categorizar a REM, ao longo do Espectro Eletromagnético (EEM), e através do comprimento de onda. Entretanto, a partir das microondas, o emprego da frequência torna-se mais usual.

Embora as características da REM sejam mais facilmente entendidas através da Teoria Ondulatória, uma outra teoria, a teoria quântica, oferece outras abordagens para explicar como a energia eletromagnética interage com a matéria. Segundo essa teoria, a REM é composta de partículas denominadas *fótons*, cuja energia é discretizada em *quanta*. A energia de um *quantum* e dada por:

Onde:

Q = energia de um quantum, em Joules (J)

h = constante de Plank, $6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

$$Q = h \cdot f \quad (\text{Equ.1})$$

$$Q = \frac{hc}{\lambda} \quad (\text{Equ.2})$$

f = frequência, em Hertz (Hz)

Note-se, portanto, que a energia de um quantum é inversamente proporcional ao seu comprimento de onda. Ou seja, quanto maior for o comprimento de onda, menor será a energia nele contida. Essa asserção tem implicações importantes para o SR, uma vez que as radiações emitidas que possuem comprimentos de onda maiores, como emissões na faixa das microondas por objetos, ou feições, da superfície terrestre, são mais difíceis de detectar do que aquelas emitidas em comprimento de onda menores, como no infravermelho termal. Significa dizer que, de maneira geral, sistemas operando em comprimentos de onda maiores necessitam "enxergar" áreas maiores para obter um sinal detectável.

Embora determinadas faixas do EEM tenham sido "batizadas", por conveniência, com termos tais como *ultravioleta*, *infravermelho*, *microondas* etc, não há, no EEM, uma separação clara entre essas faixas. Na verdade, estes termos foram sendo atribuídos muito mais em função da maneira utilizada para perceber a REM, do que por quaisquer diferenças inerentes às características dos diversos comprimentos de onda.

Pode-se notar ainda na Figura anterior, que o EEM estende-se num contínuo caracterizado por mudanças de magnitudes da ordem de várias potências de 10. Assim sendo, o uso de representações logarítmicas em gráficos é bastante comum. Dessa forma, tendo uma amplitude de apenas $0,3 \mu\text{m}$, a porção relativa ao Espectro Visível, nele representada, é extremamente pequena e é dividida, uma vez mais por conveniência, em três faixas, que são as cores primárias. A cor azul ocorre entre $0,4$ e $0,5 \mu\text{m}$, a verde entre $0,5$ e $0,6 \mu\text{m}$ e a vermelha entre $0,6$ e $0,7 \mu\text{m}$. Já fora do Espectro Visível, a radiação ultravioleta avizinha-se imediatamente antes da azul, enquanto a radiação infravermelha, situada imediatamente após a vermelha, também pode, a exemplo das cores primárias, ser dividida em três faixas. O infravermelho próximo, de $0,7$ a $1,3 \mu\text{m}$, o infravermelho médio, de $1,3$ a $3 \mu\text{m}$ e o infravermelho termal ou distante, além de $3 \mu\text{m}$. Com comprimentos de onda bem maiores, a faixa das microondas estende-se de 1 mm a 1 m . Os sistemas mais comuns de SR operam em uma ou mais porções das faixas que se estendem do visível até as microondas.

1 - A unidade mais freqüente utilizada em SR para exprimir comprimentos de onda é o micrão - μm , que equivale 10^{-6} m , porém utiliza-se também o angstron (A^0) que equivale a 10^{-8} cm ou 10^{-10} m .

2 - Parte do EEM que contém a radiação que o olho humano é capaz de detectar (aproximadamente de $0,4$ a $0,7 \mu\text{m}$). Pode-se notar ainda na Figura anterior, que o EEM estende-se num contínuo caracterizado por mudanças de magnitudes da ordem de várias potências de 10. Assim sendo, o uso de representações logarítmicas em gráficos é bastante comum. Dessa forma, tendo uma amplitude de apenas $0,3 \mu\text{m}$, a porção relativa ao Espectro Visível, nele representada, é extremamente pequena e é dividida, uma vez mais por conveniência, em três faixas, que são as cores primárias. A cor azul ocorre entre $0,4$ e $0,5 \mu\text{m}$, a verde entre $0,5$ e $0,6 \mu\text{m}$ e a vermelha entre $0,6$ e $0,7 \mu\text{m}$. Já fora do Espectro Visível, a radiação ultravioleta avizinha-se imediatamente antes da azul, enquanto a radiação infravermelha, situada imediatamente após a vermelha, também pode, a exemplo das cores primárias, ser dividida em três faixas. O infravermelho próximo, de $0,7$ a $1,3 \mu\text{m}$, o infravermelho médio, de $1,3$ a $3 \mu\text{m}$ e o infravermelho termal ou distante, além de $3 \mu\text{m}$. Com comprimentos de onda bem maiores, a faixa das microondas estende-se de 1 mm a 1 m . Os sistemas mais comuns de SR operam em uma ou mais porções das faixas que se estendem do visível até as microondas.

Obs:

1 - A unidade mais freqüente utilizada em SR para exprimir comprimentos de onda e o micrón (μm) que equivale 10^{-6} m, porém utiliza-se também o angstron (A^0) que equivale a 10^{-8} cm ou 10^{-10} m.

2 - Parte do EEM que contém a radiação que o olho humano é capaz de detectar (aproximadamente de 0,4 a 0,7 μm).

4.4 - Grandezas de radiação óptica

Da definição de Sensoriamento Remoto, depreende-se que a essência dessa tecnologia é a detecção das alterações sofridas pela REM na interação desta com a superfície terrestre.

Para se discutir a radiação óptica em termos quantitativos, torna-se necessário definir um sistema de grandezas da radiação (grandezas radiométricas). As definições e unidades utilizadas, nesta apostila, estão de acordo com o Sistema Internacional de Medidas (SI).

Outro conjunto de grandezas, conhecidas como fotométricas, é definido por causa do seu uso na caracterização de alguns dispositivos eletro-ópticos disponível comercialmente. Entretanto, grandezas fotométricas são baseadas na resposta espectral de um observador jovem padrão. Em outras palavras, as grandezas fotométricas são ponderadas para a curva de resposta espectral do olho humano considerado padrão.

Essa restrição provoca dois grandes problemas quando grandezas fotométricas são utilizadas para descrever dispositivos eletro-ópticos. Primeiro, o conceito de "observador padrão" trás consigo incertezas na quantificação das medidas. Segundo, vários dispositivos eletro-ópticos atuam numa faixa mais abrangente que aquela utilizada pelo olho humano. Não faz sentido, por exemplo, caracterizar um sensor infravermelho, utilizando-se grandezas fotométricas.

Grandezas radiométricas, por outro lado, provém uma caracterização precisa de todas as aplicações eletro-óptica, incluindo as respostas visuais do olho humano. Para caracteriza-las em termos de grandezas radiométricas, basta a inclusão da curva de resposta espectral adequada. Embora as grandezas fotométricas sejam apresentadas, a título de comparação, este tópico enfatizara as grandezas radiométricas.

Definições e relações entre as várias grandezas radiométricas são apresentadas nas tabelas a seguir. Elas apresentam de forma resumida, essas grandezas e os seus correspondentes fotométricos, além de descrições e símbolos formalmente adotados.

4.4.1 - A Energia Radiante e sua dependência do Tempo e do Espaço

a) Energia radiante

A grandeza fundamental da radiação óptica é a energia radiante. É caracterizada pelo símbolo Q e é dada em joules (J). É a partir dessa grandeza fundamental que derivam todas as outras grandezas radiométricas usadas para descrever a radiação óptica.

A energia radiante geralmente apresenta uma complexa dependência de inúmeras variáveis, incluindo tempo, comprimento de onda e coordenadas espaciais. Além disso, se a fonte da energia radiante é considerada, então Q possui também dependência das propriedades da matéria, sua temperatura, área superficial e orientação relativa. A dependência dessas variável, forma a base para a grandezas radiométricas aqui definidas.

b) Fluxo Radiante

O fluxo radiante é definido como a derivada parcial da energia radiante em função do tempo. É caracterizada pelo símbolo ϕ e é dada em watts (W)

$$\phi = \frac{dQ}{dt} \quad (W) \text{ Equ. 3}$$

c) Densidade radiante

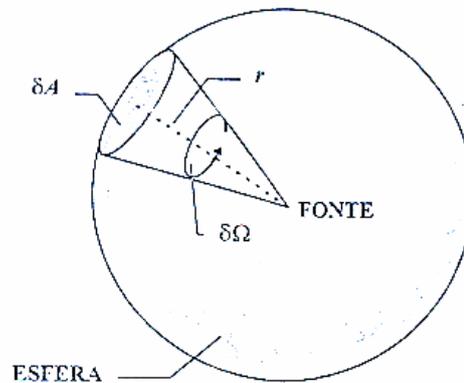
A densidade radiante é a concentração de energia por unidade de volume (derivada parcial da energia Q , em função do volume V). É caracterizada pelo símbolo W e é dada em joules por metro cúbico (J/m^3).

$$W = \frac{dQ}{dV} \quad (J/m^3) \text{ Equ. 4}$$

d) Ângulo sólido

Uma superfície com área " ΔA ", situada a uma distância " r " de uma fonte pontual, define com esta uma direção é um ângulo sólido, caracterizado pela letra Ω . Sua unidade é o esferorradiano⁵ ou esterradiano (sr)

$$1 \text{sr} = \delta\Omega \text{ (unidade)} = \frac{\delta A}{r^2} \Rightarrow \Omega \text{ (esfera)} = \frac{A}{r^2} = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi \text{ (sr)} \quad (\text{Equ. 5})$$



e) Intensidade Radiante

É o fluxo por unidade de ângulo sólido irradiado numa certa direção a partir de uma fonte pontual. É caracterizada pelo símbolo I e é dada em watts por esferorradiano (w/sr).

$$I = \frac{\delta\phi}{\delta\Omega} = \frac{\delta^2 Q}{\delta t \delta\Omega} \quad (W / \text{sr}) \quad (\text{Equ. 6})$$

4.4.2 - Grandezas da radiação relacionadas à área

a) **Exitância Radiante (Emitância Radiante - M)** . É o termo usado para definir a intensidade de fluxo radiante emitida por uma superfície. É dado pelo fluxo radiante por unidade de área da superfície considerada (W/m^2).

b) **Irradiância (E)**. Quando o fluxo radiante incide na superfície, ele é chamado *irradiância*. Da mesma forma que a *exitância*, é dado em watts por metro quadrado (w/m^2), a equação 7 define, ao mesmo tempo, *exitância* e *irradiância*. A diferença entre essas grandezas está no fluxo radiante emitido por uma superfície ou incidente sobre ela.

$$M, E = \frac{\delta\Phi}{\delta A} = \frac{\delta^2 Q}{\delta t \delta A} \quad (W/m^2) \quad (\text{Equ.7})$$

c) **Radiância**. É o fluxo radiante numa certa direção, a partir de uma superfície normalizada com respeito à área da superfície e unidade de ângulo sólido. Para um ângulo de visada normal à superfície emissora, conforme mostrado na Figura, a radiância, caracterizada pelo símbolo L , é dada por:

$$L = \frac{\delta I}{\delta A} = \frac{\delta^2 Q}{\delta \Omega \delta A} = \frac{\delta^3 Q}{\delta r \delta A} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{sr) (Equ.8)}$$

Para direções outras que não a normal a superfície, vale ressaltar o fato de que a superfície aparente é proporcional ao $\cos \theta$ e inversamente proporcional a θ , onde θ é o ângulo formado entre a normal a superfície e a linha de visada, que estabelece a superfície aparente

4.4.3 - Grandezas radiométricas Relacionadas à Natureza do Material

As propriedades básicas na interação dos materiais com a radiação óptica são a emissividade (ϵ), refletância (P), absorvância (τ) e a transmitância (τ). Variações dessas grandezas básicas são encontradas em certas áreas específicas de eletro-óptica, como coeficiente de retroespalhamento e coeficiente de absorção, utilizados na caracterização das propriedades de propagação óptica da atmosfera.

A energia radiante incidente sobre a superfície de dado material pode ser absorvida, refletida, ou transmitida através do material. O Princípio de Conservação de Energia requer que a soma das energias absorvida, refletida e transmitida seja igual a energia incidente. Entretanto, como resultado da energia absorvida pelo material, há um incremento no estado energético interno desse material. Uma vez que, em equilíbrio, qualquer material possui uma energia interna constante, conclui-se que deve haver outro mecanismo pelo qual parte da energia é perdida pelo mesmo material da razão em que é absorvida.

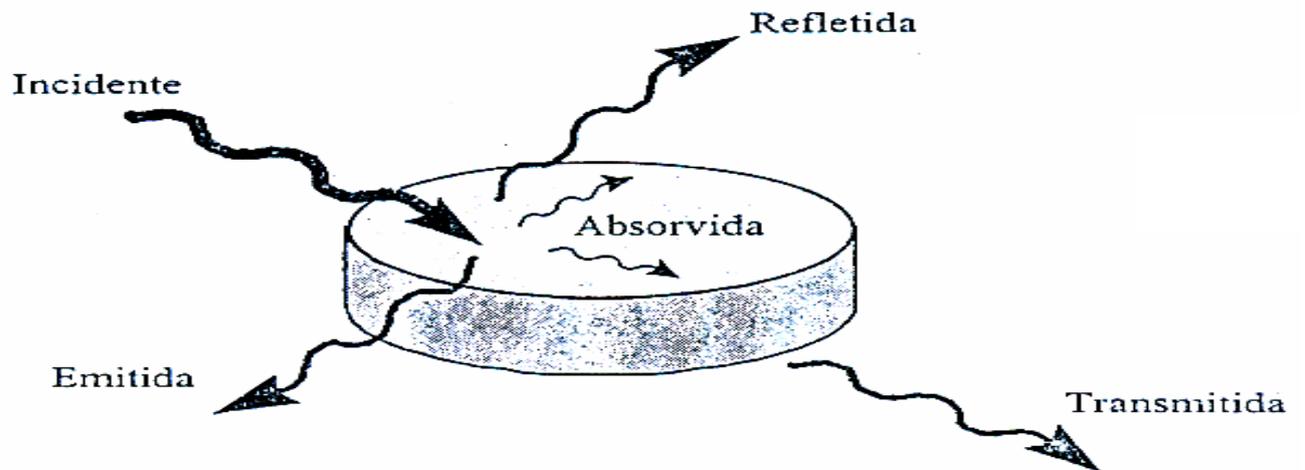
Em 1860, Kirchhoff demonstrou que radiadores térmicos devem emitir e absorver radiação na mesma proporção, independente do comprimento da onda e da natureza da superfície do radiador (**Lei de Kirchhoff**). Assim, bons radiadores são também bons absorvedores. Materiais que tenham alta refletância ou transmitância, por outro lado, são maus emissores ou absorvedores.

Todos os materiais emitem energia, por causa de seus estados internos de energia. Da figura a seguir, podem ser extraídas as seguintes relações:

$$Q_{\text{incidente}} = Q_{\text{absorvida}} + Q_{\text{transmitida}} + Q_{\text{refletida}}$$

$$Q_{\text{emitida}} = Q_{\text{absorvida}} \text{ (em equilíbrio)}$$

As definições apresentadas a seguir são dadas em termos relativos de grandezas radiométricas. Mais especificamente, são dadas em termos de energia radiante (Q). Entretanto, são aplicáveis a relações de fluxo radiante (Φ), exitância radiante (M), irradiância (E), intensidade radiante (I), bem como radiância (L).



a) Absortância

A absorptância é definida como a razão entre a energia radiante absorvida e a energia radiante incidente.

$$\alpha = \frac{Q_{\text{absorvida}}}{Q_{\text{incidente}}} \quad (\text{adimensional})$$

b) Reflectância

A reflectância é definida como a razão entre a energia radiante refletida e a energia radiante incidente.

$$\rho = \frac{Q_{\text{refletida}}}{Q_{\text{incidente}}} \quad (\text{adimensional})$$

c) Transmitância

A transmitância é definida como a razão entre a energia radiante transmitida e a energia radiante incidente.

$$\tau = \frac{Q_{\text{transmitida}}}{Q_{\text{incidente}}} \quad (\text{adimensional})$$

6 - Corpo negro é a expressão utilizada para definir um radiador hipotético ideal que absorve e reemite completamente toda a energia nele incidente. Objetos reais apenas se aproximam deste ideal teórico.

d) Emissividade

A emissividade é definida como a razão entre a energia radiante emitida pelo material considerado e a energia radiante emitida por um corpo negro² à mesma temperatura.

$$\varepsilon = \frac{Q_{CR}}{Q_{CN}} \quad (\text{adimensional})$$

Assim sendo, para qualquer material que seja considerado um radiador térmico, temos:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad \alpha = \varepsilon$$

4.4.4 - Grandezas Radiométricas Espectrais

Todas as grandezas radiométricas já definidas dependem, em geral, do comprimento de onda da radiação óptica. Dessa forma, cada grandeza apresenta uma dependência funcional do comprimento da onda. Essa dependência do comprimento de onda é especificada por meio do acréscimo do termo "espectral" à frente de cada grandeza empregada (por exemplo, densidade de fluxo radiante espectral). Grandezas radiométricas espectrais são identificadas pela adição do símbolo " λ " subscrito aos símbolos definidos para cada grandeza e do termo "por micron" às unidades. O micron (μm) é usado para medir o comprimento de onda porque é uma unidade conveniente para a maioria das aplicações eletro-óptica. O nanômetro é outra unidade conveniente para comprimentos de onda ópticos e poderá ser visto em muitas aplicações.

4.4.5 - Grandezas Radiométricas, Fotométricas e Quântica

As grandezas radiométricas foram definidas, até aqui, no sistema de unidades MKS. Na Seção 2.2, foi mostrado que fótons têm sua energia dada por hc/λ , donde se conclui que grandezas radiométricas espectrais podem ser expressas em termos de fluxo de fótons (fótons/s). Essa alternativa para grandezas radiométricas é útil na avaliação de sistemas eletro-ópticos, nos quais efeitos quânticos são importantes. Por exemplo, vários tipos de ruído em detectores quânticos são descritos em termos de fluxo de fótons. Uma prática comum para se distinguir representações de fluxo de fótons de grandezas radiométricas é a utilização de um "e" subscrito em cada um dos símbolos previamente definidos.

4.5 - Características De Fontes De Radiação Óptica

Um fator fundamental para qualquer sistema eletro-óptico é a radiação com a qual esse sistema interage. Para melhor entender e quantificar o desempenho de um sistema desses é necessário entender, primeiramente, a natureza da radiação óptica. Utilizando as grandezas radiométricas definidas há pouco é possível observar os vários tipos de fontes de radiação óptica e caracterizar suas medições.

Fontes de radiação óptica podem ser classificadas genericamente em três tipos, de acordo com o comprimento da onda presente na radiação. Os tipos são os seguintes:

1. Discreto;
2. Banda estreita;
3. Banda larga.

Esses três tipos são ilustrados graficamente na figura 4.5, que mostra o fluxo radiante em função do comprimento da onda.

A fonte discreta é caracterizada por energia radiante concentrada em um ou poucos comprimentos de ondas individuais (vide figura 4.5 a). O laser é o melhor exemplo de uma fonte discreta.

Fontes de banda estreita, como os LED ("Light-Emitting Diodes"), tem a maior parte de sua energia radiante confinada a uma faixa relativamente curta de comprimentos de onda (vide figura 4.5 b). A distribuição é considerada como sendo tipicamente contínua ao longo da faixa, em contraste aos comprimentos de onda individual de uma fonte discreta.

Fontes de banda larga incluem essencialmente todas as outras fontes de radiação óptica. Uma subclasse de fonte de banda larga, o radiador de corpo negro, será examinada em detalhes a seguir. Ele irradia em todos os comprimentos de onda, de zero a infinito, com uma distribuição particular que é função do comprimento de onda e tem um formato fixo para uma dada temperatura de fonte.

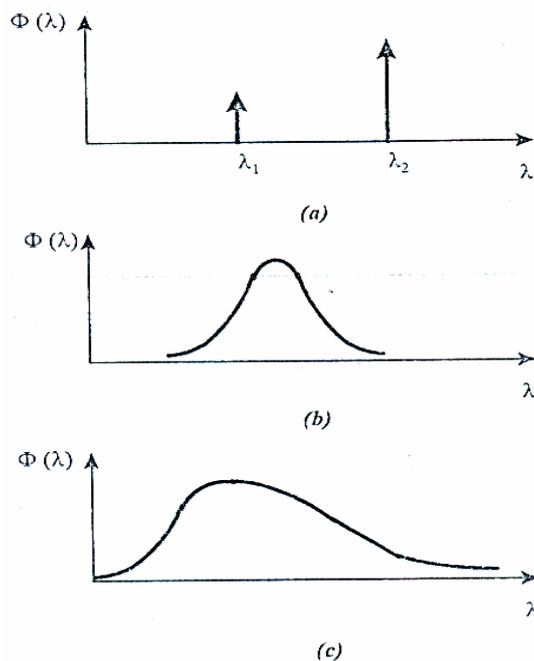


Figura 4.5 - Tipos de fontes de radiação óptica. (a) Monocromática Discreta. (b) Espectralmente Seletiva - banda estreita. (c) Banda Larga.

4.5.1 - Leis da Radiação de Corpo Negro

O sol é a mais óbvia fonte de energia para SR. Entretanto, toda matéria, cuja temperatura exceda o Zero Absoluto (0K, ou $-273^\circ C$), emite radiação continuamente. Assim sendo, todos os objetos dispostos na superfície terrestre são também fonte de radiação, embora de magnitude e composição espectral consideravelmente distintas da radiação solar.

A intensidade espectral da radiação depende primariamente da temperatura do objeto e das propriedades radiantes do material de que esse objeto é feito (em particular, a emissividade espectral do material). Já foi mencionado, no corpo desse trabalho, que absorvância e emissividade são iguais para um mesmo objeto. Assim sendo, um objeto com alta emissividade deve possuir, igualmente, uma alta absorvância. Portanto, nunca é demais lembrar a Lei de Kirchhoff, segundo a qual um bom emissor é também um bom absorvedor.

Pode-se definir um absorvedor perfeito como sendo aquele que absorve toda a radiação incidente sobre ele. Esse objeto será, obrigatoriamente, um emissor perfeito. Um corpo com essas ca-

racterísticas é chamado de *corpo negro* e possui emissividade e absorptância igual a 1 em todos os comprimentos da onda, de zero a infinito. Um absorvedor-emissor não tão perfeito, mas que possua uma absorptância-emissividade constante e menor que a unidade em todos os comprimentos de onda é chamado de *corpo cinza*.

Uma definição mais formal do radiador de corpo negro é "um radiador hipotético (emissividade = absorptância = 1; reflectância = transmitância = 0) que emite isotrópica e aleatoriamente energia radiante numa distribuição contínua de comprimentos de onda que varia de zero a infinito. A existância radiante, função da temperatura e do comprimento de onda, é dada pela Lei de Distribuição de Planck".

4.5.2- Tabela com as Definições De Grandezas Radiométricas

Grandeza Radiométrica	Simb.	Equação	Unidade De Medida	Conceito
Energia radiante	Q		Joule(J); erg (erg); e Kilowatt-hora (KWh)	Energia transmitida em forma de ondas eletromagnéticas
Fluxo Radiante	ϕ	$\frac{\delta Q}{\delta t}$	W Erg/s	Taxa de variação de energia radiante por unidade de tempo
Densidade Radiante	ω	$\frac{\delta Q}{\delta V}$	J/m ³ Erg/cm ³	Taxa de variação de energia radiante por unidade volumétrica
Intensidade Radiante	I	$\frac{\delta \phi}{\delta \Omega}$	Watt por esferorradiano (W/sr)	Fluxo deixando uma fonte por unidade de ângulo sólido numa determinada direção
Exitancia	M	$\frac{\delta \phi}{\delta A}$	W/m ² W/cm ²	Fluxo deixando uma superfície por unidade de área.
Irradiancia	E	$\frac{\delta \phi}{\delta A}$	W/m ² W/cm ²	Fluxo incidente sobre uma superfície por unidade de área.
Radiancia	L	$\frac{\delta^2 \Phi}{\delta \Omega (\delta A \cos \theta)}$ = $\frac{\delta I}{(\delta A \cos \theta)}$	W/srm ² W/scrm ²	Intensidade radiante por unidade de área normal a fonte numa dada direção
Emissividade	ε	$\frac{M_{cr}}{M_{cn}}$	adimensional	Razão entre a exitancia de um material e a exitancia de um corpo negro a mesma temperatura
Absortancia	α	$\frac{\Phi_a}{\Phi_i}$	adimensional	Razão entre o fluxo absorvido e o fluxo incidente numa superfície

Reflectância	ρ	$\frac{\Phi_r}{\Phi_i}$	adimensional	Razão entre o fluxo refletido e o fluxo incidente numa superfície
Transmitância	τ	$\frac{\Phi_t}{\Phi_i}$	adimensional	Razão entre o fluxo transmitido e o fluxo incidente numa superfície

4.5.3- Tabela com Definições De Grandezas Fotométricas

GRANDEZA FOTOMETRICA	Simb.	EQUACAO	UNIDADE DE MEDIDA	CONCEITO
Energia luminosa (quantidade de luz)	Q_v	$\int_{380}^{760} K(\lambda) Q_{e\lambda} d\lambda$	Lúmen (lm)	Energia na faixa do visível em função da eficácia luminosa da radiação.
Fluxo Luminoso	ϕ_v	$\frac{\delta Q_v}{\delta t}$	Lúmen-segundo ou lumen-hora (lmh)	Taxa com a qual a energia luminosa e transferida de um ponto a outro da superfície.
Densidade Luminosa	ω_v	$\frac{\delta Q_v}{\delta V}$	Lm/m ³	Taxa de variação de energia luminosa por unidade volumétrica
Intensidade Luminosa	I_v	$\frac{\delta \phi_v}{\delta \Omega}$	Candela (cd) ou lm/sr	Fluxo luminoso deixando uma fonte por unidade de ângulo sólido numa dada direção
Exitância Luminosa	M_v	$\frac{\delta Q_v}{\delta A}$	Lux (lm/m ² ou lx)	Fluxo luminoso deixando uma superfície por unidade de área.
Iluminância	E_v	$\frac{\delta Q_v}{\delta A}$	Lux (lm/m ² ou lx)	Fluxo luminoso incidente sobre uma superfície por unidade de área.
Luminância	L_v	$\frac{\delta^2 \Phi_v}{\delta \Omega (\delta A \cos \theta)} =$	Cd/m ²	Intensidade luminosa por unidade de área normal a fonte, numa dada direção.
Eficácia Luminosa	K	$\frac{\Phi_v}{\Phi}$	Lm/W	Razão entre o fluxo visível e o fluxo radiante
Eficiência Luminosa	V	$\frac{K}{K_{max}}$	adimensional	Razão entre a eficácia luminosa na região do visível pela eficácia luminosa máxima

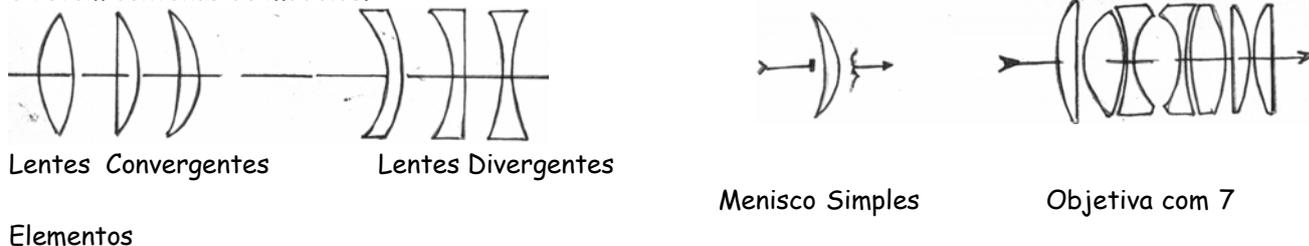
Bibliografia: Princípios físicos de sensoriamento remoto - Departamento de Ensino da Aeronáutica

5- OBJETIVAS FOTOGRÁFICAS

Definição:

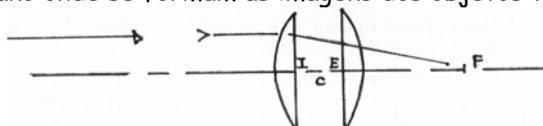
Uma objetiva é constituída de um conjunto de lentes (massa de vidro especial, geralmente cristal) moldadas e polidas. Suas superfícies são esféricas ou planas. Convergentes ou divergentes.

Entre o menisco simples de uma câmara do tipo caixão e as objetivas mais aperfeiçoadas, existem centenas de modelos.



5.1- Características de uma objetiva

- **Distância Focal** - É a distância sobre o eixo principal, que vai do ponto nodal de emergência ao foco (plano onde se formam as imagens dos objetos teoricamente situados no infinito).



A distância focal de uma objetiva é dada em milímetros e vem gravada no aro.

- **Abertura Útil** - É o diâmetro máximo do feixe luminoso (raios paralelos ao eixo principal) que atravessa a objetiva, quando a abertura do diafragma também é máxima e principalmente vem a indicar a relação existente entre a distância focal e o diâmetro da maior abertura do diafragma: através do símbolo f / n

Esse dado indica o elemento mais essencial a ser considerado em uma câmara fotográfica. Seu valor vem gravado na face anterior da objetiva.

Ex: $f / 2.8$, isto significa que a distância focal é 2,8 vezes maior que o diâmetro de abertura útil.

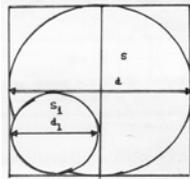
Obs:

(1) - Quanto mais próximo de 1 for esse valor, maior será o preço da objetiva e conseqüentemente da câmara fotográfica.

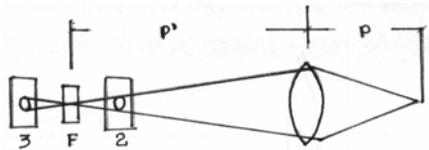
(2) - A origem f / n (onde n é um número qualquer) vem da fração $\frac{1}{n}$ simbolizada por f/n .

Abertura Relativa - Quando se reduz o diâmetro de abertura útil por intermédio do diafragma, a abertura relativa também fica diminuída, uma vez que ela é sempre referida ao diâmetro real utilizado.

- **Luminosidade** - Quando consideramos o caso de duas objetivas com diâmetros de abertura útil diferentes, mas com a mesma distância focal, a quantidade de luz que passa, através dessas objetivas, é proporcional às áreas dos círculos de abertura útil. Como estas áreas estão entre si, como os quadrados dos diâmetros desses círculos. Conclui-se que a quantidade de luz que atravessa uma objetiva é proporcional ao quadrado de seu diâmetro de abertura útil.

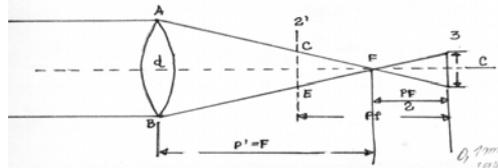


Profundidade de Foco - Numa Objetiva, consideramos o cone de raios luminosos emergentes, concorrendo para o foco. Se colocarmos um anteparo de vidro despolido no vértice desse cone, a imagem obtida será um ponto. Se, em seguida, colocarmos o despolido para as posições 2 e 3, a imagem tomará a forma de um círculo luminoso, o qual chamaremos de "CIRCULO DE CONFUSÃO". Quanto maior o deslocamento, maior será o diâmetro do círculo.



Se nas posições extremas 2 e 3, o círculo tiver um diâmetro que não exceda o poder separador de nossas vistas (0,1 milímetros) confundi-lo-emos em um ponto. A distância entre as posições 2 e 3 do despolido em que a imagem de um ponto pode ser confundida como tal, é o que chamamos de "PROFUNDIDADE DE FOCO" que, em suma, é o deslocamento que o filme pode sofrer sem que a imagem deixe de ser nítida.

Para objetos situados no infinito



Os triângulos ABF e CEF são semelhantes, logo:

AB = d = diâmetro de abertura útil

CE = c = diâmetro do círculo de confusão

$\frac{Pf}{2} =$ metade da profundidade de foco

$$\frac{AB}{CE} = \frac{F}{\frac{Pf}{2}}$$

$$\frac{d}{c} = \frac{2F}{Pf}, \text{ portanto, } Pf = \frac{2cF}{d}, \text{ substituindo o valor de } \frac{F}{d} \text{ por "n" teremos: } Pf = 2cn.$$

Como se observa, Pf é diretamente proporcional à relação de abertura (f/ ou n). Quanto maior for o valor de n, menor será a abertura do diafragma. Assim, quanto mais fechado estiver o diafragma maior será a profundidade de foco.

NOTA: Para todos os cálculos em que o valor do "c" não vem expresso, é tomado o seu valor máximo admitido; 0,1 milímetros.

5.2- Distância Hiperfocal

Quando focaliza para objetos distantes (considerados no infinito), as imagens correspondentes se formam no foco. Nesta situação, a distância que vai do ponto nodal de emergência ao plano que contém o negativo (distância p') é igual a distância focal da objetiva, isto é, p' = F. Entretanto, quando se

focaliza para o infinito, não quer dizer que os objetos estejam a uma distância incomensurável. Pelo contrário, verifica-se que, quando $p'=F$ os primeiros planos ficam fora de foco, mas, depois de uma determinada distância finita do objeto à objetiva, a imagem está perfeitamente nítida, o mesmo acontecendo com os demais pontos até o infinito. Essa distância finita, além da qual todos os planos estão em nitidez quando se focaliza para o infinito, denomina-se "DISTÂNCIA HIPERFOCAL".

5.3- Profundidade de Campo

A profundidade de foco estabelece os dois limites extremos (p') da imagem considerada nítida. Se, por meio dessas relações, determinamos as posições correspondentes do objeto, a distância entre estas posições constituirá o que se denomina "PROFUNDIDADE DE CAMPO", que em suma, é o deslocamento que o objeto pode sofrer sem que sua imagem deixe de ser nítida.

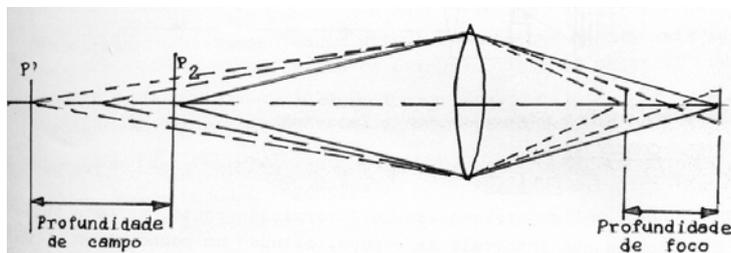
A profundidade de campo será tanto maior quanto menor for a abertura relativa, quanto menor for a distância focal e quanto maior for a distância entre o assunto e a objetiva. A profundidade de campo é determinada em função de limites, estabelecidos para a profundidade de foco.

$$p_1 = \frac{Hf \cdot p}{Hf - p} \text{ distância do ponto mais afastado (nítido)}$$

$$p_2 = \frac{Hf \cdot p}{Hf + p} \text{ distância do ponto mais próximo (nítido)}$$

A profundidade de campo está limitada pela diferença entre p_1 e p_2 .

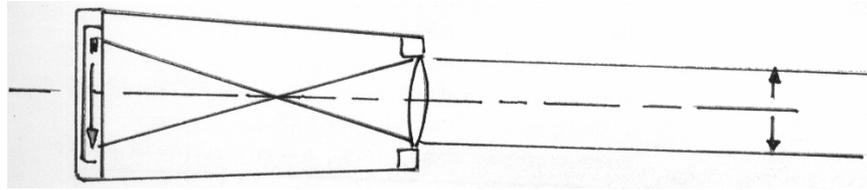
$$p_c = p_1 - p_2 = \frac{Hf \cdot p}{Hf - p} - \frac{Hf \cdot p}{Hf + p}$$



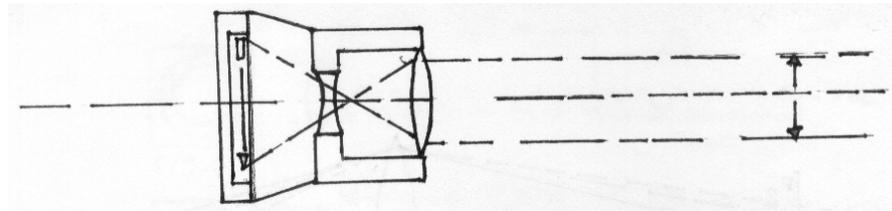
5.4- Tipos de objetivas fotograficas :

- a) **Objetiva Normal** - A distância Focal é igual ou ligeiramente superior à diagonal da superfície sensível. O Ângulo de campo situa-se entre 45 e 50 graus.
- b) **Objetiva Semigrande Angular e Grande Angular** - A distância focal é inferior à diagonal da superfície sensível. O ângulo de campo situa-se entre 60 a 65 e 70 a 75 graus respectivamente.
- c) **Teleobjetivas** - Possibilitam utilizar-se distâncias focais muito grandes sem grande aumento de distância objetiva plano focal. É preciso não confundir as objetivas de longa distância fo-

cal com as teleobjetivas de mesma distância focal. O ângulo de campo gira em torno de 18 graus.



Objetiva de 25 cm de distância focal.



Teleobjetivas de 25 cm de distância focal.

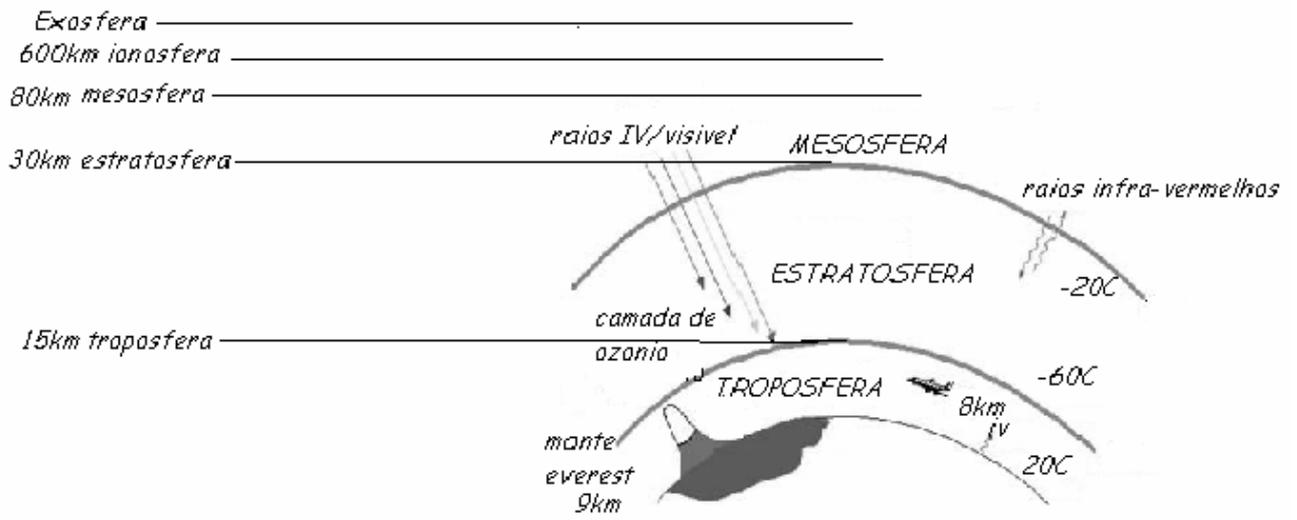
Conclusão:

Focalizando-se um determinado ponto, notamos objetos nítidos num intervalo de espaço, situado um pouco aquém e um pouco além do ponto visado. Não se obterá imagens nítidas do que estiver fora desta localização. Ao intervalo mencionado, denomina-se "profundidade de campo". Seu valor é proporcional aos valores do diafragma utilizado e da distância do ponto focalizado.

Anexo 1 - Prefixos do sistema internacional para a expressão dos múltiplos e submúltiplos:

Fator	Prefixo	Símbolo	Fator	Prefixo	Símbolo
10^{24}	yotta	Y	10^{-1}	deci	d
10^{21}	zetta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	mili	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	micro	<i>m</i>
10^{12}	tera	T	10^{-9}	nano	n
10^9	giga	G	10^{-12}	pico	p
10^6	mega	M	10^{-15}	femto	f
10^3	quilo	k	10^{-18}	atto	a
10^2	hecto	h	10^{-21}	zepto	z
10^1	deca	da	10^{-24}	yocto	y

Anexo 2- Regiões da atmosfera terrestre



Anexo 3 - Frequências, Mecanismos de propagação, Efeitos da atmosfera e do terreno, Aspectos do sistema, Tipos de serviço

Frequência	Mecanismo de propagação	Efeitos da atmosfera e do terreno	Aspectos de sistemas	Tipos de serviço
ELF (Extremely Low Frequency) (30 - 300 Hz)	Onda guiada entre a ionosfera e a superfície da terra e refratada até grandes profundidades no solo e no mar	Atenuação em 100Hz entre 0,003 e 0,03dB/Km sobre a água do mar	Antenas (cabos aterrados) gigantes; taxas de transmissão muito baixas (1 bps)	Comunicação com submarinos, minas subterrâneas; sensoriamento remoto do solo
VLF (Very Low Frequency) (3 - 30 KHz)	Onda guiada entre a camada D da ionosfera e a superfície da Terra e refratada no solo e no mar	Baixas atenuações sobre o solo e no mar	Antenas de tamanho viável têm ganho e diretividade muito baixos; taxas de transmissão muito baixas	Telegrafia para navios com alcance mundial; serviços de navegação; padrões horários
LF (Low Frequency) (30 - 300 KHz)	Onda guiada entre a camada D da ionosfera e a superfície da Terra até 100 kHz, com a onda ionosférica tornando-se distinta acima desta frequência	Desvanecimento em distâncias curtas devido à interferência entre a onda ionosférica e a de superfície	Antenas de tamanho viável têm ganho e diretividade muito baixos; taxas de transmissão muito baixas	Comunicação de longa distância com navios; rádio-difusão e serviços de navegação
MF (Medium Frequency) (300 - 3000 KHz)	Onda de superfície e curta distância e em frequências mais baixas e onda ionosférica a longa distância	Atenuação da onda de superfície reduz sua cobertura a 100 km; onda ionosférica forte à noite	Possibilidade de uso de antenas de $\frac{1}{4}$ de onda e antenas diretas com múltiplos elementos	Rádio-difusão, rádio-navegação e alguns serviços móveis
HF (High Frequency) (3 - 30 MHz)	Onda ionosférica acima da distância mínima; onda de superfície a distâncias curtas	Comunicação muito dependente do comportamento da ionosfera; onda de superfície bastante atenuada	Uso de antenas log-periódicas e conjuntos horizontais de dipolos; sistemas de poucos canais	Fixo ponto-a-ponto; móvel terrestre, marítimo e aeronáutico; rádio-difusão
VHF (Very High Frequency) (30 - 300 MHz)	Propagação em visibilidade; difração; tropodifusão (ondas espaciais)	Efeitos de refração; multipercursos; difração pelo relevo; empalhamento troposférico	Antenas Yagi (dipolos múltiplos) e helicoidais; sistemas de baixa e média capacidade	Fixo terrestre; móvel terrestre e por satélite; rádio-difusão; rádio-farol
SHF	Propagação em visibi-	Desvanecimento	Antenas de aber-	Fixo terrestre e por

(Super Higt Frequency) (3 - 30 GHz)	lidade	por multipercursos; atenuação por chuvas (acima de 10 GHz); obstrução pelo terreno	tura; sistemas de alta capacidade	satélite; móvel terrestre e por satélite; sensoriamento remoto, radar
EHF (Extremely Higt Frequency) (30 - 300 GHz)	Propagação em visibilidade	Desvanecimento por multipercursos; atenuação por chuvas; absorção por gases; obstrução por edificações	Antenas de abertura; sistemas de alta capacidade	Rádio acesso fixo e móvel; sistemas por satélite; sensoriamento remoto

BANDA	Comprimento onda (cm)	de Frequência MHZ	Utilização mais comum
Ka	0,75 - 1,10	40000 - 26500	Comunicações
K	1,10 - 1,67	26500 - 18000	Comunicações
Ku	1,67 - 2,40	18000 - 12500	Comunicações e RADARES de espaço aéreo
X	2,40 - 3,75	12500 - 8000	RADARES de espaço aéreo e Sensoriamento remoto
C	3,75 - 7,50	8000 - 4000	Sensoriamento remoto
S	7,50 - 15	4000 - 2000	Transponder de satélites de comunicações
L	15 - 30	2000 - 1000	Sensoriamento remoto; VLBI*; GPS**
P	30 - 100	1000 - 300	Sensoriamento remoto

Referências Bibliográficas:

Ramalho, F.J; Ferraro, G. N; Soares,P.T; **Os fundamentos da física 2.** 8. ed: Moderna.470p.

Carron,W; Guimarães, O; **As faces da física.** 2. ed: Moderna.742p.

Moreira,M. A; **fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 1. ed. São Jose dos Campos; INPE, Com Deus, 2001, 250p.

Ramalho,F. J; Ferraro, N.G; Soares, P.A.de T; **Os fundamentos da física.** 5.ed: Moderna.420p.

Brasil, Ministério da Aeronáutica, CIAAR. **Princípios físicos de sensoriamento remoto.** São José dos Campos, 1999. 69p.

Brasil, Ministério da Aeronáutica, CIAAR. **Princípios da óptica geométrica.** São José dos Campos, 1999. 59p.

Dicionário da Rede Óptica

ABSORÇÃO: Atenuação de um sinal eletromagnético por sua conversão em calor.

ACOPLADOR: Dispositivo que permite combinar (misturador) ou separar (derivador ou "splitter") sinais.

ACOPLADOR ESTRELA: Elemento ótico que permite a conexão de muitas fibras a uma única.

ACRILATO: O tipo de resina acrílica mais usada como revestimento da fibra óptica.

ADSL: Assymetrical Digital Subscriber Line. Sistema que possibilita transmissão de banda larga (até 9 MHz) nos cabos telefônicos metálicos já existentes. É a mais comum das tecnologias xDSL, que são vistas como possíveis estágios intermediários na transição para redes totalmente ópticas.

AMORTECEDOR: Um revestimento protetor sobre a fibra.

AMPLIFICADOR ÓPTICO: Dispositivo que amplifica sinais ópticos sem a conversão destes em sinais elétricos. Podem ser usados no meio da linha, como os repetidores, ou acoplados ao transmissor ou receptor, aumentando a distância de transmissão sem estações intermediárias, melhorando sensivelmente a confiabilidade dos enlaces ópticos.

ANALÓGICO: Propriedade de um equipamento ou sinal (óptico ou elétrico) que guarda semelhança (ou analogia) com o sinal que o gerou. Exemplo: O sinal elétrico gerado pela conversão da voz humana através um microfone (comparar com digital).

ÂNGULO CRÍTICO: Maior ângulo de incidência de uma onda que ao atingir outro meio de índice de refração menor, ainda ocorre refração. A partir desse ângulo a onda seria inteiramente refletida de volta ao primeiro meio de propagação.

ARAMIDA: Material dielétrico sintético, em forma de fibras, muito leve, de grande resistência mecânica à tração. É usado em substituição ao aço como reforço de resistência à tração em cabos. É muito conhecido por uma de suas marcas comerciais: kevlar.

ASCII: American Standard Code for Information Interchange ou Código Padronizado Americano para Intercâmbio de Informações, uma codificação binária de dados usada em comunicações, na maioria dos computadores pessoais. O código ASCII possui 7 bits, podendo por isso gerar 128 combinações que representam caracteres, sendo os primeiros 32 caracteres de controle. Uma vez que o armazenamento é comumente em um byte (8 bits) e o código ASCII emprega somente 7 bits, o bit extra 'w usado de forma diferente dependendo do computador. Por exemplo, o PC usa as combinações adicionais para os símbolos gráficos e caracteres de outras línguas. No Macintosh, estes códigos extras podem ser definidos pelo usuário.

AT&T: American Telephone & Telegraph. Empresa norte-americana com forte atuação na área de telecomunicações.

ATENUAÇÃO: Perda de potência de um sinal ao longo de sua propagação. Em geral é medida em dB ou dB/km. As principais causas de atenuação em uma fibra óptica são devidas à absorção por impurezas ou por íon OH-, espalhamento por irregularidades na deposição do material, trincas e deformações ou ainda devido a fatores externos, como emendas e conexões aos equipamentos.

B

Backbone: Linha de alta velocidade onde se conectam os principais servidores da Internet- Na rede, existem vários backbones.

BANDA A: Faixa de frequências destinadas atualmente à exploração de serviços de telefonia celular pelas operadoras de serviço público.

BANDA B: Faixa de frequências destinadas à exploração de serviços de telefonia celular por empresas privadas, concorrendo com a banda A.

BARRAMENTO (BUS): Uma conexão comum entre os dispositivos. Um barramento de computador conecta a CPU à sua memória principal e aos bancos de memória que residem nas unidades de controle dos dispositivos periféricos. É composto de duas partes. Os endereços são colocados no barramento de endereçamento para indicar uma posição de memória e os dados são transferidos pelo barramento de dados para aquela posição. Os barramentos de computadores comumente usados são ISA, EISA, NuBus, Micro Channel, Turbochannel, VMEbus, MULTIBUS, barramento STD e barramento PCI. Um barramento de rede é um cabo em comum que conecta todos os dispositivos da rede; por exemplo, Ethernet usa uma arquitetura em barramento. Um sinal é enviado a todos os nós ao mesmo tempo e a estação solicitada responde.

BIT: A menor unidade de informação num sistema binário de notação; contração e dígito binário.

C

CABEAÇÃO: O conjunto de cabos de conexão entre sistemas de computadores ou entre estações em uma rede.

CABO GELEADO: Cabo que possui seus interstícios preenchido por um composto pastoso (geléia) com o objetivo de protegê-lo contra a penetração de água.

CABO ÓPTICO: Cabo que contém uma ou várias fibras ópticas destinadas à transmissão de sinais.

CAIXA DE EMENDA ÓPTICA: Dispositivo protetor de emendas de fibras ópticas.

CANAL: Um caminho para transmissão de sinais entre dois ou mais pontos, normalmente em uma única direção.

CANAL DE BANDA LARGA: Canal de largura de banda muito maior que o canal de voz. Capaz de transmitir voz, vídeo e dados em alta velocidade. Normalmente opera com bandas da ordem de vários MegaHertz.

CANAL DE VOZ: Um canal adequado à transmissão da fala e dados em baixa velocidade como fax. Tem geralmente frequência de 300 a 3000 Hz.

CASCA: Camada externa da fibra óptica, composta de material de baixo índice de refração, que envolve o núcleo, fornecendo-lhe isolamento óptica.

CCC: Central de Comutação e Controle. É a central telefônica que controla as estações rádio-base dos telefones celulares.

CDMA: Code Division Multiple Access. Um dos sistemas de digitalização do acesso de telefonia celular, onde vários celulares transmitem ao mesmo tempo e na mesma frequência, com sinais separados por códigos.

CÉLULA: Área geográfica de abrangência de uma estação rádio-base de celular. Nos sistemas analógicos cada célula opera em uma frequência distinta. Divide-se o espectro disponível em sete canais de frequências diferentes, possibilitando que cada célula não opere no mesmo canal que sua vizinha.

CHIP: Circuito integrado; encapsulamento de diversos componentes eletrônicos, como transistores e resistores, em um único invólucro de material semicondutor. Um único chip, como um microprocessador, pode conter mais de 100 mil componentes.

COLAPSAMENTO: Compactação do tubo óptico para retirada de todos os interstícios (bolhas), resultantes do processo de deposição ou encamisamento, transformando-o em um bastão sólido e transparente (pré-forma). É realizado com alta temperatura e vácuo.

COMPRIMENTO DE ONDA: Distância percorrida em um ciclo pela frente de onda. Pode ser calculado pela divisão da velocidade de propagação da onda por sua frequência.

COMUTAÇÃO: Em telefonia, é a ligação temporária entre dois terminais, feitas através de uma série de circuitos elétricos, que se desconectam após o fim da conversação, liberando a linha para outra ligação.

CONNECTOR ÓPTICO: Dispositivo instalado na extremidade de uma fibra óptica permitindo acoplamento físico e óptico com um equipamento ou uma outra fibra.

CORDÃO ÓPTICO: Cabo óptico com uma única fibra, destinado à ligação de equipamentos ópticos.

CROSSTALK: Linha cruzada; diafonia.

D

DECIBEL (dB): Unidade de medida muito usada em telecomunicações para expressar a relação entre duas variáveis, normalmente potências de sinais atenuados ou amplificados. Corresponde à um décimo do Bel e pode ser calculado como: $10 \cdot \log (P1 / P2)$, sendo P1 e P2 as duas variáveis a serem comparadas.

dBm: Medida de potência em comunicações: o decibel com referência a um miliwatt. Zero dBm = 1 miliwatt, com relação logarítmica à medida que os valores aumentam.

DEMODULAÇÃO: O processo de recuperação de um sinal original de uma onda transportadora modulada. Técnica utilizada em modems para tornar os sinais de comunicações compatíveis com equipamentos como: micros, fax, etc.

DERIVADOR: Acoplador separador de sinais, com uma entrada e duas ou mais saídas.

DIAFONIA: Linhas cruzadas.

DIELÉTRICO: Meio não metálico e não condutor de eletricidade.

DIGITAL: Propriedade de um equipamento ou sinal (óptico ou elétrico) onde uma informação é transformada em bits (zero ou um) para ser transmitida ou processada. Sistemas digitais permitem velocidades de transmissão muito maiores e de melhor qualidade de sinal que os analógicos.

DIODO LASER DE INJEÇÃO (ILD): Uma fonte de luz coerente. Laser semiconductor no qual a geração da luz coerente ocorre em uma junção P-N e a energia necessária para alcançar e manter a inversão de população é fornecida através de injeção de corrente.

DIODO EMISSOR DE LUZ (LED): Dispositivo semiconductor que emite luz incoerente formada pela junção P-N. A intensidade de luz é proporcional ao fluxo da corrente elétrica.

DISPERSÃO: A causa de limitações de largura de banda numa fibra. A dispersão causa o alargamento dos pulsos ao longo do comprimento da fibra, resultando em distorção do sinal transmitido.

DISPERSÃO CROMÁTICA: Dispersão causada pela diferença de velocidade dos diferentes comprimentos de onda que compõem o espectro da luz transmitida.

DISPERSÃO MODAL: Dispersão causada devido aos diferentes modos (caminhos) de propagação em uma fibra óptica multimodo.

DISPERSÃO DE RAYLEIGHT: Espalhamento da luz causado pela flutuação na densidade do material causando pequeníssimas mudanças no índice de refração. É uma das principais causas da atenuação de uma fibra óptica.

DISTORÇÃO: Mudança não desejada na forma de onda que ocorre entre dois pontos em um sistema de transmissão.

DOPAGEM: Introdução de um elemento dopante à sílica, para mudar seu índice de refração.

DOPANTE: Substância usada na dopagem, normalmente germânio ou óxido de boro.

E

EHF: Extremely High Frequency. Microondas da faixa de 30 GHz a 300 GHz.

EMENDA ÓPTICA: União permanente ou temporária de duas pontas de fibras por técnicas mecânicas ou de fusão. Na emenda por fusão, as fibras são decapadas de seu revestimento, clivadas (cortadas) em suas extremidades, alinhadas e fundidas por um arco elétrico, recebendo no final um invólucro protetor. Nas emendas mecânicas, as fibras recebem o mesmo tratamento, porém não são fundidas, mas apenas fixadas alinhadas por meio de um conector.

ENCAMISAMENTO: Revestimento externo de um bastão de pré-forma com um outro tubo de sílica que passará a fazer parte da casca da fibra. É uma técnica usada para aumentar a produtividade de uma linha de produção de pré-formas.

ENLACE ÓPTICO: Um transmissor e um receptor conectados por um cabo óptico.

ERB: Estação Rádio Base que conecta por rádio os telefones celulares e transmite seus sinais aos CCC. É o núcleo de uma célula.

ESPALHAMENTO: Mudança de direção de uma onda (para várias direções), depois de atingir partículas distribuídas aleatoriamente.

ESPECTRO ÓPTICO: Faixa de comprimentos de onda da radiação óptica (infravermelho + radiação visível + ultravioleta).

ETHERNET: Rede local desenvolvida pela Xerox, Digital e Intel. Conecta até 1,024 nós em uma topologia de barramento a 100Mb/s através de par trançado, cabo coaxial ou fibra óptica. Versões mais velozes, a Fast Ethernet, operam a 100MHz/s. A Ethernet é a rede local mais amplamente usada.

F

FDM: Frequency Division Multiplexing. Sistema de multiplexação por divisão de frequência, que usa uma frequência diferente para cada sub-portadora de cada canal a ser transmitido por um único meio.

FIBRA ÓPTICA DISPERSÃO DESLOCADA (DS): Dispersion Shifted. Tipo de fibra monomodo em que as condições de dispersão cromática nula foram deslocadas da janela de 1310 nm para a janela de 1550 nm, onde as perdas de transmissão são menores.

FIBRA ÓPTICA MONOMODO (SM): Single Mode. Tipo de fibra óptica na qual apenas um modo se propagará, fornecendo o máximo em largura de banda. Tem que ser utilizada com fontes de luz laser. Tem menor atenuação e portanto pode transmitir sinais a grandes distâncias. É a fibra padrão ou standard para telecomunicações.

FIBRA ÓPTICA MULTIMODO (MM): Multi Mode. Tipo de fibra óptica que permite que mais de um modo se propague, apresentando normalmente altas taxas de atenuação. Não necessita de fonte de luz coerente, tornando os transmissores e receptores mais baratos que os monomodo. São excelentes soluções para redes de dados em distâncias de até apenas alguns quilômetros.

FONTE: O meio (normalmente LED ou laser) utilizado para converter um sinal elétrico em um correspondente sinal óptico.

FOTODIODO: Dispositivo utilizado para converter sinais ópticos em sinais elétricos.

FOTODIODOS DE AVALANCHE (APD): Fotodiodos que combinam a detecção de sinais ópticos com amplificação interna da fotocorrente. O ganho interno é percebido através da multiplicação avalanche de transportadoras na região da junção. Sua vantagem é uma razão elevada de sinal-ruído, especialmente, a altas taxas de bits.

FÓTON: Quantum (pacote) elementar de uma onda eletromagnética.

FREQUÊNCIA: O número de ciclos de uma onda por uma unidade de tempo. Em geral expresso em Hertz (Hz). 1 Hz = 1 ciclo por segundo.

G/H

GIGA (G): Unidade que equivale a 1 bilhão = 10⁹. Exemplo: 1 GigaHertz (GHz) = 10⁹ Hertz.

GUIA DE ONDAS: Estrutura condutora ou dielétrica capaz de suportar e propagar um ou mais padrões de campo eletromagnético (modos). Exemplo: Fibra Óptica.

HARDWARE: O maquinário e os equipamentos. Em operação uma rede, assim como um computador é composto de hardware e software. Um é inútil sem o outro. O projeto de hardware especifica os comandos que pode obedecer e as instruções que vão lhe dizer o que e como fazer.

HERTZ: Unidade de medida de frequência. 1 Hertz (1 Hz) é igual a 1 ciclo por segundo.

I

ÍNDICE DE REFRAÇÃO: Propriedade de um meio de transmissão óptico, correspondente à proporção entre a velocidade da luz no vácuo e a sua velocidade no meio de transmissão.

INFRAVERMELHO: Radiação óptica com comprimentos de onda maiores do que aqueles da radiação visível, aproximadamente entre 800 nm e 1 mm.

J

JANELAS DE TRANSMISSÃO: São os comprimentos de onda de operação de uma fibra óptica, para o qual a atenuação da mesma tem um ponto de mínimo. São usadas três janelas:

1ª janela: 850 nm - Aplicável apenas a fibras multimodo.

2ª janela: 1310 nm - Aplicável a fibras multimodo ou monomodo.

3ª janela: 1550 nm - Aplicável apenas a fibras monomodo.

JUMPER: Pequeno lance de cordão óptico, conectorizado nas duas pontas. Usado para a conexão de equipamentos ópticos.

K/L

KEVLAR: Um dos nomes comerciais para aramida.

LAN: Local Area Network. Rede local de computadores, restrita a uma pequena área geográfica, normalmente um prédio ou empresa. É comumente operada pelos próprios usuários.

LARGURA DE BANDA: Expressa a quantidade de informações que um sistema tem capacidade de transportar. Em sistemas analógicos, é a diferença entre as frequências máxima e mínima que podem ser transportadas.

Exemplo: canais de voz que transportam sinais de 300 a 3000 Hz tem largura de banda de 2700 Hz. Em sistemas digitais, é a máxima frequência de operação. Exemplo: Sistemas STM-16 tem largura de banda de 2,5 Gbit por segundo.

LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiance. Fonte de luz coerente com estreita largura de banda espectral.

LINHAS CRUZADAS: Transferência de informações de um guia de onda para outro adjacente; diafonia.

LOOSE: Tipo de construção de cabos ópticos, onde as fibras não estão fisicamente vinculadas ao elemento de tração do cabo. Normalmente as fibras ficam soltas dentro de tubetes plásticos cordados em torno de um elemento central.

LUZ: Radiação visível; qualquer radiação óptica capaz de causar uma sensação visual em um observador.

LUZ COERENTE: Luz monocromática com ondas de mesmo comprimento, mesmo plano de vibração e mesma fase.

M

MAN: Metropolitan Area Network. Rede da abrangência metropolitana, normalmente operada por empresa de serviço público.

MEGA (M): Unidade que equivale a 1 milhão = 10^6 . Exemplo: 1 MegaHertz (1 MHz) = 10^6 Hertz.

MICROCURVATURAS: Causas de atenuação incremental em uma fibra óptica. Normalmente são motivadas por:

- a) ter a fibra encurvado à volta de um raio restritivo de curvatura;
- b) pequeníssimas distorções na fibra, impostas por perturbações externamente induzidas. Comumente associadas à uma extrusão ruim da fibra óptica ou deficiências na fabricação do cabo.

MÍCRON (m m): Unidade de medida que equivale a um milionésimo de metro = 10^{-6} metro.

MICROONDA: Qualquer onda eletromagnética com frequência acima de 890 MHz. Normalmente dividida em três partes: UHF, SHF e EHF.

MISTURADOR: Acoplador de dois ou mais sinais ópticos dando origem a um único sinal combinado.

MODEM: Contração de Modulador / DEModulador. Aparelho contendo circuitos elétricos necessários para conectar equipamentos de processamento de dados a um canal de comunicações, geralmente através de modulação e demodulação do sinal.

MODO: Um padrão de campo eletromagnético.

MODULAÇÃO: Processo pelo qual uma característica de uma onda é variada de acordo com outra onda, ou sinal, como em modems, os quais transformam sinais de computadores em ondas que sejam compatíveis com instalações de comunicação e equipamentos.

MULTIPLEXAÇÃO: Transmissão de dois ou mais sinais em um único canal.

N

NANO (n): Unidade que equivale a 1 bilionésimo = 10^{-9} . Exemplo: 1 nanometro (nm) = 10^{-9} metros.

NÚCLEO: A parte central de uma fibra óptica onde é confinada toda a luz, por apresentar índice de refração mais alto que a casca que o envolve.

O/P

OPGW: OPTical Ground Wire. Cabo pára-raio de linhas aéreas de alta tensão com núcleo contendo fibras ópticas.

OSI: Open System Interconnection, Sistema Aberto de Interconexão, um padrão ISO mundial para as comunicações que define uma estrutura para a implementação de protocolos em sete camadas. As camadas 1 a 3 tratam do acesso à rede e as camadas 4 à 7 da comunicação entre os pontos. O controle é passado de uma camada para a próxima, iniciando na camada do aplicativo em uma estação, prosseguindo até a camada mais interna, passando pelo canal até a outra estação e subindo pela hierarquia. Uma funcionalidade semelhante existe em todas as redes de comunicação, entretanto, sistemas não-OSI em geral incorporam duas ou três camadas de funções uma uma. A maioria dos fabricantes tem oferecido o OSI de alguma forma. Porém, o OSI serve mais como modelo que como um padrão universal.

PERDAS: Ver atenuação.

PERFIL DE ÍNDICE: Maneira como o índice de refração varia na seção transversal de uma fibra óptica.

PERFIL DE ÍNDICE DEGRAU: Característica de um tipo de fibra que apresenta índice de refração constante ao longo do núcleo e variação abrupta na interface núcleo-casca. Perfil típico das fibras ópticas monomodo standard.

PERFIL DE ÍNDICE GRADUAL: Característica de um tipo de fibra onde o índice de refração do núcleo varia continuamente em função da distância do eixo central. A variação pode se dar com perfil

parabólico, típico de fibras multimodo, ou com perfil triangular, típico de fibras monomodo com dispersão deslocada.

PIGTAIL: Pequeno lance de cordão óptico, conectorizado em uma das pontas e terminando em um pedaço de fibra nua na outra. É usado para a ligação de equipamentos ópticos.

PLACA DE REDE: Placa com circuitos eletrônicos que se liga em uma estação ou servidor e que controla a troca de informação em uma rede. Realiza as funções eletrônicas do método de acesso (protocolo de conexão de dados), como Ethernet, Token Ring e LocalTalk. O meio de transmissão (par trançado, cabo coaxial ou Fibras Ópticas) interconecta todas as placas na rede.

POTÊNCIA: Taxa na qual a energia é absorvida, recebida, transmitida, transferida, etc, por unidade de tempo. Unidade: Watts.

PROTOCOLO: Conjunto de regras e padrões que as máquinas de um sistema devem obedecer para trocar informações.

R

RABICHO: Ver pigtail

RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA: Emissão ou propagação de energia sob a forma de onda eletromagnética.

RADIAÇÃO ÓPTICA: Radiação que engloba a luz visível, infravermelho e ultra violeta, correspondendo a uma faixa de comprimentos de onda de aproximadamente 4 nm a 1 mm.

RAIO DE DOBRAMENTO: Menor raio de curvatura que uma fibra pode apresentar sem causar aumento significativo de atenuação.

RDSI: Rede Digital de Serviços Integrados. Rede digital de telecomunicações cujo acesso permite a transmissão de banda larga.

RECEPTOR ÓPTICO: Equipamento opto-eletrônico que recebe um sinal óptico e o converte para um sinal elétrico equivalente.

REDE: Uma série de pontos interconectados por canais de comunicações.

REDE DE BANDA LARGA: Rede com capacidade de transportar uma enorme quantidade de informações ao mesmo tempo, em sinais de voz, vídeo e dados em alta velocidade.

REPETIDOR: Regenerador de um sinal óptico atenuado. Através da combinação de um receptor e um transmissor, efetua a

transformação do sinal óptico em elétrico e posteriormente reconverte em um sinal óptico regenerado. O uso de repetidores tem sido substituído pelo uso de amplificadores ópticos.

REVESTIMENTO COLORIDO: Revestimento pigmentado de uma fibra óptica com o objetivo de identificação.

REVESTIMENTO PRIMÁRIO: Revestimento de proteção de uma fibra óptica, mais comumente feito de acrilato. É aplicado em dupla camada logo após o processo de estiramento. O revestimento primário evita a formação de microcurvaturas, causadoras de atenuação e confere resistência mecânica à fibra.

REVESTIMENTO SECUNDÁRIO: Revestimento aplicado, durante a fabricação do cabo óptico, sobre sobre uma ou várias fibras, como proteção mecânica.

RIBBON: Estrutura de agrupamento de fibras ópticas, onde elas são coladas paralelamente, formando pequenas fitas. Essa construção permite a obtenção de cabos de pequeno diâmetro e com centenas de fibras ópticas.

RUÍDO: Qualquer perturbação que tenda a interferir na operação normal de um aparelho ou sistema de comunicação. As unidades de medição de ruídos variam com os procedimentos utilizados para a ponderação de ruídos.

S

SDH: Synchronous Digital Hierarchy. Sistema de transmissão síncrona com grande capacidade de transmissão e simplicidade de construção e gerência.

SERVIDOR: Estação de trabalho em uma rede de computadores que fornece serviços para as outras estações de trabalho ligadas à rede.

SHF: Super High Frequency. Microondas da faixa de 3 GHz a 30 GHz.

SÍLICA: Dióxido de silício em forma vítrea; quartzo

SÍLICA DOPADA: Sílica contendo pequenas porcentagens de outros componentes químicos capazes de alterar seu índice de refração.

SOFTWARE: Programas que podem ser sistemas operacionais ou aplicativos (sistemas operacionais, bancos de dados), controla uma série de instruções que realiza uma determinada tarefa.

SPLITTER: Derivador.

T

TAXA DE ERROS: Proporção de dados recebidos incorretamente (bits, elementos, caracteres ou blocos), em relação ao total geral de dados transmitidos.

TCP/IP: Transmission Control Protocol / Internet Protocol são protocolos de comunicação desenvolvidos sob contrato com o Department of Defense dos EUA para interconectar redes em sistemas dissemelhantes. É um padrão UNIX de fato, oferecido em quase todos os Sistemas operacionais. É usado em muitas corporações, na maioria das universidades e agências do governo federal. O TCP controla a transferência de dados; o IP proporciona o roteamento.

TDM: Time Division Multiplexing. Sistema de multiplexação por divisão de tempo. Alinham-se diversos sinais e transmite-se um byte de cada sinal por vez, num único canal de saída de alta velocidade.

TDMA: Time Division Multiple Access. Sistema de multiplexação para digitalização do acesso à telefonia celular que utiliza divisão de tempo. Ver TDM.

TIGHT: Tipo de construção de cabos ópticos onde as fibras são fisicamente vinculadas ao elemento de tração do cabo.

TORNO DE DEPOSIÇÃO: Equipamento usado para confecção da pré-forma. No processo MCVD o torno é dotado de garras que prendem o tubo de sílica, coloca-o em movimento de rotação uniforme e injeta em seu interior os cloretos que serão depositados por oxidação. É também dotado de queimadores que percorrem por diversas vezes o tubo, elevando a temperatura para provocar a deposição.

TORRE DE ESTIRAMENTO: Equipamento usado para estirar o bastão de pré-forma, transformando-o em fibra óptica. É dotado de uma cabeça onde a pré-forma é aquecida até adquirir uma consistência "pastosa", e de um sistema de tracionamento, que controla o diâmetro da fibra estirada.

TORRE DE PUXAMENTO: O mesmo que torre de estiramento.

TRANSMISSÃO ASSÍNCRONA: Um método de transmissão no qual cada caractere de informação é individualmente sincronizado, normalmente pelo uso de indicadores de "inicia / pára". (comparar com transmissão síncrona).

TRANSMISSÃO SÍNCRONA: Método de transmissão no qual a sincronização de caracteres é controlada por sinais de sincronização gerados nas estações receptora e transmissora (contrário de comunicações "inicia / pára"). Ambas as estações operam continuamente na mesma frequência e são mantidas numa relação de fase desejada.

TRANSMISSOR ÓPTICO: Equipamento eletro-óptico que recebe um sinal elétrico e o converte para um sinal óptico equivalente, pronto para ser propagado por uma fibra óptica.

U/V

ULTRAVIOLETA: Radiação óptica com comprimentos de onda menores do que aqueles da radiação visível, aproximadamente entre 4 nm e 400 nm.

VELOCIDADE DA LUZ (c): Aproximadamente 300 mil quilômetros por segundo no vácuo.

VHF: Very High Frequency. Microondas da faixa de 300 MHz a 3 GHz.

W

WAN: Wide Area Network. Rede de longa distância. A ligação entre duas metrópoles constituem uma WAN.

WDM: Wavelength Division Multiplexing. Sistema de multiplexação onde diversos canais são alocados em comprimentos de onda diferentes para transmissão por uma mesma fibra. É o sistema que atualmente permite maior capacidade de transmissão.