

# GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

## Introdução

GL01

Em luminotecnica consideram-se basicamente 4 grandezas:

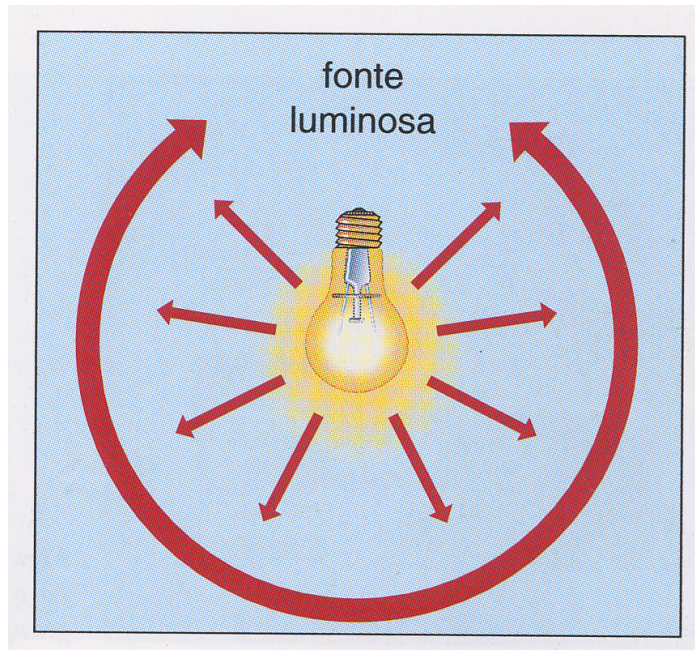
- fluxo luminoso;
- intensidade luminosa;
- iluminação ou iluminância;
- luminância;

Em relação a esta última grandeza, as fontes luminosas designam-se por fontes primárias e os corpos iluminados por fontes secundárias.

# GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

## Fluxo luminoso

GL02



OBS.

Fluxo luminoso ( $F$  ou  $\Phi$ ) – luz emitida ou observada num segundo.

Unidade: lm (lumen)

Quantidade de luz:  $Q = F.t$

Unidade: lm.s ou lm.h ou klm.h

# GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

## Medida do fluxo luminoso

GL03



### Esfera de Ulbricht

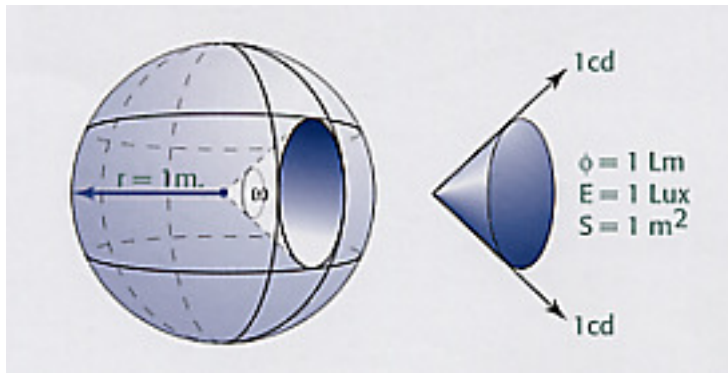
Utilizada para a medida do fluxo luminoso de uma lâmpada.

A fonte luminosa a medir é colocada no seu interior.

# GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

## Noção de ângulo sólido

GL04



Ângulo sólido: quociente entre a superfície abraçada sobre uma esfera com centro no vértice do ângulo e o quadrado do raio dessa esfera:

$$\omega = \frac{S}{r^2}$$

O conjunto de ângulos sólidos numa esfera representa:

$$\frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi$$

A unidade de ângulo sólido é o esterradiano (sr).

# GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

## Intensidade luminosa

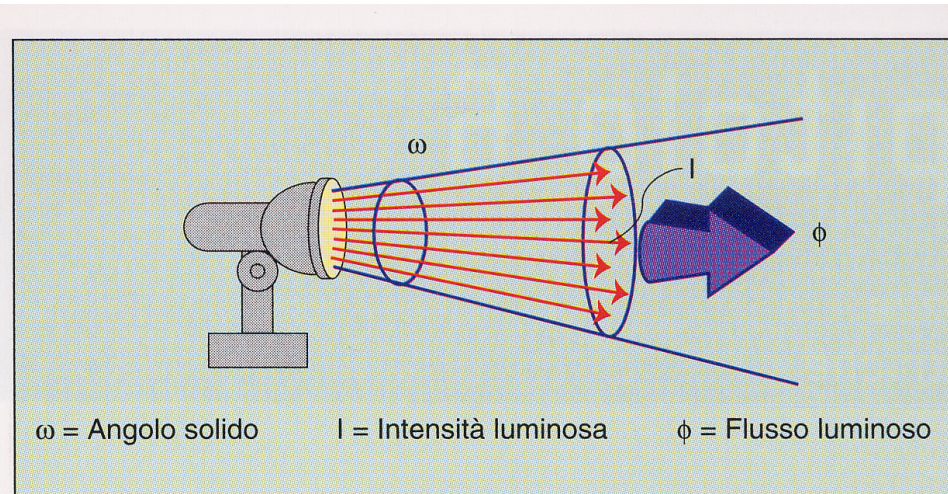
GL05

Intensidade luminosa ( $I$ ) : fluxo luminoso compreendido na unidade de ângulo sólido no qual é emitido, pressupondo-se que a fonte luminosa é pontual

$$I = \frac{\phi}{\omega}$$

Unidade: candela (cd)

Sexagésima parte da intensidade luminosa de 1 cm<sup>2</sup> do corpo negro.

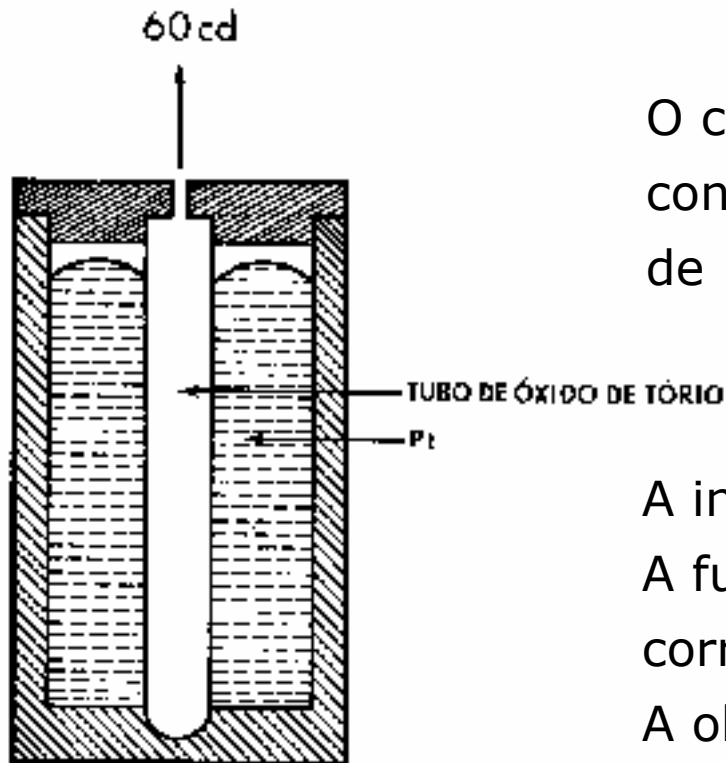


# GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

## Noção de corpo negro

GL06

### DEFINIÇÃO DE CANDELA



O corpo negro é realizado por um vaso fechado contendo platina fundida e com uma abertura de 1 cm<sup>2</sup>.

A intensidade emitida vale então 60 cd.  
A fusão da platina consegue-se por meio de correntes de indução de alta frequência.  
A observação do orifício faz-se durante a solidificação para se evitar o inconveniente da desigual distribuição de temperatura que acompanha a fusão.

## GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

### Fluxo luminoso e intensidade luminosa

No caso de uma fonte luminosa pontual, que emite todo o seu fluxo luminoso de um modo uniforme num ângulo sólido  $\Omega$  temos:

$$\phi = \int_0^{\Omega} I d\omega$$

Se  $I$  for constante, temos:

$$\phi = \int_0^{\Omega} I d\omega = I \times \Omega$$

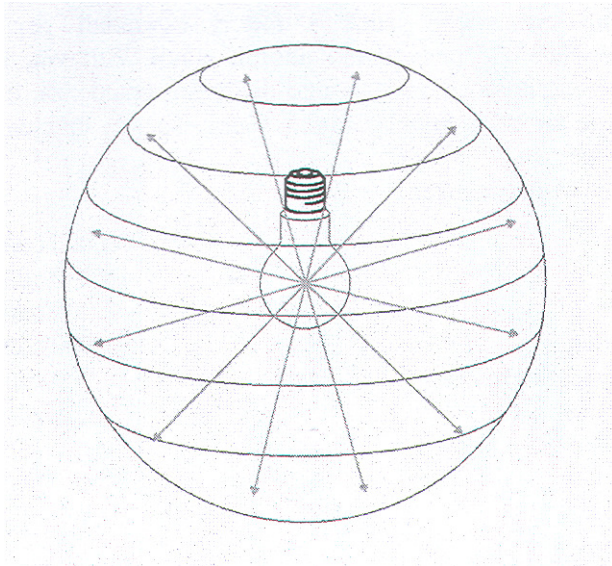
Por exemplo, se uma lâmpada desprovida de reflector for suspensa (ver figura), todo o seu fluxo é emitido no ângulo sólido  $\Omega = 4\pi$ . Se  $\Phi$  for o fluxo da lâmpada, temos:

$$I = \frac{\Phi}{4\pi}$$



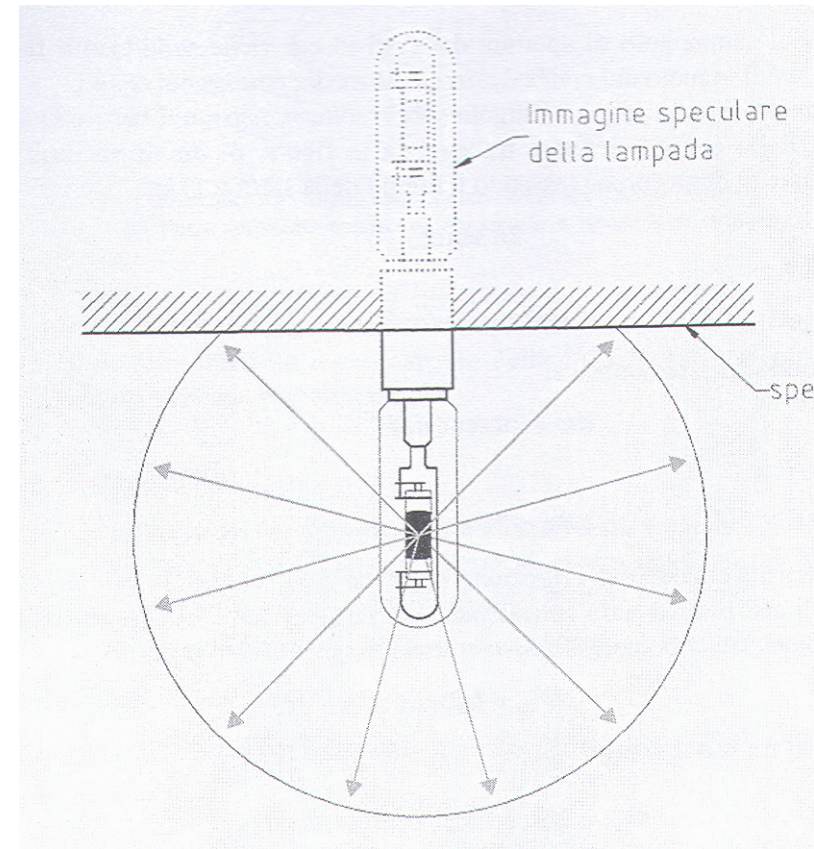
# GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

## Fluxo luminoso e intensidade luminosa



Se uma lâmpada emitir todo o seu fluxo num só hemisfério ( $\Omega=2\pi$ ), por exemplo uma lâmpada colocada numa armadura (ver figura), pode obter-se com uma boa aproximação:

$$I = \frac{\Phi}{2\pi}$$



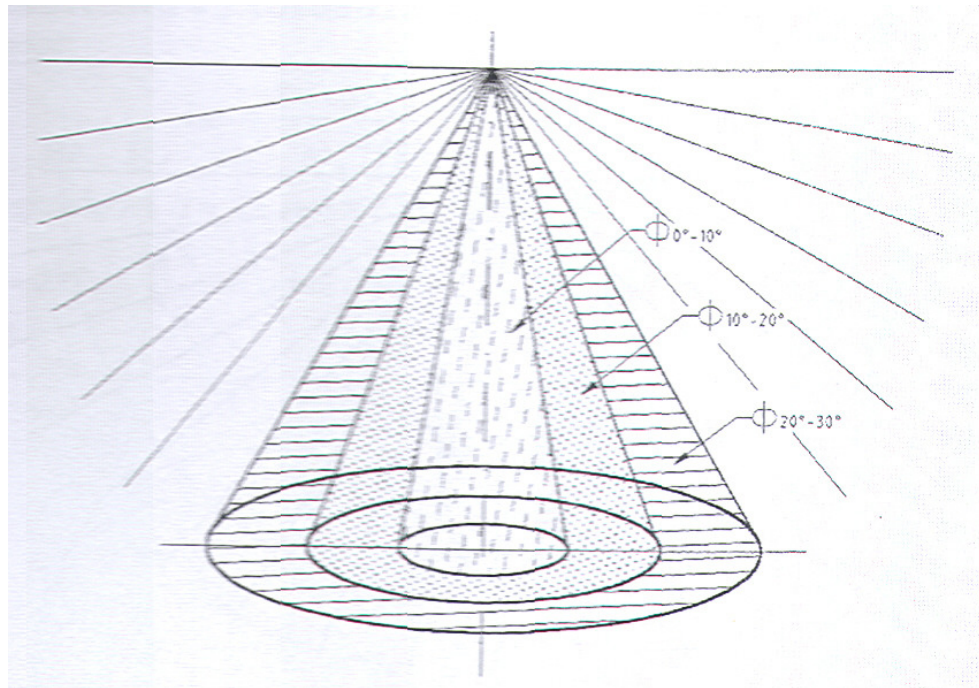


## GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

### Fluxo luminoso e intensidade luminosa

No caso de uma fonte luminosa que emita todo o seu fluxo com uma curva de distribuição luminosa idêntica para qualquer plano vertical que passe pelo seu eixo, temos:

$$\phi = \int_0^{\Omega} I d\omega$$



Que pode ser calculado mediante a seguinte expressão:

## GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

### Fluxo luminoso e intensidade luminosa

$$\Phi = 2\pi \sum_{i=0}^{i=n} I_{\alpha} [\cos \alpha_i - \cos(\alpha_i + \Delta\alpha)]$$

em que:

$\Delta \alpha$  = semi-ângulo de abertura do cone no qual é subdividido o fluxo luminoso;

$I_{\alpha}$  = intensidade média emitida no cone  $i$ ;

$n$  = número de cones;

Por exemplo, se o fluxo emitido pela fonte luminosa tiver um diagrama de repartição da intensidade como o indicado na figura seguinte, podemos utilizar a expressão indicada, tendo:

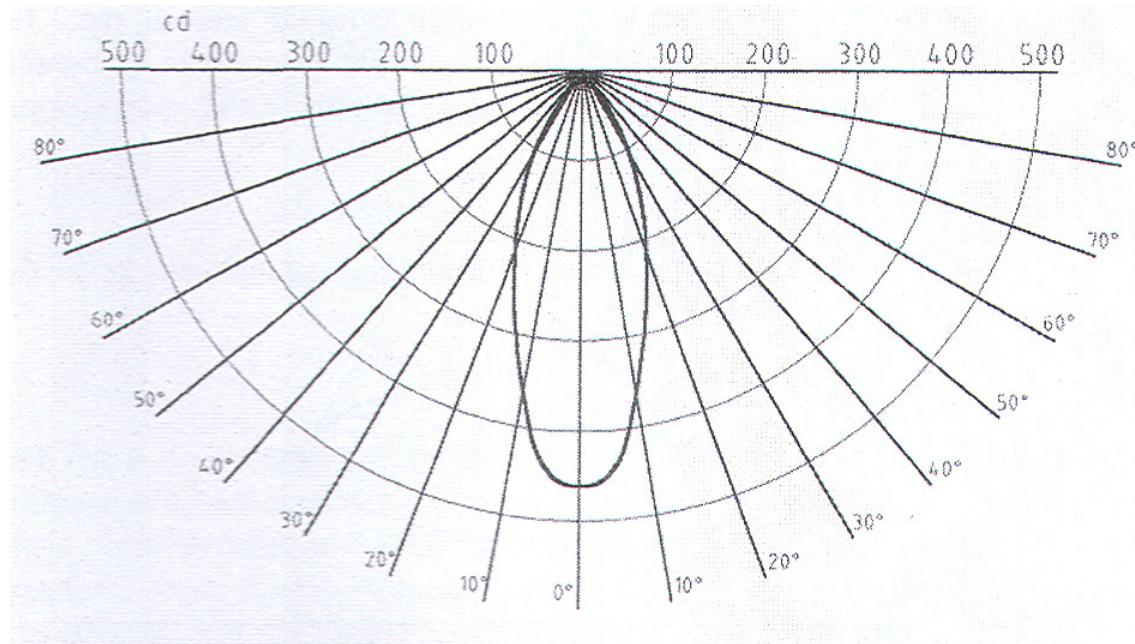
$$n = 4;$$

$$\Delta \alpha = 10^{\circ};$$

Sendo  $I_{\max}$  indicada no diagrama 450 cd, retiramos do mesmo as intensidades no centro de cada uma das zonas:

## GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

### Fluxo luminoso e intensidade luminosa



$I_1 = 450 \text{ cd}; I_2 = 280 \text{ cd}; I_3 = 150 \text{ cd}; I_4 = 50 \text{ cd}$

E o fluxo total é dado por:

$$\Phi = 2\pi[450(\cos 0^\circ - \cos 10^\circ) + 280(\cos 10^\circ - \cos 20^\circ) + 150(\cos 20^\circ - \cos 30^\circ) + 50(\cos 30^\circ - \cos 30^\circ)] = 335 \text{ lm}$$

## GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

### Iluminação ou iluminância

GL07

Iluminação ou iluminância: fluxo luminoso recebido por unidade de área iluminada.

$$E = \frac{\phi_r}{S}$$

Unidade (no sistema internacional): lux (lx).

Um lux é a iluminância produzida por um fluxo de 1 lm, distribuído de modo uniforme sobre uma superfície de 1 m<sup>2</sup>.

Unidade inglesa: footcandle (fc).  $1fc = 1lm / ft^2 = 10.764lux$

Por exemplo, um campo de futebol cuja iluminância horizontal média seja de 300 lux, sobre uma área de 105 m por 65 m, ou seja 6825 m<sup>2</sup>, recebe um fluxo luminoso de  $300 \times 6825 = 2\,047\,500$  lm.

## **GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA**

### **Iluminação ou iluminância**

O fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas que iluminam o campo deve ser superior a esse valor, para ter em atenção o fluxo perdido no interior do projector e o fluxo que incide no exterior da área de jogo.

A iluminância é uma unidade base da luminotecnica, à qual fazem referência todas as recomendações e tabelas relativas ao nível de iluminação recomendado, que deve ser assegurado nas diversas aplicações.

A iluminância natural varia desde 0 até cerca de 100 000 lux, num dia com sol limpo.

A iluminação artificial necessária varia de 5 a 30 lux, para a iluminação pública, até a centenas ou milhares de lux para iluminação interior, em função das tarefas visuais que é necessário realizar.

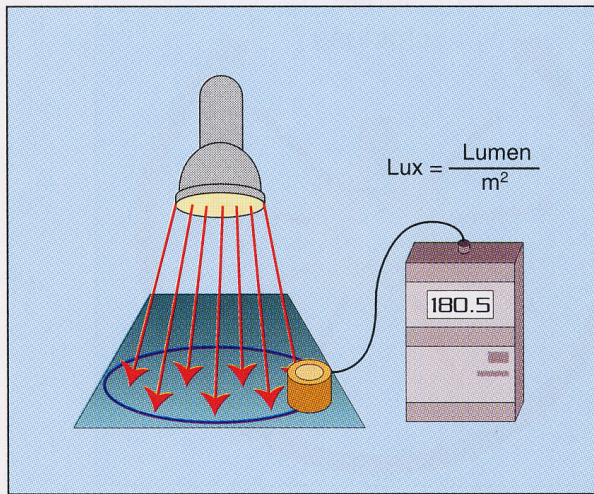
# GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

## Medição da iluminância: luxímetro

GL08



A medida do nível de iluminância realiza-se por meio de um aparelho especial chamado luxímetro, o qual consiste numa célula fotoelétrica, sobre a qual se faz incidir o fluxo luminoso, que gera uma fraca corrente eléctrica, a qual aumenta em função do fluxo incidente.



AAT



# GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

## Luminância

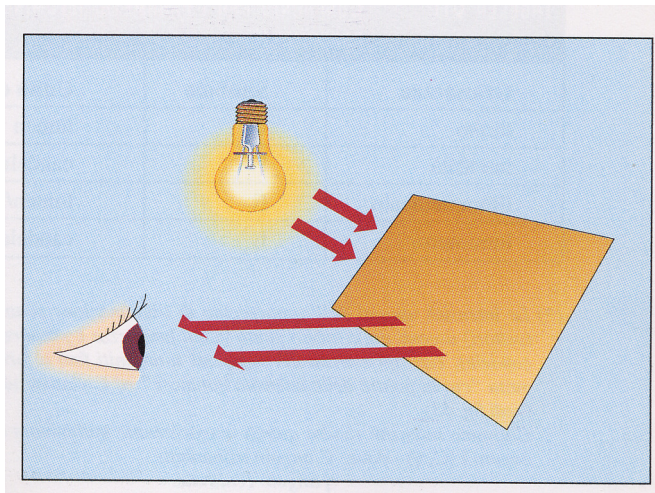
GL09

Luminância: quociente entre a intensidade  $I$  emitida por uma fonte luminosa ou por uma superfície reflectora e a sua área aparente.

$$L = \frac{I}{S_a}$$

A área aparente é a área projectada num plano perpendicular à direcção de observação.

Unidade: cd/m<sup>2</sup>



## GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

### Luminância

Se considerarmos uma armadura de iluminação constituída por uma esfera opalina, com a considerada na figura (ver figura), com um diâmetro de 30 cm, emitindo em todas as direcções uma intensidade luminosa de 100 cd, a sua luminância em qualquer direcção é dada por:

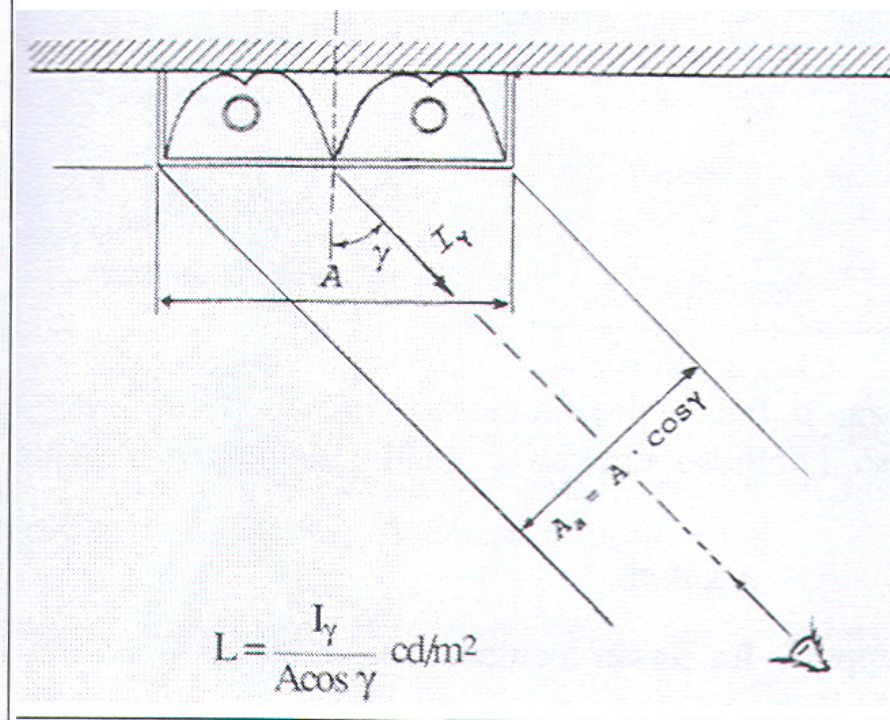
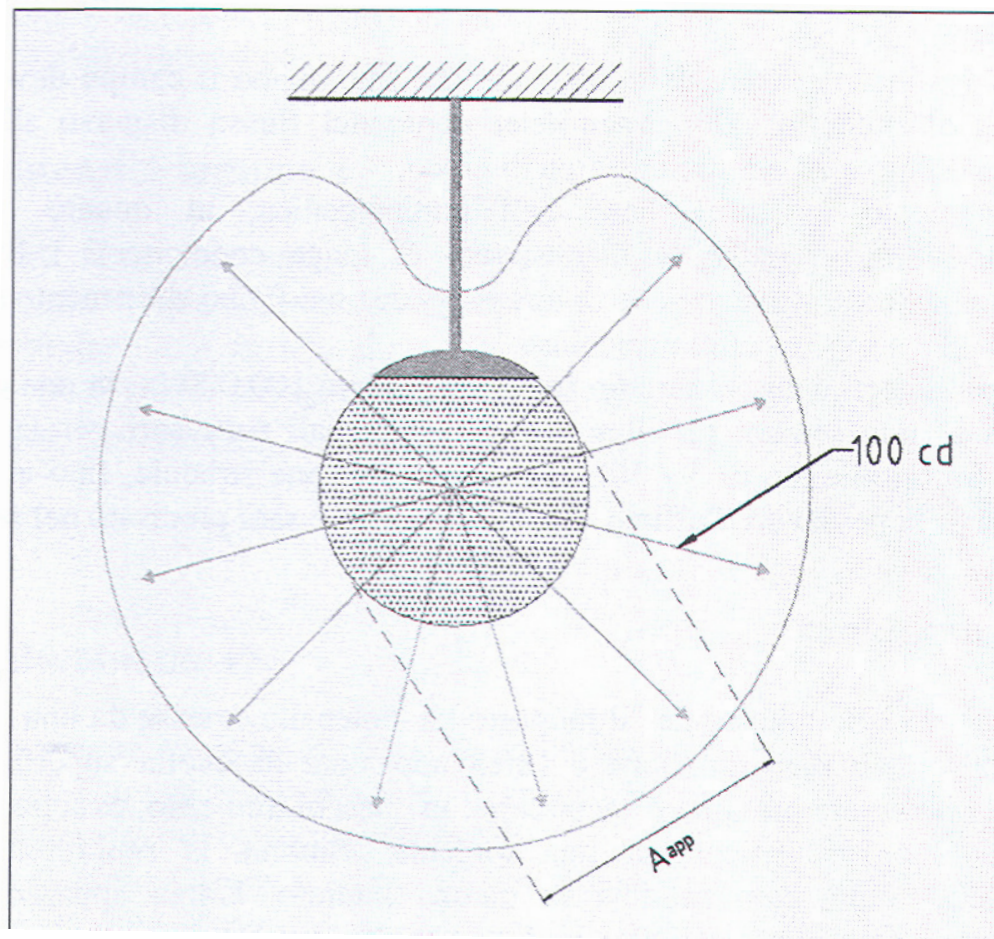
$$L = \frac{I}{S_a} = \frac{100}{\frac{\pi}{4} \times 0,3^2} = 1415 \text{ cd / m}^2$$

Verifica-se que, neste caso, a luminância permanece constante qualquer que seja a direcção considerada.

A luminância é uma grandeza fundamental para a visão, dado que é a luminância dos objectos que nos dá a sensação visual.

# GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

## Luminância



## GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

### Luminância

Do mesmo modo, a luminância  $L_\gamma$  de uma armadura de iluminação, com uma área luminosa horizontal de  $4500 \text{ cm}^2$ , numa dada direcção (ver figura), que faça um ângulo  $\gamma$  com a vertical e que emite nessa direcção uma intensidade de  $2000 \text{ cd}$ , pode ser calculada da seguinte forma:

$$L_\gamma = \frac{I_\gamma}{S_\gamma} = \frac{I_\gamma}{S \times \cos \gamma} = \frac{2000}{0,45 \times \cos 45^\circ} = 6285,4 \text{ cd / m}^2$$

em que:

$I_\gamma$  = intensidade emitida na direcção considerada;

$S_\gamma$  = área aparente da armadura vista da direcção considerada

## **GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA**

### **Luminância**

Indicam-se de seguida alguns valores de luminância de vários tipos de fontes luminosas:

Superfície do sol	$1\,650 \times 10^6 \text{ cd / m}^2$
O céu na direcção sul	$16\,000 \text{ cd / m}^2$
O céu na direcção norte	$8\,000 \text{ cd / m}^2$
Uma folha branca bem iluminada artificialm.	$100 \text{ cd / m}^2$
Uma estrada bem iluminada artificialmente	$2 \text{ cd / m}^2$

# GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

## Medida da luminância

GL10

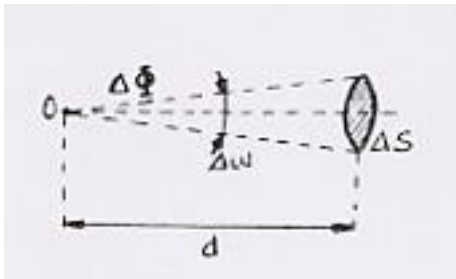


A medida da luminância realiza-se por meio de um aparelho especial chamado luminâncímetro. Baseia-se em dois sistemas ópticos: um de direcção e outro de medição.

Em relação à direcção, o aparelho orienta-se de forma a que a imagem coincida com o ponto a medir. Uma vez orientado, a luz que lhe chega é convertida em corrente eléctrica medida de forma analógica ou digital, sendo os valores dados em  $\text{cd/m}^2$ .



## LEI DO INVERSO DO QUADRADO DA DISTÂNCIA



$$E = \frac{\Delta\phi}{\Delta S} = I \frac{\Delta\omega}{\Delta S} = \frac{I}{d^2}$$

Se  $I = 200$  cd e  $d = 1$  m temos:

$$E = 200 / 1^2 = 200 \text{ lux}$$

Se  $I = 200$  cd e  $d = 8$  m, teremos:

$$E = 200 / 8^2 = 3,1 \text{ lux}$$

A iluminação num ponto de uma superfície, situado no pé da perpendicular baixada da fonte, varia proporcionalmente à intensidade luminosa e é inversamente proporcional ao quadrado da distância.

Esta lei só é válida para fontes luminosas cujas dimensões são pequenas em relação à distância  $d$ , e que se podem considerar como pontuais.

Admite-se que esta lei é praticamente exacta com a condição de que a distância  $d$  seja igual a mais de 5 vezes o maior diâmetro da fonte.

## LEI DO COS DO ÂNGULO DE INCIDÊNCIA

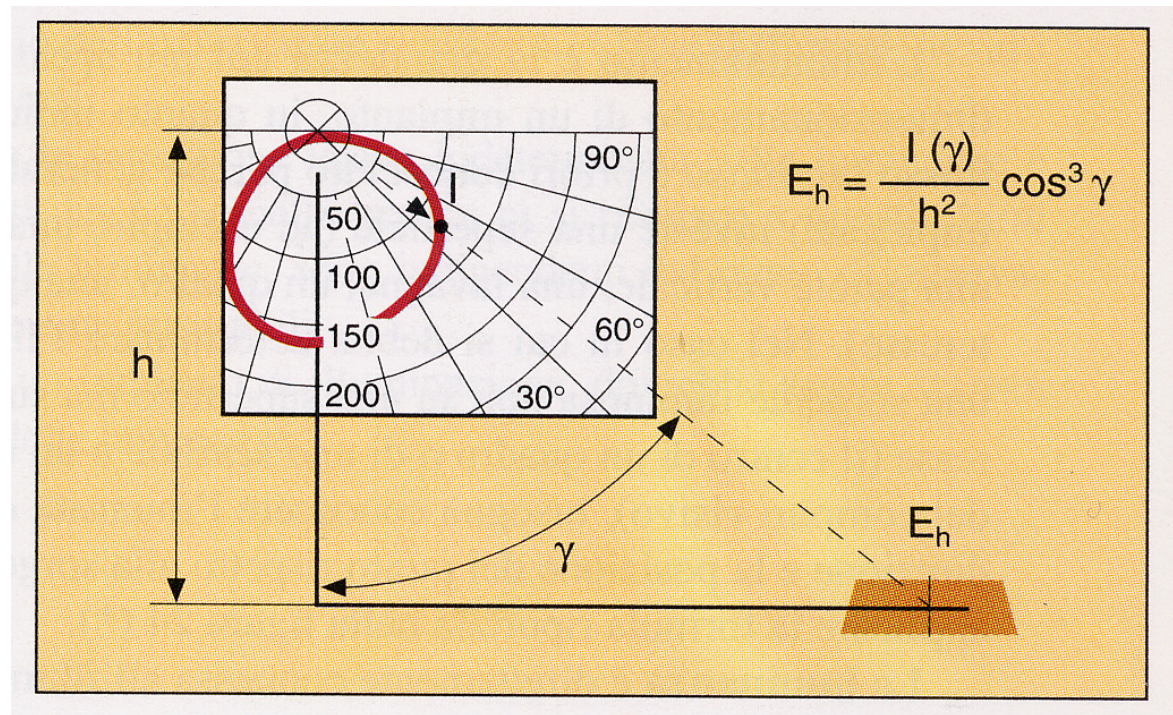
Se considerarmos  $I(\gamma)$  a intensidade emitida segundo o ângulo  $\gamma$ , a iluminância no plano horizontal num ponto do plano nessa direcção é inversamente proporcional ao quadrado da altura da fonte luminosa, directamente proporcional à intensidade luminosa emitida nessa direcção e varia com o  $\cos^3$  do ângulo de incidência.

$$\text{Se } I(\gamma) = 125 \text{ cd}$$

$$h = 3 \text{ m}$$

$$\gamma = 45^\circ$$

$$E_h = 125 / 3^2 \times \cos^3 45^\circ = 4,9 \text{ lux}$$



## GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

### **Lei de Lambert**

Existem superfícies que apresentam a mesma luminância seja qual for o ângulo a partir do qual sejam observadas

Se for  $L_0$  a luminância de uma superfície deste tipo, segundo uma direcção perpendicular à mesma e  $L_\alpha$  a sua luminância, quando observada a partir de um ângulo  $\alpha$ , temos:

$$L_0 = L_\alpha$$

e portanto:

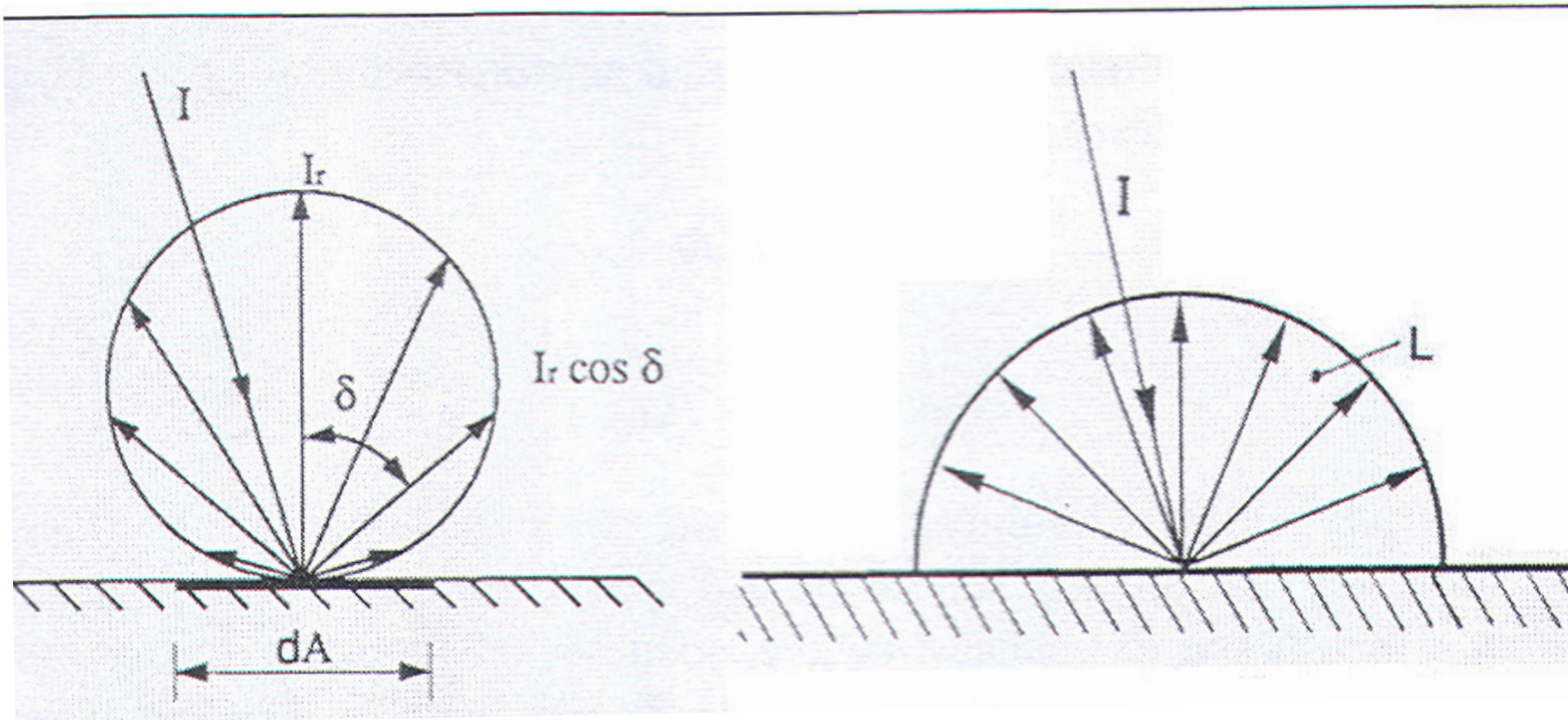
$$I_0/S = I_\alpha / (S \times \cos \alpha)$$

ou seja:

$$I_\alpha = I_0 \times \cos \alpha$$

conhecida como lei de Lambert.

## GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA



## RELAÇÃO ENTRE ILUMINAÇÃO E LUMINÂNCIA

Se uma superfície satisfaz à lei de Lambert, temos:

$$L = \rho E / \pi$$

em que  $\rho$  é o factor de reflexão da superfície em causa, ou seja é o quociente entre o fluxo emitido e o fluxo incidente na superfície:

$$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_i}$$

Assim, a luminância de uma superfície perfeitamente difusora, com um factor de reflexão de 70% e com uma iluminância de 1000 lux, é dada por:

$$L = \frac{\rho \times E}{\pi} = \frac{0,7 \times 1000}{\pi} = 223 \text{ cd} / \text{m}^2$$

## RELAÇÃO ENTRE ILUMINAÇÃO E LUMINÂNCIA

Se a superfície que obedece à lei de Lambert for translúcida teremos:

$$L = \frac{\tau \times E}{\pi}$$

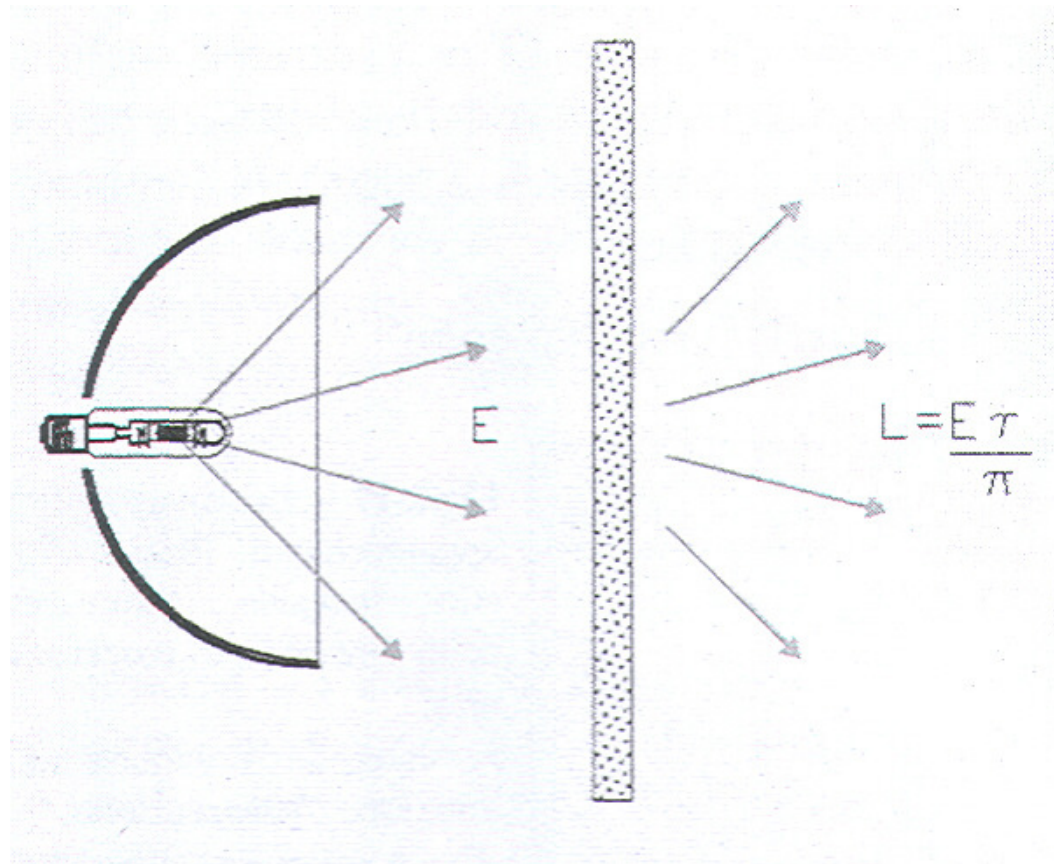
em que  $\tau$  é o factor de transmissão do material que constitui a superfície em causa, ou seja é o quociente entre o fluxo transmitido e o fluxo incidente:

$$\tau = \frac{\Phi_t}{\Phi_i}$$

Temos na figura seguinte uma situação deste tipo, em que o fluxo proveniente de uma armadura incide numa superfície translúcida, cuja luminância pode ser calculada pela lei de Lambert.



## RELAÇÃO ENTRE ILUMINAÇÃO E LUMINÂNCIA

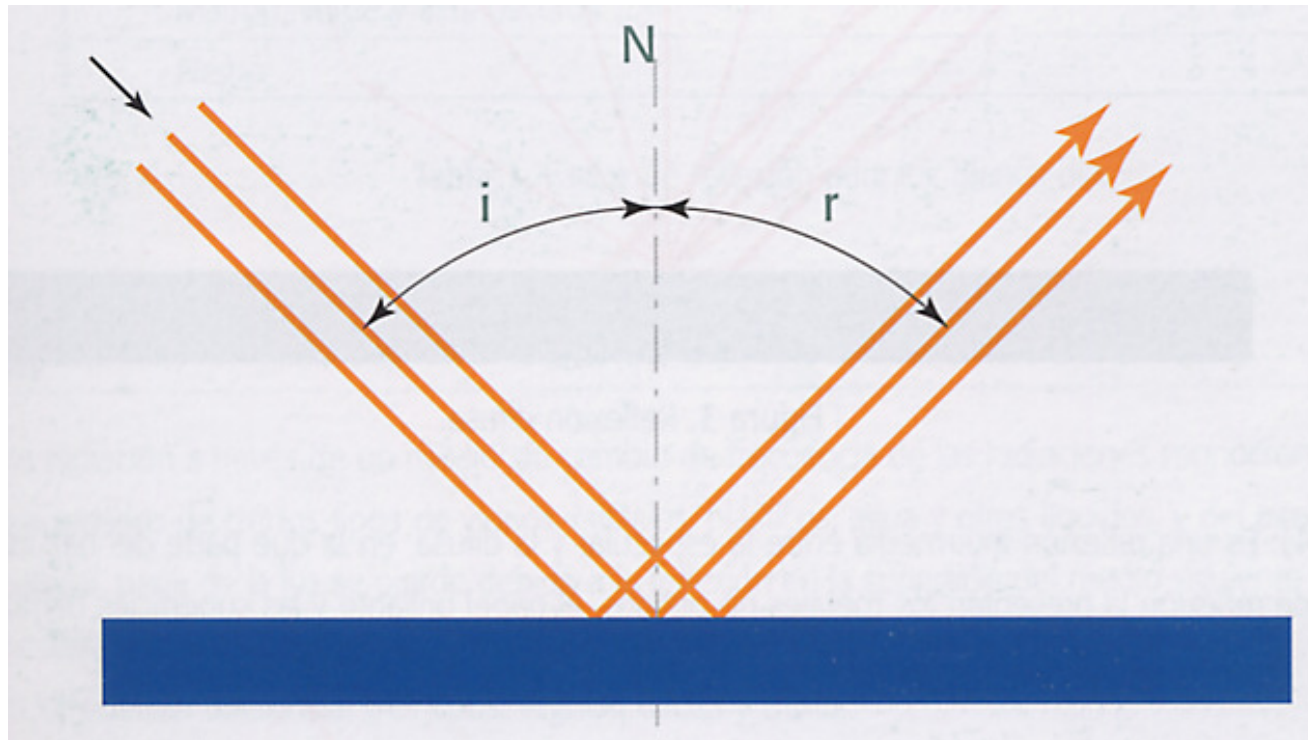


# PROPRIEDADES ÓPTICAS DA MATÉRIA

## Reflexão especular

Na reflexão regular ou especular o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência.

Têm este tipo de reflexão as superfícies polidas ou espelhadas.

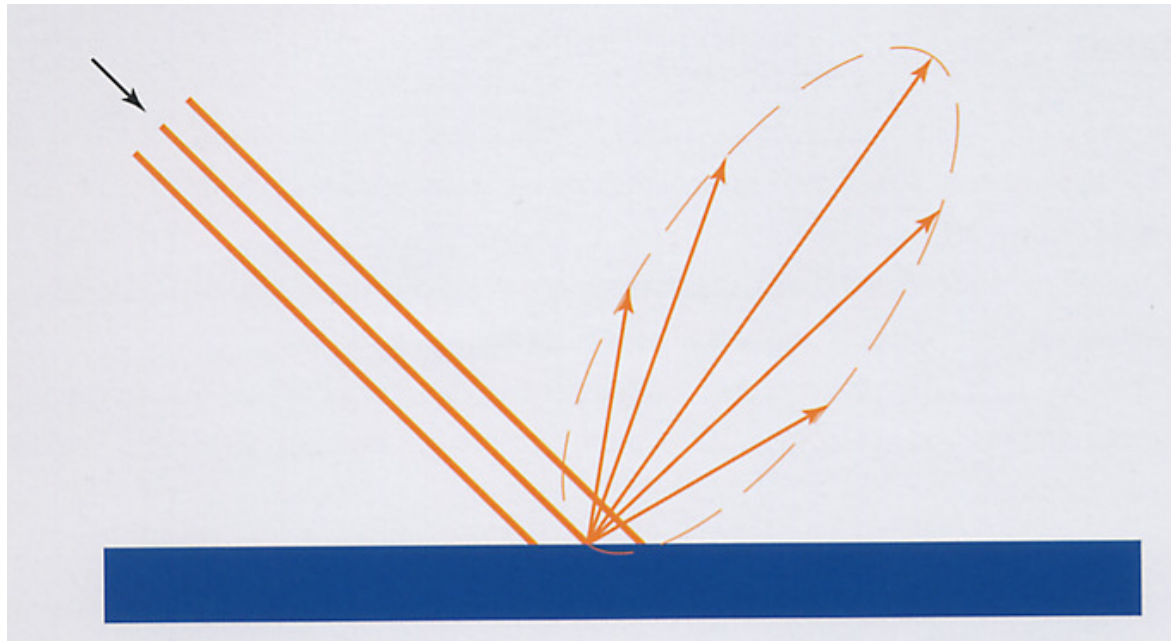


# PROPRIEDADES ÓPTICAS DA MATÉRIA

## Reflexão composta

Ao contrário do que acontece com a reflexão especular neste caso não há imagem da fonte de luz, mas o ângulo de intensidade máxima reflectida é igual ao ângulo de incidência.

Este tipo de reflexão ocorre quando a superfície é irregular ou rugosa.

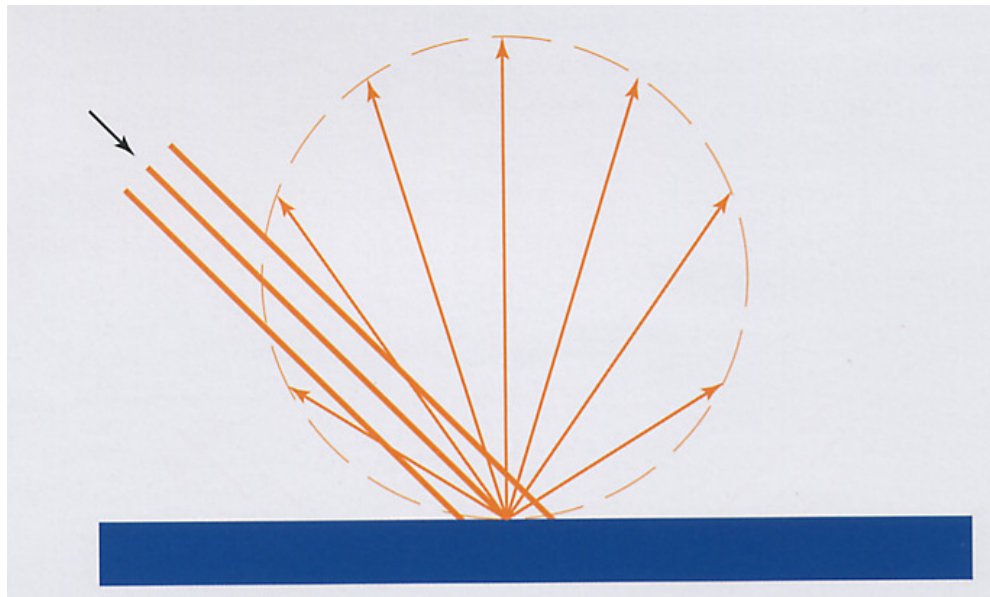


# PROPRIEDADES ÓPTICAS DA MATÉRIA

## **Reflexão difusa**

Produz-se quando a luz que incide sobre uma superfície é reflectida em todas as direcções, com um máximo perpendicular à superfície, satisfazendo à lei de Lambert.

Este tipo de reflexão produz-se em superfícies como o papel branco mate, os revestimentos de paredes e tectos, etc.

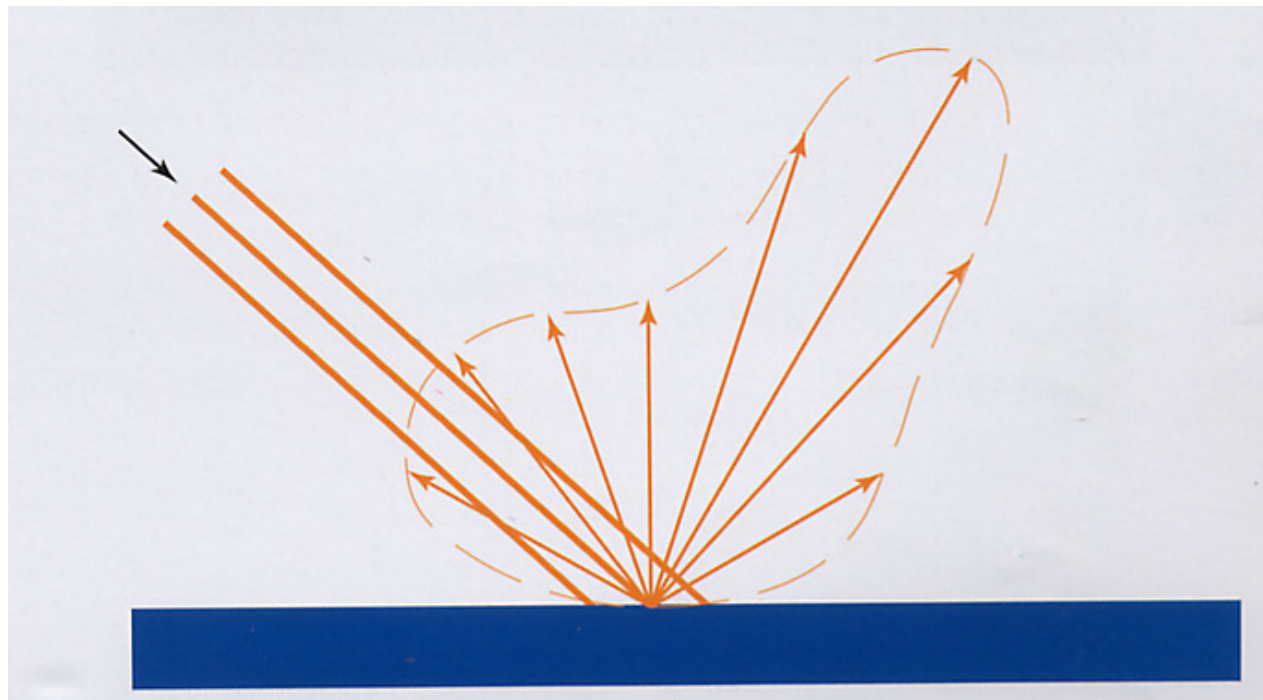


# PROPRIEDADES ÓPTICAS DA MATÉRIA

## **Reflexão mista**

É uma reflexão intermédia entre a reflexão especular e a difusa em que parte do feixe incidente se reflecte e outra parte se difunde.

Este tipo de reflexão é a que apresentam os metais não polidos, o papel brilhante e as superfícies envernizadas.



## **RADIAÇÃO ELECTROMAGNÉTICA E GAMA DE RADIAÇÃO VISIVEL**

A figura seguinte representa um quadro geral da radiação electromagnética na qual é indicada a gama de radiações visíveis, que constitui uma estreita zona da radiação electromagnética.

Quando a radiação tem um comprimento de onda de 555 nm, a resposta dos olhos é máxima e apresenta o valor 1, com se pode ver numa figura mais adiante.

Para as radiações de comprimento de onda menor ou maior de 555 nm, a resposta decresce até anular-se no extremo da gama das radiações visíveis: 380 nm a 780 nm.

Essa curva, de sensibilidade dos olhos, exprime o factor espectral de visibilidade é chamada curva ou função  $V(\lambda)$ .

A unidade energética que corresponde à resposta máxima ( $V(\lambda)=1$ ) dá lugar a uma quantidade de luz, ou mais correctamente a um fluxo luminoso de 683 lm.



## RADIAÇÃO ELECTROMAGNÉTICA E GAMA DE RADIAÇÃO VISIVEL

$$\Phi = 683 \times \int_{380}^{780} \varepsilon V(\lambda) d\lambda$$

O fluxo luminoso exprime portanto a quantidade total de radiação emitida na unidade de tempo por uma fonte luminosa primária ou secundária, ponderada de acordo com a sensibilidade espectral dos olhos humanos.

A radiação que dá lugar a um valor máximo de fluxo luminoso é a relativa a um comprimento de onda de 555 nm.

O rendimento luminoso é o quociente entre o fluxo luminoso e a potência absorvida por uma fonte luminosa, podendo afirmar-se que uma fonte luminosa que converta 1W em radiação com um comprimento de onda de 555 nm, tem um rendimento luminoso de 683 lm/W, o qual é o rendimento máximo que é possível obter.

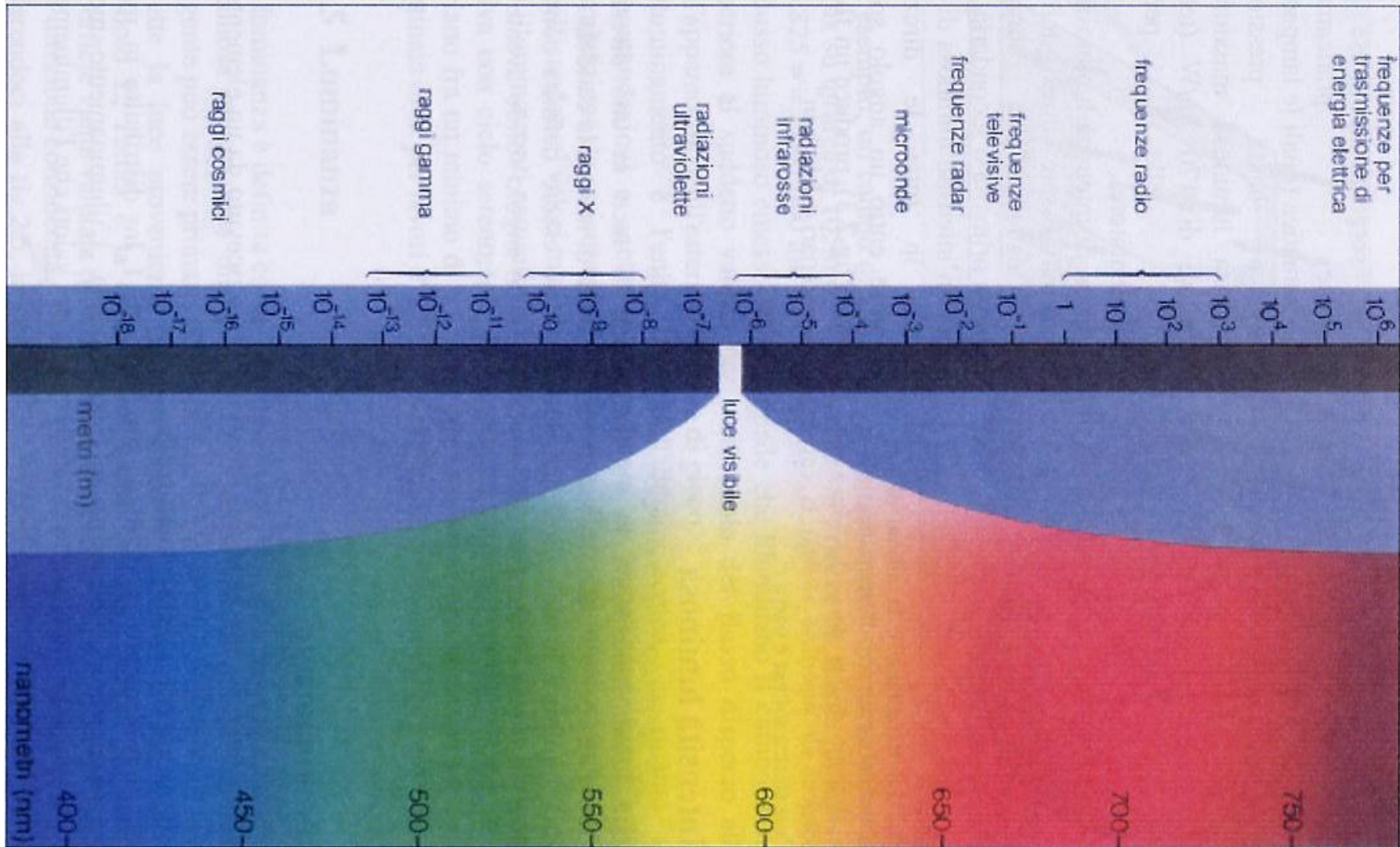
## **RADIAÇÃO ELECTROMAGNÉTICA E GAMA DE RADIAÇÃO VISIVEL**

As radiações com um comprimento de onda inferior a 380 nm (de 100 a 380 nm), que não produzem qualquer sensação visual pertencem à zona dos ultravioletas.

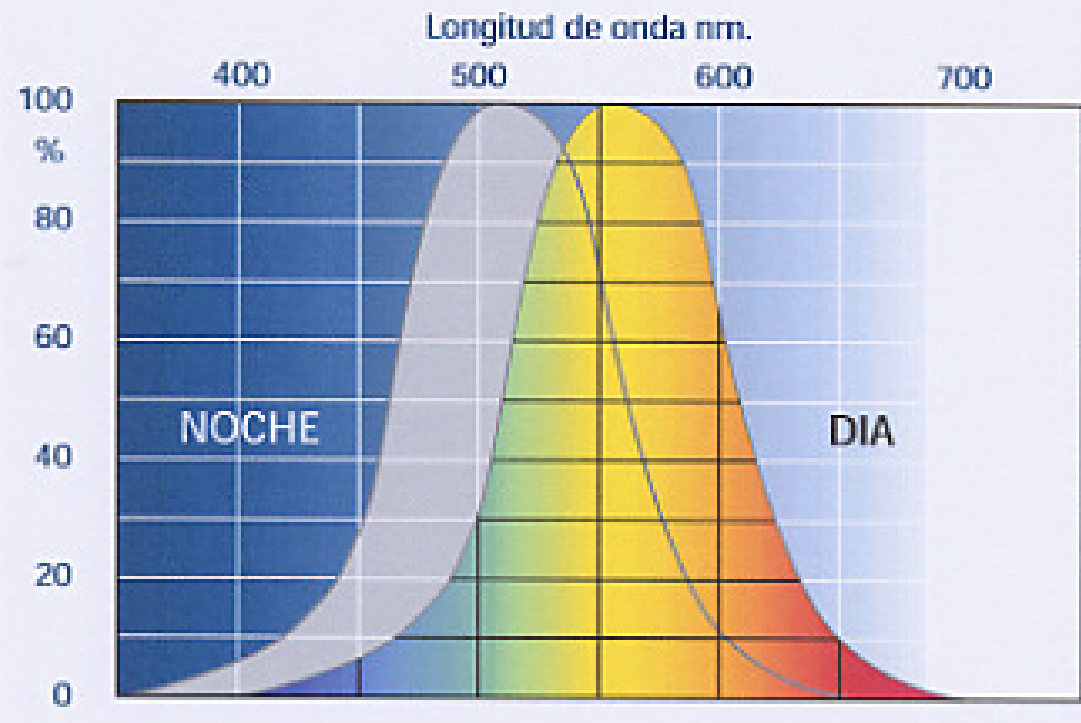
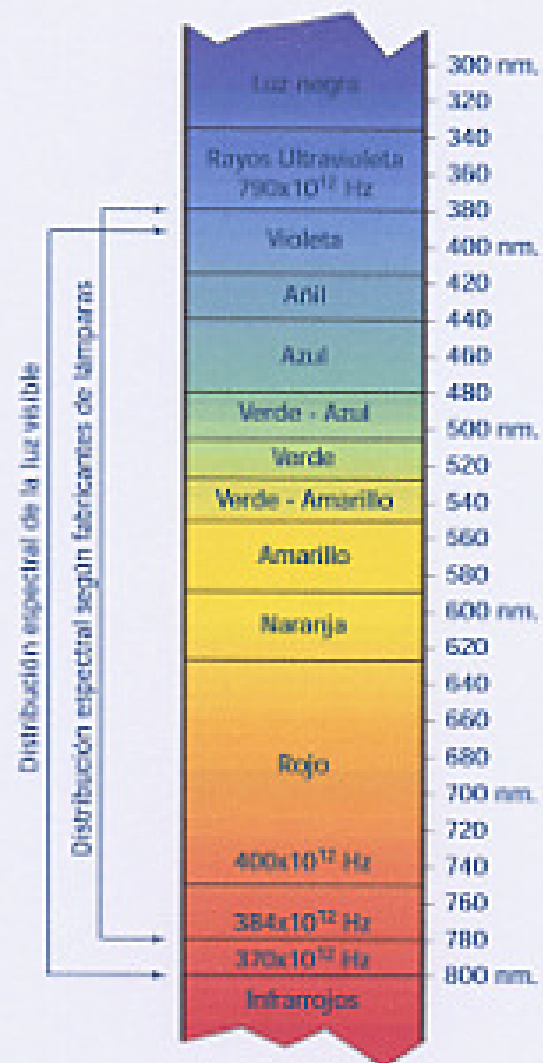
As radiações ultravioletas mais próximas da gama da radiação visível são consideradas benéficas para a saúde humana, enquanto que as de menor comprimento de onda são potencialmente perigosas para os olhos e para a pele, mas são utilizadas como desinfectantes (bactericidas).

As radiações com um comprimento de onda superior a 780 nm são as radiações infravermelhas, as quais produzem uma sensação de calor.

# RADIAÇÃO ELECTROMAGNÉTICA E GAMA DE RADIAÇÃO VISIVEL



# ESPECTRO VISÍVEL E SENSIBILIDADE DOS OLHOS



## ESPECTRO VISÍVEL E SENSIBILIDADE DOS OLHOS

