

Visão e Iluminação

1. Objetivo:

O objetivo final é o de se realizar um **projeto de iluminação**.

2. Tópicos

- Vista Humana
- Grandezas e Unidades Fotométricas
- Relações Básicas entre essas Grandezas
- Curvas de Desempenho de Luminárias
- Exigências de uma boa Iluminação
- Cálculo de Iluminação
- Método dos Lúmens
- Método ponto a ponto
- Exemplos (escritório / garagem)

Radiações Eletromagnéticas

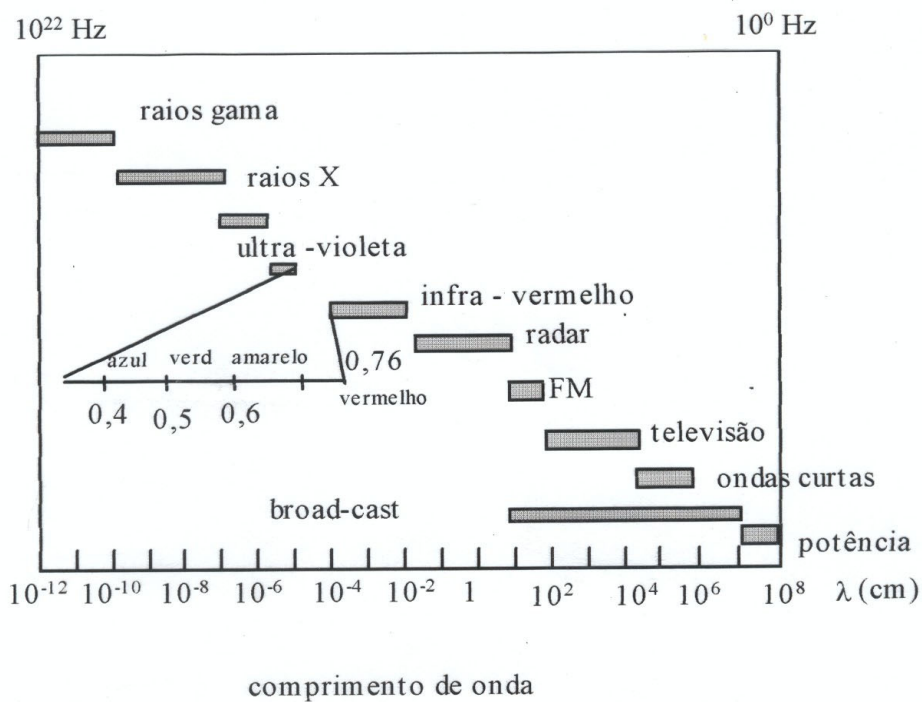
- Equação da Propagação

$$c = f \cdot \lambda$$

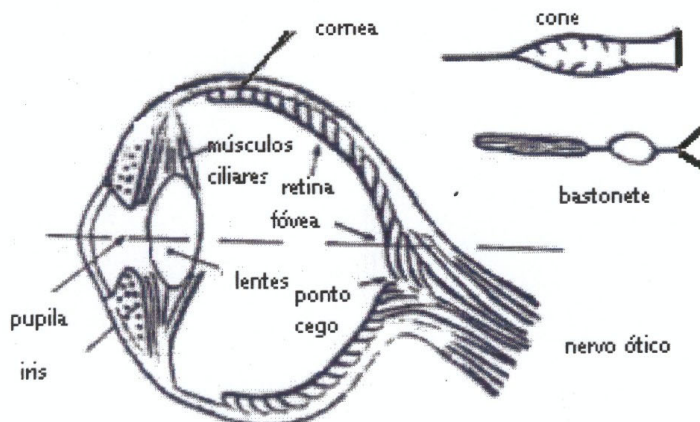
c - Velocidade de Propagação

f - Frequência da Radiação

λ - Comprimento de Onda da Radiação



Olho Humano



Fóvea - Grande concentração de cones (sensíveis à cor)

Bastonete - distribuem-se pela retina (insensíveis à cor). Vários para cada terminação nervosa

Íris - Controla intensidade de luz que incide na retina (“Adaptação”)

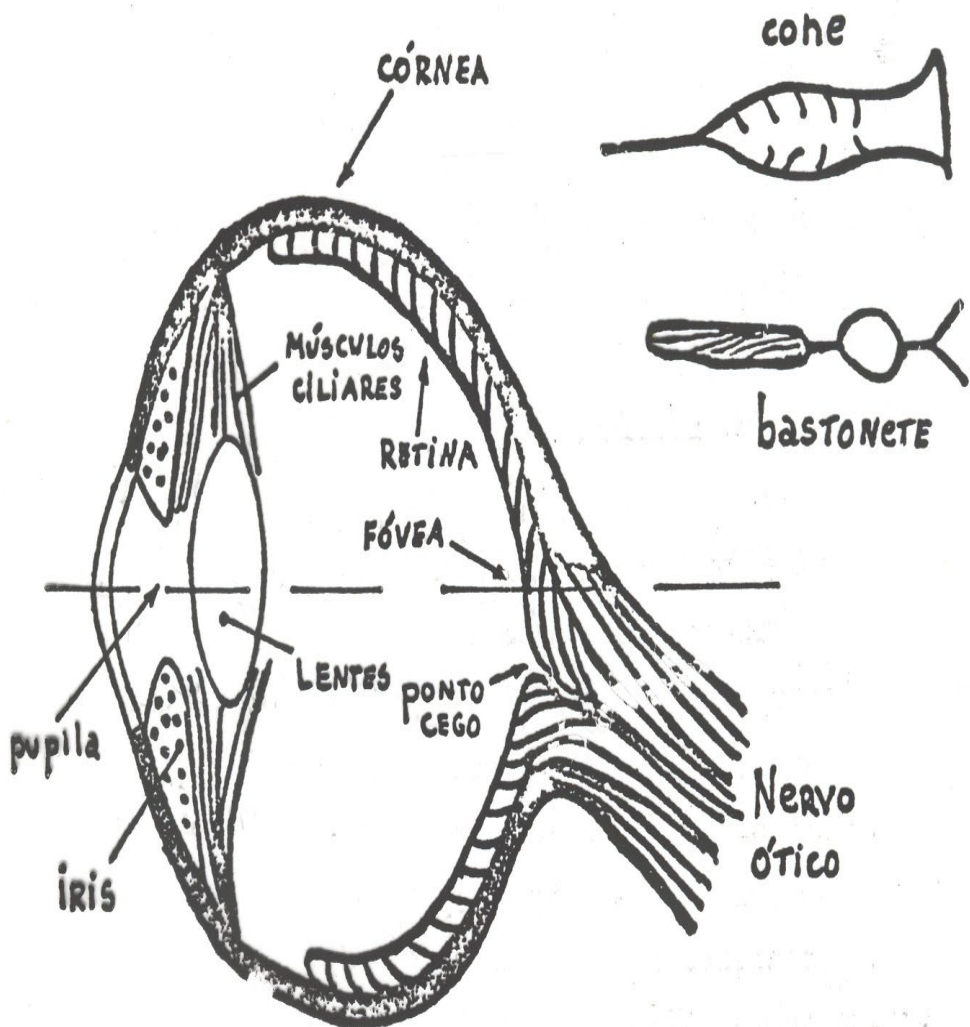
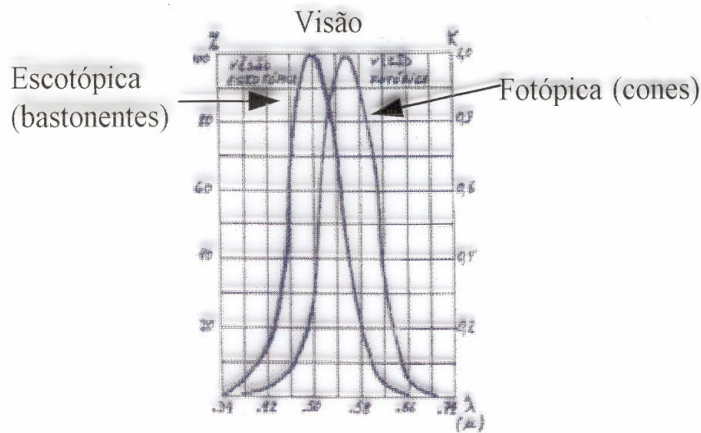
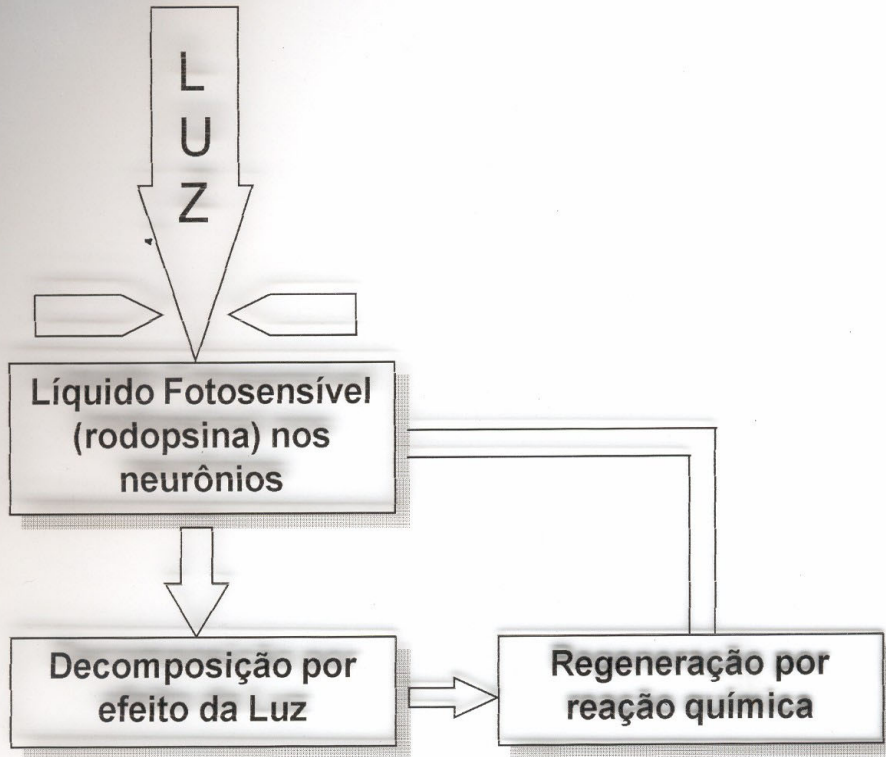


Fig.2.1.- Olho humano.

Mecanismo da Visão



Definições

- Luz Emitida

$J_E(\lambda)$ - Energia irradiada com comprimento de onda

$J_E(\lambda) d\lambda$ - Energia total $\lambda \rightarrow \lambda + \Delta\lambda$

$$Q_E = \int_0^{+\infty} J_E(\lambda) d\lambda$$

Q_E - Energia irradiada

$K(\lambda)$ - Fator de eficiência luminosa

$J(\lambda)$ - Energia luminosa irradiada

$$J(\lambda) = J_E(\lambda) \cdot K(\lambda)$$

$$Q = \int_0^{+\infty} J(\lambda) d\lambda = \int_0^{0,380} J_E(\lambda) \cdot K(\lambda) d\lambda + \dots$$

$$\int_{0,380}^{0,760} J_E(\lambda) \cdot K(\lambda) d\lambda + \int_{0,760}^{+\infty} J_E(\lambda) \cdot K(\lambda) d\lambda$$

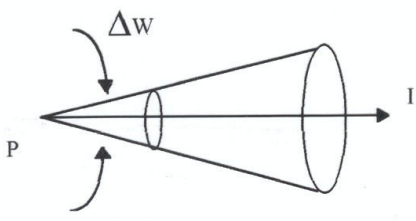
$$Q = 0 + \int_{0,380}^{0,760} J_E(\lambda) \cdot K(\lambda) d\lambda + 0$$

Q - Energia luminosa irradiada

Fluxo Luminoso - (Φ)

$$\Phi = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

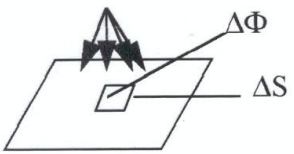
Intensidade Luminosa de fonte puntiforme



$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta\omega}$$

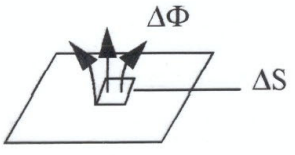
Densidade superficial de fluxo

- Iluminação (luz recebida)



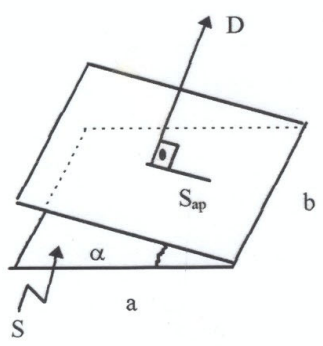
$$E = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta s} = \frac{d\Phi}{ds}$$

- Emitância (luz emitida)



$$H = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta s} = \frac{d\Phi}{ds}$$

- Luminância segundo uma direção



$$s = A \cdot B$$

$$s_{AP} = A \cdot B \cdot \cos(\alpha)$$

$$L = \lim_{s_{AP} \rightarrow 0} \frac{I}{A \cdot B \cdot \cos(\alpha)} = \frac{dI}{ds_{AP}}$$

Unidades

Luz: - Fluxo Luminoso: lúmen (lm)

Fonte: - Intensidade Luminosa: candela (cd)

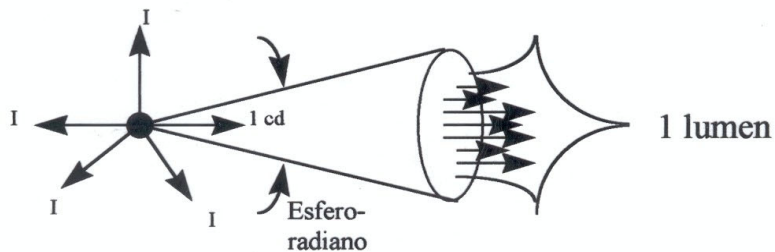
- Luminância: nit (nt)

- Emitância: radiolux (rdlx)

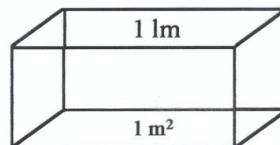
Objeto Iluminado: - Iluminamento: lux (lx)

Candela: o valor da candela é tal que a luminância do corpo negro na temperatura de solidificação da platina é de 60 cd/cm^2 .

Lúmen: fluxo segundo ângulo sólido de 1 esfero-radiano por fonte puntiforme com $I = 1$ candela.



$$\text{lux} = \frac{\text{fluxo } 1 \text{ lm}}{\text{área } 1 \text{ m}^2}$$



Unidades inglesas e nacionais

$$\text{footcandle} = \frac{1 \text{ lumen}}{1 \text{ pe}^3} = \frac{1}{0,3048^2} = 0,0929 \text{ lm}$$

$$\text{fot} = \frac{1 \text{ lumen}}{\text{cm}^2} = \frac{1}{10^{-4}} = 10^4 \text{ lux}$$

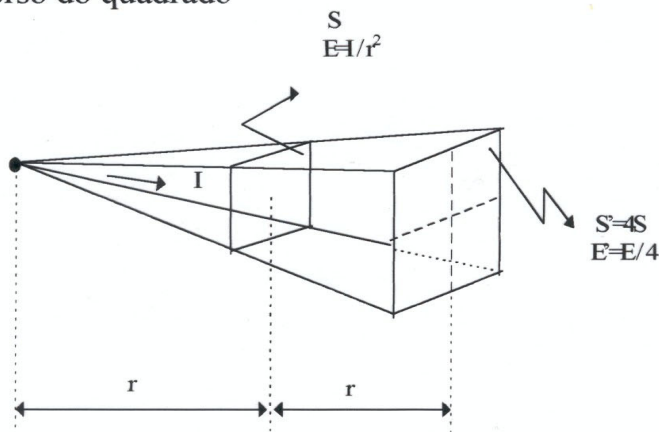
$$\text{radio fot} = 10^4 \text{ radio lux}$$

$$\text{lambert} = \text{radio fot}$$

$$\text{footlambert} = \frac{1 \text{ lumen}}{1 \text{ pe}^2} = 0,0929 \text{ radio lux}$$

Relações básicas

Lei do inverso do quadrado



$$\Delta\phi = I \Delta w$$

$$\Delta s = R^2 \Delta w \text{ (intersecção esfera com centro em P e raio R)}$$

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta s} = \frac{I \Delta w}{R^2 \Delta w} = \frac{I}{R^2}$$

$$E = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta\phi}{\Delta s} = \frac{I}{R^2}$$

Lei do cosseno

$$\Delta\Phi = E \cdot \Delta S$$

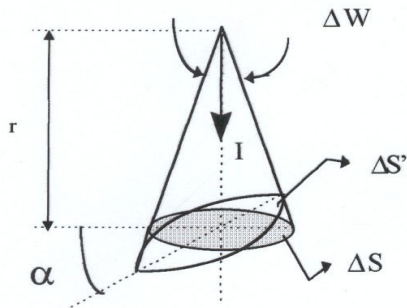
$$\Delta\Phi = I \cdot \Delta\omega$$

$$\Delta\Phi = E' \cdot \Delta S'$$

$$\frac{E'}{E} = \frac{\Delta S}{\Delta S'} = \frac{\Delta S}{\Delta S \cdot \cos\alpha}$$

$$E' = E \cdot \cos\alpha$$

$$E' = \frac{I}{r^2} \cdot \cos\alpha$$



Curvas Fotométricas

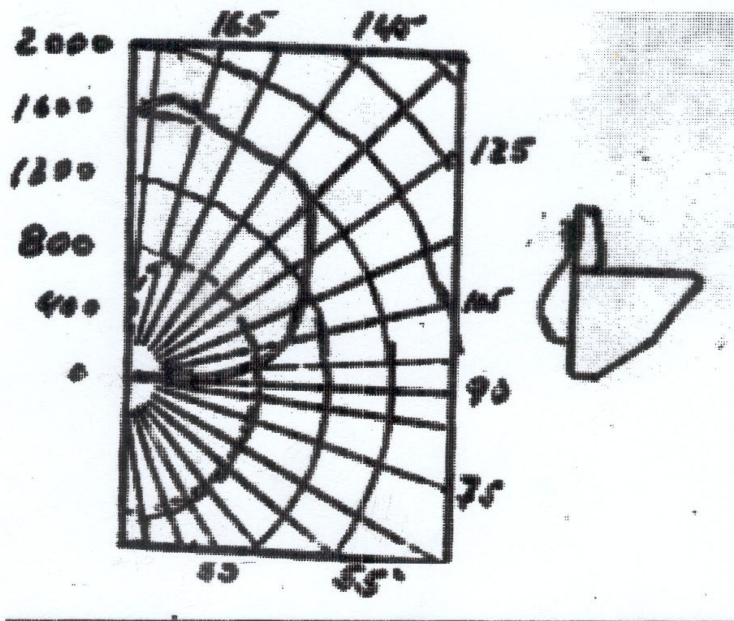
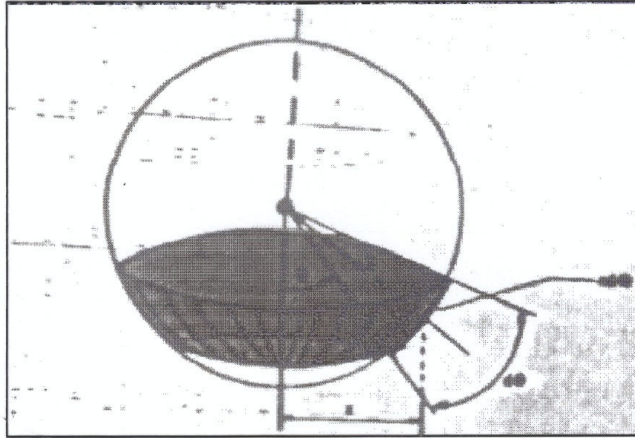


Diagrama polar: I(θ)

Cálculo do fluxo luminoso a partir da curva fotométrica



$$dS = 2 \pi \times R \, d\theta = 2 \pi R^2 \, \text{sen}\theta \, d\theta$$

$$dW = \frac{dS}{R^2} = 2 \pi \, \text{sen}\theta \, d\theta$$

$$d\phi = I \, dW = 2 \pi I \, \text{sen}\theta \, d\theta$$

Fluxo entre ângulos α_1 e α_2 nos quais $I = \text{constante}$

$$\Phi_{1,\alpha} = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} d\Phi = 2\pi I \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \text{sen}\theta \, d\theta = 2\pi I (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$$

$$\text{Fator de zona} = 2\pi(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$$

$$\text{Usualmente } \alpha_1 - \alpha_2 = 5^\circ$$

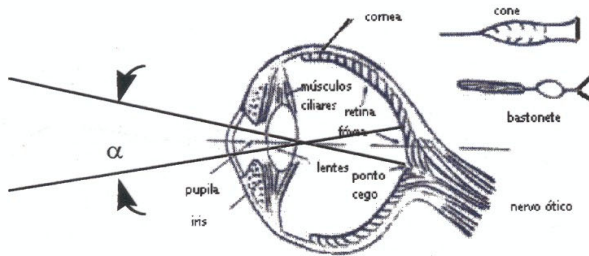
Fator de zona (F_z)

11

$$\phi(\alpha_1, \alpha_2) = F_z(\alpha_1, \alpha_2) \cdot I([\alpha_1 + \alpha_2]/2)$$

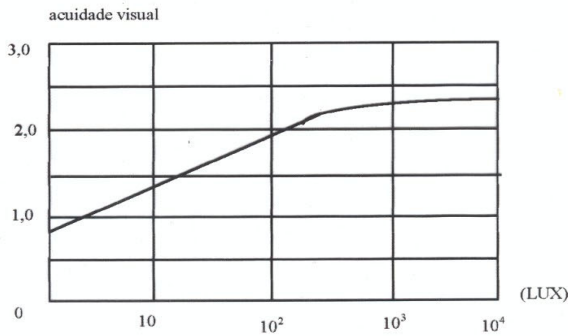
Zona		Direção em que I deve ser tomado		Fator de Zona
Hemisfério Inferior	Hemisfério Superior	Hemisfério Inferior	Hemisfério Superior	
0 - 5	175 - 180	2,5	177,5	0,0239
5 - 10	170 - 175	7,5	172,5	0.0715
10 - 15	165 - 170	12,5	167,5	0.118
15 - 20	160 - 165	17,5	162,5	0.165
20 - 25	155 - 160	22,5	157,5	0.210
25 - 30	150 - 155	27,5	152,5	0.253
30 - 35	145 - 150	32,5	147,5	0.294
35 - 40	140 - 145	37,5	142,5	0.334
40 - 45	135 - 140	42,5	137,5	0.370
45 - 50	130 - 135	47,5	132,5	0.404
50 - 55	125 - 130	52,5	127,5	0.435
55 - 60	120 - 125	57,5	122,5	0.462
60 - 65	115 - 120	62,5	117,5	0.486
65 - 70	110 - 115	67,5	112,5	0.506
70 - 75	105 - 110	72,5	107,5	0.523
75 - 80	100 - 105	77,5	102,5	0.535
80 - 85	95 - 100	82,5	97,5	0.543
85 - 90	90 - 95	87,5	92,5	0.548

Acuidade visual



$$\text{Acuidade visual} = 1 / \alpha$$

Valor máximo da acuidade visual = 2,46 que corresponde a ângulo mínimo de 0,406.



Fator de reflexão e absorção

Contraste:

$$C = \frac{L_1 - L_2}{L_1}$$

L1 - Luminância do meio

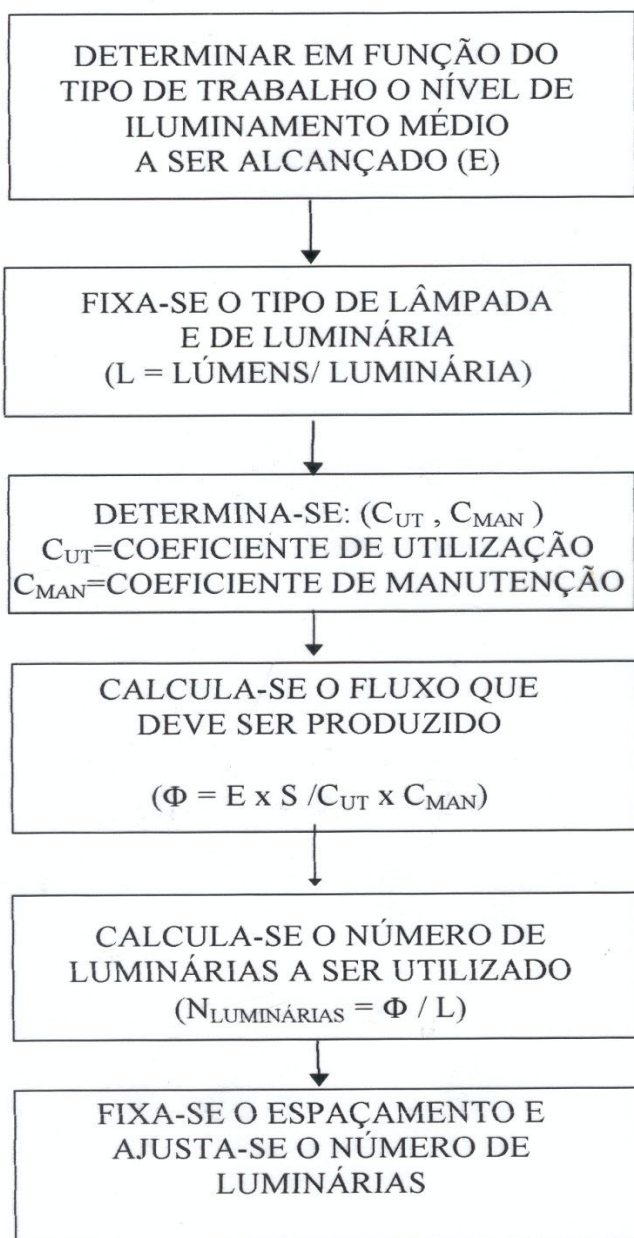
L2 - Luminância do objeto

Nível de iluminação

Depende do tipo de trabalho

Outros pontos:

- OFUSCAMENTO
- SOMBRA E DIFUSÃO
- COMPOSIÇÃO ESPECTRAL
- FATORES PSICOLÓGICOS

CÁLCULO DE ILUMINAMENTO (MÉTODO DOS LÚMENS)

TIPOS DE LUMINÁRIAS

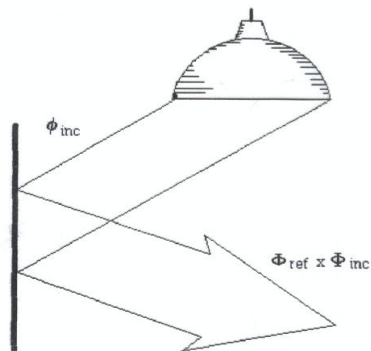
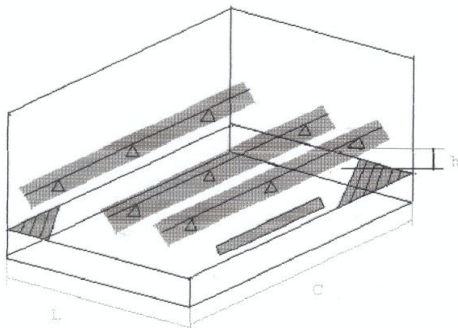
DIRETA	SEMI-DIRETA	DIFUSA	SEMI-INDIRETA	INDIRETA
100% a 90%	90% a 60%	60% a 40%	40% a 10%	10% a 0%



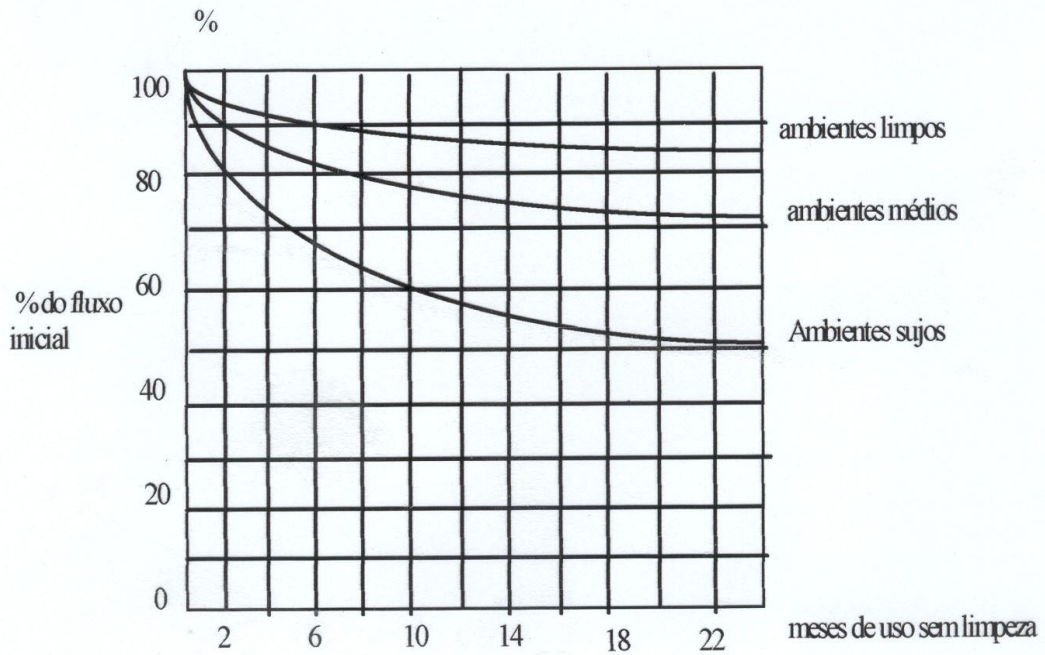
COEFICIENTE DE UTILIZAÇÃO

-ÍNDICE DE LOCAL

$$K = \frac{C \times L}{H \times (C + L)}$$

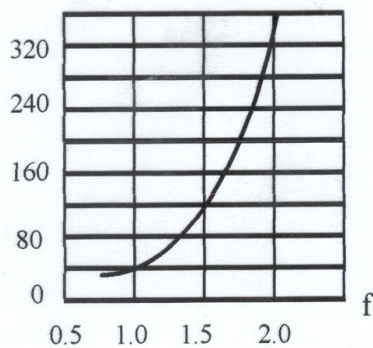


COEFICIENTE DE MANUTENÇÃO



DISTRIBUIÇÃO DAS LUMINÁRIAS

ABERTURA DO FACHO (°)



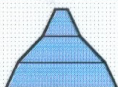
$$f = \frac{\text{distância entre luminárias}}{\text{altura útil}}$$

Faixa	Iluminância (Lux)	Tipo de Atividade
A Iluminação geral para áreas usadas intermitentemente ou com tarefas visuais simples	20	Áreas públicas com arredores escuros
	30	
	50	
	50	Orientação simples para permanência curta
	75	
	100	
	100	Recintos não usados para trabalho contínuo, depósitos
B Iluminação geral para área de trabalho	200	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinária, auditórios
	300	
	500	
	500	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinária, escritórios
	750	
	1000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	3000	
	5000	
	5000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de micro-eletrônica
	7500	
	10000	
	10000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

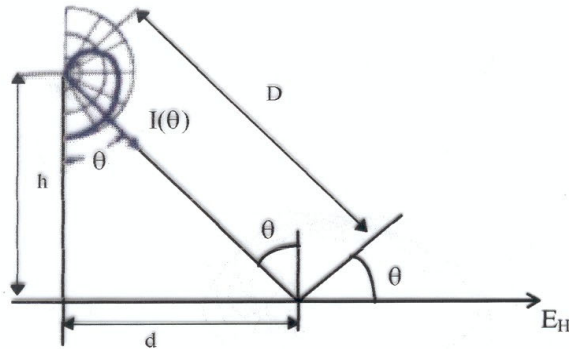
FATOR DE REFLEXÃO

<i>COR</i>	<i>TETO</i>	<i>PAREDE</i>
<i>BRANCA</i>	70 %	50 %
<i>CLARA</i>	50 %	30 %
<i>MÉDIA</i>	30 %	10 %

COEFICIENTE DE UTILIZAÇÃO

LUMINARIA	TETO (%)	70		
	PAREDE (%)	50	30	10
	K	FATOR UTILIZAÇÃO		
 DIRETA TIPOS DE LÂMPADAS: -INCANDESCENTE -VAPOR HG ALTA PRESSÃO -MISTA	0.5	0.27	0.22	0.18
	1.0	0.31	0.26	0.22
	1.5	0.52	0.47	0.44
	2.0	0.57	0.53	0.50
	2.5	0.61	0.58	0.55
	3.0	0.63	0.61	0.58
	4.0	0.67	0.65	0.63
	5.0	0.69	0.68	0.66
	10.0	0.71	0.71	0.70

MÉTODO PONTO A PONTO



$$E_P = \frac{I(\theta)}{D^2} \cdot \cos \theta$$

$$h = D \cdot \cos \theta$$

$$d = D \cdot \sin \theta$$

$$E_{PH} = \frac{I(\theta)}{h^2} \cdot \cos^3 \theta$$

$$E_{PV} = \frac{I(\theta)}{D^2} \cdot \sin^3 \theta$$

$$E_{PH} = \sum_{I=1}^N E_{PHI}$$

$$E_{PV} = \sum_{I=1}^N E_{PVI}$$

N - número de luminárias

Exemplo de Projeto

Garagem

C=50m L=30m
H=3.6m(pé direito)

Teto e paredes brancos - Altura do plano de trabalho 0.8m

a)Nível de iluminância fixado em:

E=80 lux

b)Luminária e tipo de lâmpada

Iluminação Direta
luminária para 1 lâmpada
fluorescente de 40W

c) Determinação do coeficiente de utilização :

- **índice do local:**

$$K = \frac{C \times L}{h \times (C + L)} = \frac{50 \times 30}{2,8(50 + 30)} \cong 67$$

- **fatores de reflexão: teto - 70%**
paredes - 30%

- **coeficiente de utilização:**

$$\mu = 0.77$$

d) Determinação do coeficiente de manutenção :

- **ambiente limpo**
- **manutenção a cada 12 meses**

$$\underline{d = 0.9}$$

e) Cálculo do fluxo luminoso total

$$\phi_{total} = \frac{E \times S}{\mu \times d} = \frac{80 \times 1500}{0.77 \times 0.9} = 173160 \text{ lm}$$

f) Cálculo do número de luminárias

- lâmpada fluorescente 40W luz do dia
catálogo do fabricante
- ϕ lamp = 2550 lm
- ϕ lumin = 2550 lm
- luminária 1x40W
- número de luminárias

$$N = \frac{\phi_{total}}{\phi_{lu \text{ min}}} = \frac{173160}{2550} = 68$$

68 lâmpadas

ajuste estético: 72 (6x12) lâmpadas

Verificação pelo método ponto a ponto

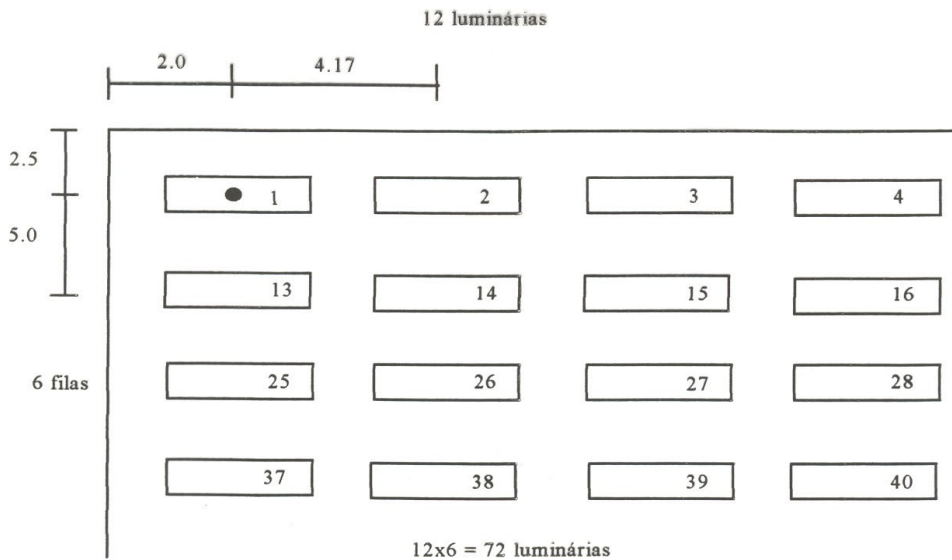
- **Verificar a uniformidade da iluminação determinando-se a iluminância em alguns pontos**
- **Considerar as luminárias que apresentam contribuição significativa no ponto**

a) Contribuição da luminária instalada sobre o ponto A

$$E_{p1} = \frac{I(\theta)}{h^2} \cdot \cos^3 \theta$$

$$\theta = 0 \Rightarrow I(0) = 220cd$$

$$E_{p1} = \left[\frac{220}{(2.8)^2} \cdot \cos^3 0 \right] \cdot \left[\frac{2550}{1000} \right] = 71.6lux$$



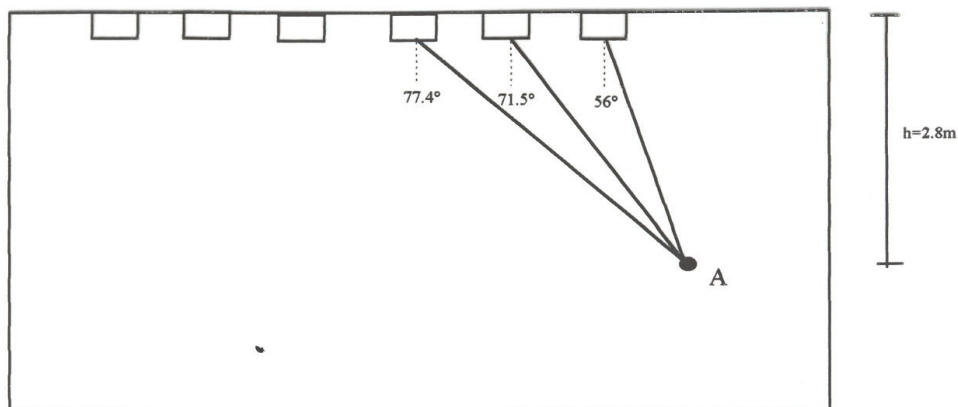
b) Contribuição das luminárias posicionadas no sentido longitudinal do ambiente

$$E_{p2} = \left[\frac{100}{(2.8)^2} \cdot \text{COS}^3 56 \right] \times 2.55 = 5.7 \text{ lux}$$

$$E_{p3} = \left[\frac{60}{(2.8)^2} \cdot \text{COS}^3 71.5 \right] \times 2.55 = 0.63 \text{ lux}$$

$$E_{p4} = \left[\frac{40}{(2.8)^2} \cdot \text{COS}^3 77.4 \right] \times 2.55 = 0.13 \text{ lux}$$

Ep5 , Ep6, Ep7 , Ep8 , ...menores que 1lux



c) Contribuição das luminárias posicionadas no sentido transversal da garagem.

$$E_{p13} = 3.8 \text{ lux}$$

$$E_{p25} = 0.25 \text{ lux}$$

Demais contribuições desta fileira são desprezíveis.

Contribuição da primeira lâmpada na diagonal:

$$E_{p14} = 1.2 \text{ lux (66 graus)}$$

$$E_{\text{total}} = 83 \text{ lux}$$

Comparação de alternativas-custos

**alternativa 1 : 72 luminárias
fluorescentes (1x40W)**

**alternativa 2 : 72 luminárias
incandescentes (1x150W)**

Hipóteses

Custo da energia : 0.16 US\$/KWh

Período de utilização : 4500h/ano

Vida útil : alt.1 = 7000h

alt.2 = 1000h

Custos de material (US\$):

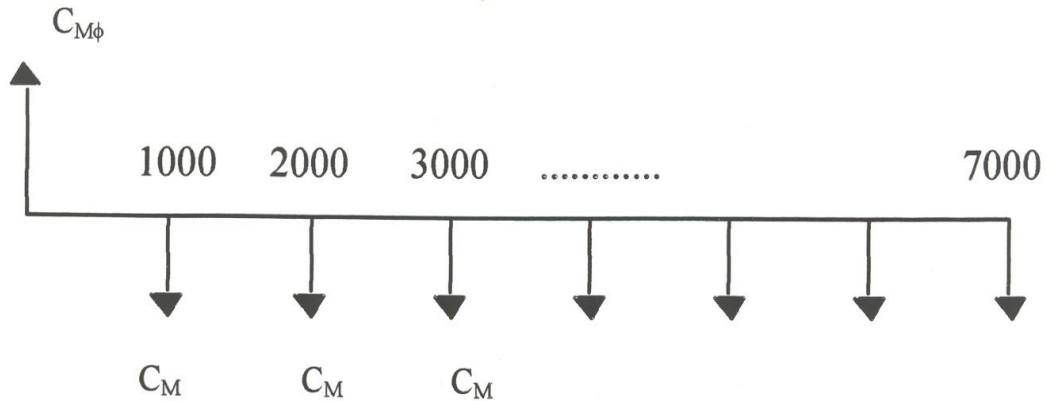
	alt.1	alt.2
luminária	10	6
lâmp+reator	10.5	1.5
total	20.50	7.50

Tempos

luminárias	t=0
lâmpadas	t=0
mão-de-obra	t=0
reposição	1000h (alt.2) 7000h(alt.1)
energia	t=500h
manutenção	t=1000h

Período de análise : 7000h
(maior vida útil - alt.1)

manutenção : a cada 1000h



$$C_{m\phi} = \frac{C_m}{f_a}$$

$$f_a = \frac{j_1}{1 - (1 + j_1)^{-7}}$$

$$j_1 = (1 + j)^{\frac{1}{4.5}} - 1$$

$$j_1 = 0.0255$$

$$f_a = 0.1578$$

Reposição: a cada 1000h(alt.2)

$$C_{E\phi} = \frac{C_R}{f_a}$$

$$f_a = \frac{j_1}{1 - (1 + j_1)^{-7}}$$

$$j_1 = (1 + j)^{\frac{1}{4.5}} - 1$$

$$j_1 = 0.0255$$

$$f_a = 0.1578$$

Energia : a cada 500h

$$C_{e\phi} = \frac{C_e}{f_a}$$

$$f_a = \frac{j_1}{1 - (1 + j_1)^{-14}}$$

$$j_1 = (1 + j)^{\frac{1}{9}} - 1$$

$$j_1 = 0.0127$$

$$f_a = 0.0784$$

Resultados

Investimento Inicial

alt.1 - US\$ 2066

alt.2 - US\$ 756

Custo de energia para um ano

alt.1 - $72 \times (40 \times 1.2) \times 4.5 \times 0.16 = \text{US\$ } 2488$

alt.2 - $72 \times 150 \times 4.5 \times 0.16 = \text{US\$ } 7776$

Valor total

alt1 - inv+cust = US\$ 4554

alt2 - inv+cust = US\$ 8532

Conclusão : A alternativa 1 é mais vantajosa!!

$$\frac{alt2}{alt1} = 1.87$$