

Emanuel Eugénio de Sousa Gago da Câmara
Professor Associado, Coordenador da Disciplina de Condicionamento Ambiental
Instituto Superior de Agronomia, Departamento de Engenharia Rural
Universidade Técnica de Lisboa, E-mail: eegagocâmara@isa.utl.pt

Iluminação Natural e Artificial para Fins Agrícolas

8ª Parte

7.2. Iluminação Artificial

Sob a designação de iluminação artificial incluem-se todas as formas de iluminação não naturais, nomeadamente através da obtida da energia eléctrica e do gás, ainda que neste trabalho só se considere a primeira.

Ao longo da análise dos aspectos relativos aos princípios de dimensionamento e de concepção de sistemas de iluminação artificial, adoptar-se-ão os conceitos desenvolvidos por Moura (1965) na sua clássica obra intitulada "Noções de Luminotécnica".

7.2.1. Lâmpadas incandescentes

Na lâmpada incandescente existe um filamento que é aquecido pela passagem de corrente eléctrica. A maior parte da potência fornecida à lâmpada destina-se a manter o filamento a alta temperatura. Uma pequena parte da potência fornecida à lâmpada é devolvida ao meio exterior sob a forma de radiações, às quais estão associados comprimentos de onda capazes de impressionar a retina da vista.

Porém, a parcela do fluxo total que se situa no espectro visível depende muito da temperatura termodinâmica (K) e há interesse em trabalhar com os filamentos a uma temperatura tão alta quanto possível.

Nos filamentos de tungsténio das lâmpadas incandescentes a uma temperatura de 1273 K, ainda não se observa qualquer emissão luminosa, a 2273 K cerca de 3 % da energia emitida pelo filamento constitui energia luminosa e esta percentagem aumenta para 16% se a temperatura do filamento atingir 3273 K.

Os filamentos de tungsténio são hoje os mais correntemente usados, embora também se tenha usado o carbono, o ósmio e o tântalo e algumas vezes a platina.

Há todo o interesse em trabalhar a uma temperatura de incandescência tão alta quanto possível, mas a elevação da temperatura provoca a evaporação e a oxidação dos filamentos.

Uma outra consequência da evaporação do filamento é o enegrecimento da ampola, devido à condensação, na sua

superfície interior, dos vapores de tungsténio, o que se traduz na prática pelo aumento do factor de absorção e pela redução do rendimento luminoso da lâmpada expresso em lumen por Watt (lm/W).

Entre os gases que não atacam o tungsténio estão o hidrogénio, o azoto e os gases raros do ar, pelo que estes são usados para encher as ampolas. O hidrogénio apresenta uma elevada condutividade térmica e só é aplicado no fabrico de lâmpadas de sinalização, nas quais é necessário que a emissão de luz se dê tão rapidamente quanto possível após a interrupção de corrente eléctrica.

O azoto e o argon são os gases mais usados para o enchimento das ampolas das lâmpadas incandescentes que se encontram, de uma forma tão generalizada, disponíveis no mercado da especialidade.

O Quadro 15 indica os níveis médios do fluxo luminoso (lm) emitido por lâmpadas incandescentes de construção europeia com diferentes potências.

7.2.2. Lâmpadas fluorescentes

Uma lâmpada fluorescentes é uma lâmpada de descarga através de vapor de mercúrio a baixa pressão. Associada à descarga emite-se uma radiação ultra violeta a qual, ao incidir numa camada de material fluorescente, que a absorve, emite uma radiação visível. A lâmpada é constituída por um tubo de vidro cheio de argon à pressão de 0,005 atm ($5,06625 \cdot 10^2$ Pa), na qual se introduz uma gota de mercúrio. A superfície interior do tubo está coberta com um pó fluorescente. Em cada extremidade do tubo está um eléctrodo constituído por um filamento do tungsténio, revestido com óxido de bário para facilitar a emissão térmica.

O rendimento luminoso máximo que se pode esperar de uma lâmpada fluorescente é da ordem de 78 lm/W. Contudo, se contarmos com a potência dispendida no aquecimento dos eléctrodos e na bobina estabilizadora da descarga, o rendimento luminoso baixa para cerca de 60 lm/W, sendo este o valor mais elevado que se consegue obter numa lâmpada fluorescente de boa construção.

Quadro 15 - Fluxo luminoso médio emitido por lâmpadas incandescentes de fabrico europeu (Moura 1965).

Potência [W]	Fluxo emitido [lm]	
	125 V	230 V
15	140	120
25	260	230
40	490	420
60	820	720
75	1 070	930
100	1 550	1 350
150	2 340	2 000
200	3 260	2 800
300	5 200	4 650
500	9 250	8 200
1 000	21 000	18 000
1 500	32 000	30 000

No quadro 16 resumem-se as principais características de lâmpadas fluorescentes de cor branca, de fabricação inglesa (Atlas Lighting Limited), para uma tensão de 220 V e uma frequência de 50 Hz.

7.2.3. Aparelhos de iluminação

Os aparelhos de iluminação, muitas vezes designados por armaduras, além de servirem para diminuir o brilho das superfícies emissoras e orientar o fluxo luminoso, servem ainda para protecção mecânica das lâmpadas e também podem constituir elemento decorativo.

7.2.4. Reflexão, transmissão e absorção da luz

Quando o fluxo luminoso F encontra uma superfície material:

- uma parte do fluxo F é reflectida, F_r ;
- outra parte é transmitida através da superfície, F_t ;
- e a restante parte do fluxo F é absorvida, F_a .

Podem ser definidos os factores de reflexão f_r , de transmissão f_t e de absorção f_a , através das seguintes relações:

$f_r = \frac{F_r}{F}$ (4)

$f_t = \frac{F_t}{F}$ (5)

$f_a = \frac{F_a}{F}$ (6)

Compreende-se, portanto, que seja

$F_r + F_t + F_a = F$ (7)

e que o somatório dos referidos factores seja igual à unidade

$f_r + f_t + f_a = 1$ (8)

Na superfície de um espelho quase todo o fluxo luminoso é reflectido, através de um vidro claro quase todo o fluxo luminoso incidente é transmitido e numa superfície coberta de negro de fumo quase todo o fluxo luminoso incidente é absorvido.

No Quadro 17 indicam-se os valores dos factores de reflexão, de transmissão e de absorção de alguns materiais usados em tecnologia de iluminação, os quais estão expressos em percentagem.

Quadro 16 - Principais características de lâmpadas fluorescentes de fabricação inglesa (Moura 1965).

Potência nominal [W]	Fluxo luminoso [lm]	Potência total [W]	Potência [lm/W]	Comprimento nominal [mm]	Diâmetro [mm]
6	276	11	25	230	16
8	400	13	31	305	16
13	755	19	40	430	16
15	735	24	31	560	38
20	1 140	29	39	606	38
30	1 920	40	48	920	38
40	2 800	48	58	1 230	38
80	5 200	96	54	1 525	38
125	8 625	145	60	2 430	38

Quadro 17 - Valores dos factores de reflexão, de transmissão e de absorção de alguns materiais usados em luminotecnia (Moura 1965).

Material	Factor de reflexão f_r [%]	Factor de transmissão f_t [%]	Diâmetro f_a [%]
Alumínio polido	65 - 75	--	35 - 25
Alumínio anodizado	85 - 90	--	15 - 10
Esmalte branco	65 - 75	--	35 - 25
Papel de desenho	70 - 75	--	30 - 25
Espelho de prata	90 - 94	--	10 - 6
Vidro claro (com 3 mm)	6 - 8	92 - 90	4 - 2
Vidro despolido	6 - 20	90 - 65	20 - 3
Vidro opalino	30 - 75	60 - 15	5 - 20

Quadro 18 - Valores médios do factor de reflexão de superfícies de vária natureza, de acordo com parâmetros de projecto recomendados pelo IST.

Natureza da superfície	f_r [%]
Estuque branco (novo e seco)	70 - 80
Estuque branco (velho)	30 - 60
Branco pintado a têmpera	65 - 75
Branco pintado a óleo	75 - 85
Pintura a alumínio	60 - 75
Betão (novo)	40 - 50
Betão (velho)	5 - 15
Acabamento granitado (novo)	10 - 30
Acabamento granitado (velho)	5 - 15
Madeira (creme, nova)	50 - 60
Madeira (creme, velha)	30 - 40
Carvalho (claro), envernizado	15 - 40
Carvalho (escuro), envernizado	15 - 40
Mogno e noqueira	15 - 40
Cortinas amarelas	30 - 45
Cortinas vermelhas	10 - 20
Cortinas azuis	10 - 20
Cortinas cinzento prateado	10 - 25
Cortinas castanho escuro	10 - 20
Veludo preto	0,5 - 1
Material reflector	95 - 98
Prateado (polido)	88 - 98
Esmalte (branco)	65 - 75
Niquelado (polido)	53 - 63
Niquelado (mate)	48 - 52
Alumínio (polido)	65 - 75
Alumínio (mate)	55 - 60
Alumínio ("alzac")	80 - 85
Cobre	48 - 50
Cromado (polido)	60 - 70
Cromado (mate)	52 - 55
	68 - 70

Por seu lado, o Quadro 18 indica apenas o valor do factor de reflexão f_r para superfícies de diferente natureza, para o caso da incidência de luz branca.

7.2.5. Distribuição da intensidade luminosa

A representação da intensidade luminosa de um foco pontual pode fazer-se através do traçado de um diagrama polar. Para o efeito, considera-se o foco luminoso situado no polo do diagrama, no qual a distância de qualquer um dos seus pontos é proporcional à intensidade luminosa I nessa direcção (Fig. 26). Deste modo, o diagrama polar representa a distribuição da intensidade luminosas (expressas em cd) segundo um plano. Assim, por exemplo, nas lâmpadas fluorescentes é habitual indicar os diagramas polares segundo dois planos: um normal ao eixo da lâmpada e outro (horizontal), contendo o eixo da lâmpada. Algumas vezes desenha-se um terceiro diagrama, segundo um plano a 45° em relação aos anteriores.

Quando o diagrama polar indica a intensidade luminosa de um aparelho de iluminação, a forma do diagrama é independente da potência da lâmpada colocada no interior do aparelho de iluminação. Os fabricantes dos aparelhos de iluminação representam os correspondentes diagramas polares referidos a um fluxo luminoso de 1000 lm. Deste modo, a intensidade luminosa efectiva numa dada direcção é obtida multiplicando o valor indicado no diagrama pela milésima parte do fluxo da lâmpada colocada no aparelho de iluminação.

Numa lâmpada incandescente o diagrama polar da intensidade luminosa é, praticamente, idêntico qualquer que seja o plano passando pelo eixo (vertical) da lâmpada. Neste caso, uma única curva dá uma informação completa sobre a distribuição da intensidade luminosa no espaço.

Naturalmente que se o diagrama for simétrico em relação ao eixo vertical, basta representá-lo num sector de 180°. É o que acontece no diagrama da Figura 26, que representa a distribuição da intensidade luminosa de uma lâmpada incandescente sem armadura (indicada pela curva a tracejado).

Aos diagramas polares apontam-se dois inconvenientes. O primeiro é que a área limitada pelo diagrama não é pro-

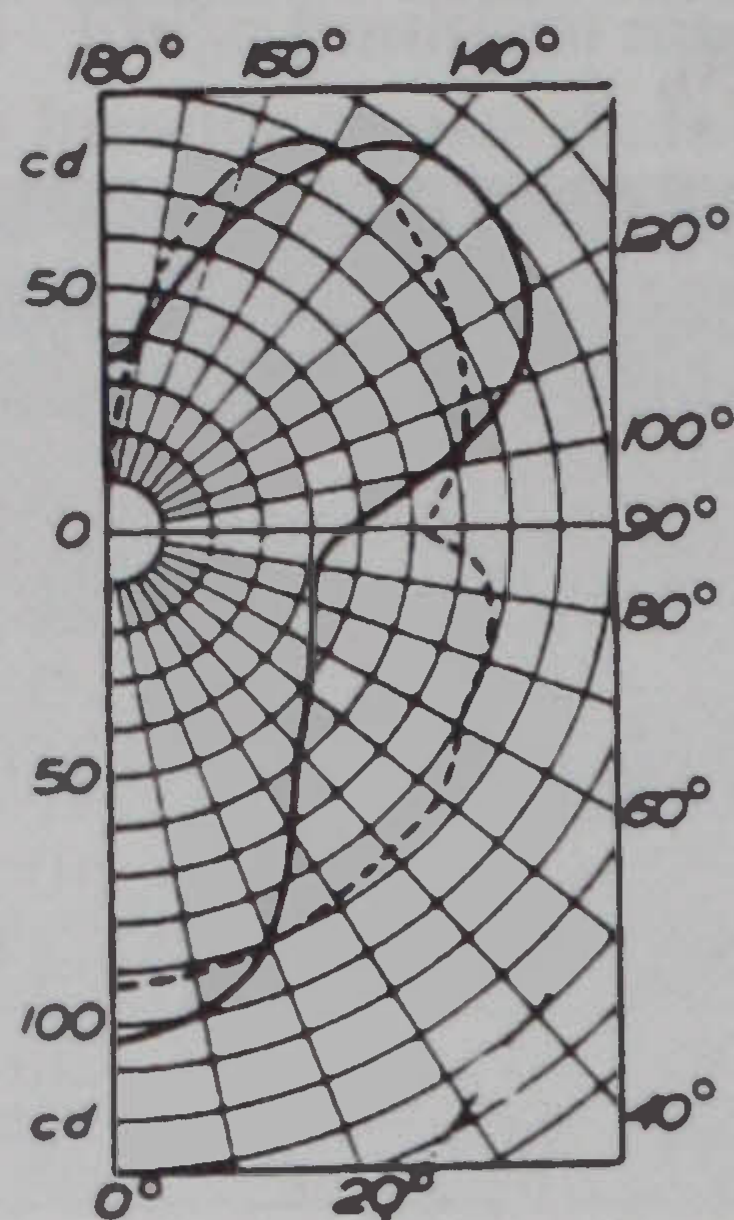


Fig. 26 - Diagrama polar de uma lâmpada incandescente sem armadura. Adaptado de Moura (1965).

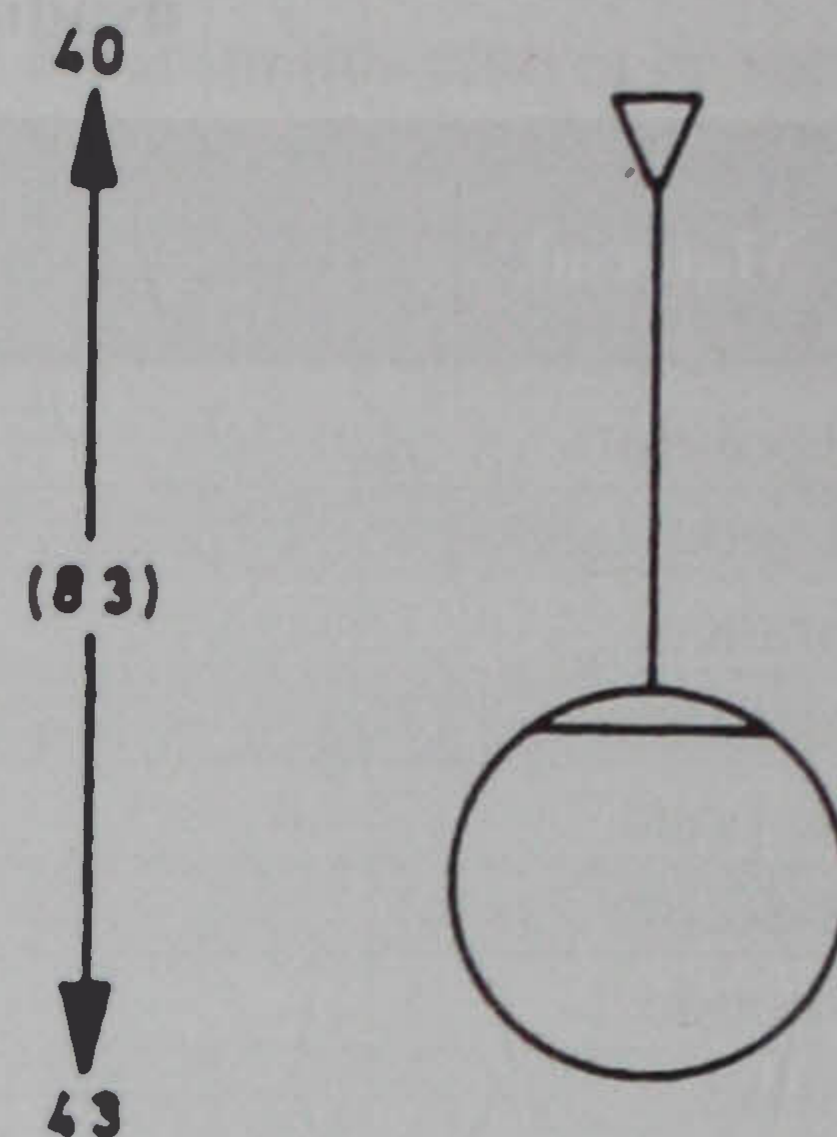


Fig. 27 - Aparelho de iluminação com globo opalino e lâmpada incandescente. Adaptado de Moura (1965).

porcional ao fluxo luminoso emitido pelo foco. O segundo é que, se o fluxo luminoso está orientado segundo uma direcção predominante, como acontece nos projectores e em muitas lâmpadas de sinalização, a curva torna-se quase paralela aos raios do diagrama, sendo pouco precisa a leitura dos valores da intensidade luminosa I .

7.2.6. Iluminação directa, mista e indirecta

A partir do diagrama polar da intensidade luminosa e usando, por exemplo, o diagrama de Rousseau – que não só permite uma medição cómoda do fluxo luminoso a partir do referido diagrama, como também permite a medição do fluxo correspondente a qualquer ângulo sólido com o vértice no foco – é possível exprimir, em percentagem do fluxo total, a parcela desse fluxo que é emitida para cima de um plano horizontal que passe pelo foco e a parcela que é emitida para baixo desse plano.

Os fabricantes dos aparelhos de iluminação dão, em geral, essas percentagens associadas à indução do rendimento dos aparelhos, tal como se pode depreender dos tipos dos aparelhos de iluminação indicados nos Quadros 18 e 19. Assim, por exemplo, na Figura 27 o número 83 indica que apenas 83 % do fluxo luminoso total emitido pela lâmpada sai do globo difusor. Os números 40 e 43 indicam, respectivamente, que 40 % do fluxo emitido pela lâmpada é dirigido para cima do plano horizontal e que 43 % é dirigido para baixo do referido plano.

De acordo com esta repartição, para cima e para baixo do plano horizontal, é geralmente aceite a seguinte classificação:

- 1 - aparelhos para **iluminação directa**, em que 90 % a 100 % do fluxo luminoso que emitem é dirigido sobre o plano de trabalho;

- 2 - aparelhos para **iluminação semi-directa**, em que 60 % a 90 % do fluxo emitido é dirigido sobre o plano de trabalho;
- 3 - aparelho para **iluminação mista**, em que 40 % a 60 % do fluxo luminoso é dirigido sobre o plano de trabalho;
- 4 - aparelhos para **iluminação semi-indirecta**, com 60 % a 90 % do fluxo luminoso dirigido para cima do plano horizontal.

Na Figura 28 representam-se exemplos de aparelhos de iluminação correspondentes aos cinco tipos de iluminação acima referidos.

7.2.7. Metodologia de cálculo

Sejam C , L e h , respectivamente, o comprimento, a largura e a altura livre expressos em metros de um dado recinto interior, que se pretende dotar de um sistema de iluminação artificial.

Ao desejar iluminar a área A (igual a CL) com um nível médio de iluminância de E (lx), o fluxo luminoso útil F_u , expresso em lumen (lm), que deverá incidir sobre a área a iluminar A (m^2) será

$$F_u = EA \quad (9)$$

Contudo, na prática, o fluxo total F a emitir pelos focos luminosos terá de ser superior a F_u , ou seja

$$F_u = Fk \quad (10)$$

Nesta expressão, k representa o factor de transmissão, o qual é, por sua vez, função do coeficiente de utilização c_u e do coeficiente de depreciação c_d , com eles relacionados através da expressão

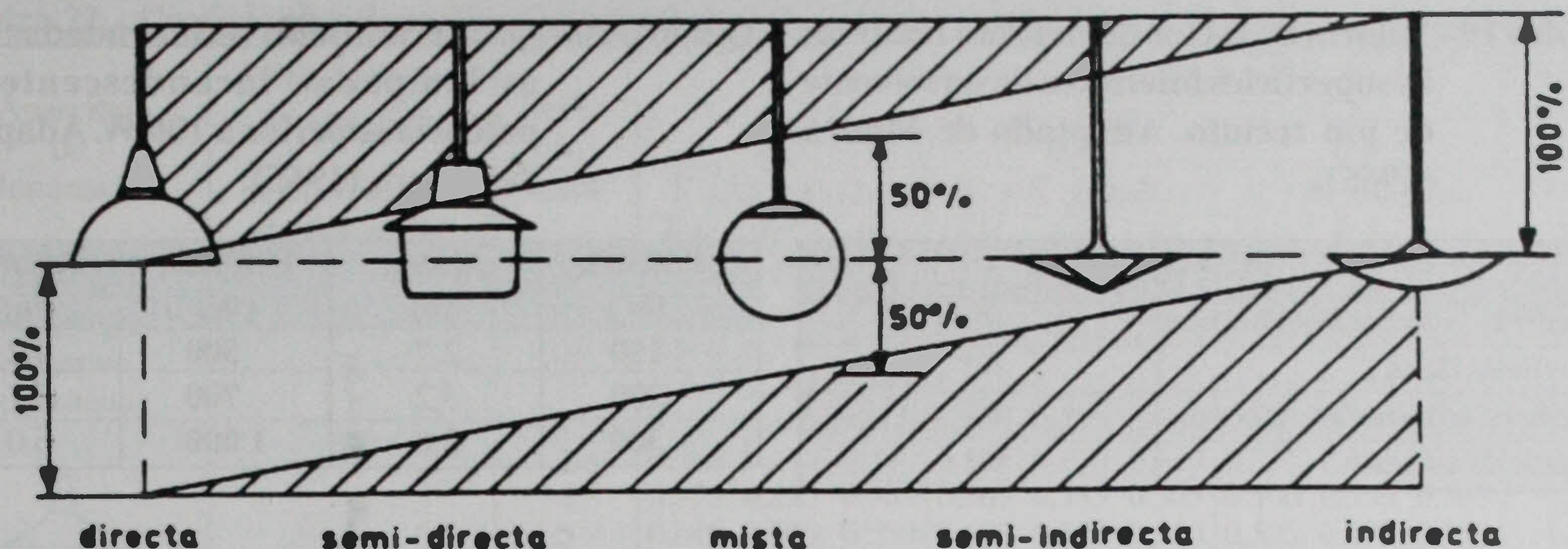


Fig. 28 - Exemplos de diversos tipos de iluminação. Adaptado de Moura (1965).

$$k = \frac{c_u}{c_d} \quad (11)$$

De facto, são várias as razões que justificam a expressão (10) e também a expressão (11), como se pode depreender dos seguintes considerandos.

a) Só uma parte do fluxo luminoso total a emitir (correspondente ao ângulo α da Figura 29 chega directamente ao plano a iluminar (plano de trabalho PP'). Do restante, parte incide sobre as paredes e é reflectida sobre o plano a iluminar (ângulo β) e a restante parte (ângulo γ) incide sobre o tecto e é reflectida por este para o plano a iluminar ou sobre as paredes e destas para o plano PP'.

Pode, portanto, dizer-se que está justificada, em parte, a razão de ser do coeficiente de transmissão k , podendo exprimir-se o correspondente efeito através do coeficiente de utilização c_u , o qual toma valores compreendidos entre 0 e 1, sendo tanto menor quanto maior a quota parte de F que é absorvida pelo tecto, pelas paredes e pelas próprias luminárias que eventualmente envolvem os focos luminosos.

Para a determinação do coeficiente de utilização c_u utilizam-se tabelas, cujos valores são encontrados por interpolação e em função de

- tipo de aparelhos de iluminação utilizado
- índice do local $I.L.$
- factores de reflexão do tecto e das paredes.

De facto, a repartição do fluxo emitido para o plano de trabalho, para as paredes e para o tecto depende, para além das características do aparelho de iluminação, das proporções dimensionais do recinto considerado. Para caracterizar as dimensões relativas, utiliza-se o chamado índice do local, o qual pode ser representado por diferentes expressões consoante o autor, adoptando-se neste caso a definida por H. Zijl:

$$I.L. = \frac{0,2 C + 0,8 L}{h_2} \quad (12)$$

onde h_2 corresponde à altura (expressa em metros) a que se situa o foco luminoso relativamente ao plano a iluminar.

Os valores do factor de reflexão f_r considerados nas tabelas de Zijl, correspondem às características reflectoras das superfícies interiores da envolvente do recinto considerado, que se indicam no Quadro 19.

Nas tabelas que publicou e que se reproduzem em parte através dos Quadros 22 e 23, Zijl, considera os valores do índice do local compreendidas entre 1 e 10. Nestas circunstâncias, se pela aplicação da expressão (12) resultarem valores inferiores a 1 ou superiores a 10 dever-se-ão tomar, respectivamente, aqueles mesmos valores.

b) Por outro lado, com o decorrer do tempo, deterioram-se as pinturas e os revestimentos das superfícies reflectoras, assim como se deterioram e cobrem de poeiras as superfícies transmissoras e reflectoras dos aparelhos de iluminação, para além de diminuir o próprio fluxo luminoso dos focos. Portanto, será lógico admitir que a outra parte que influi em k se possa justificar pelos factos agora descritos e cujos efeitos se expressam pelo chamado coeficiente de depreciação c_d .

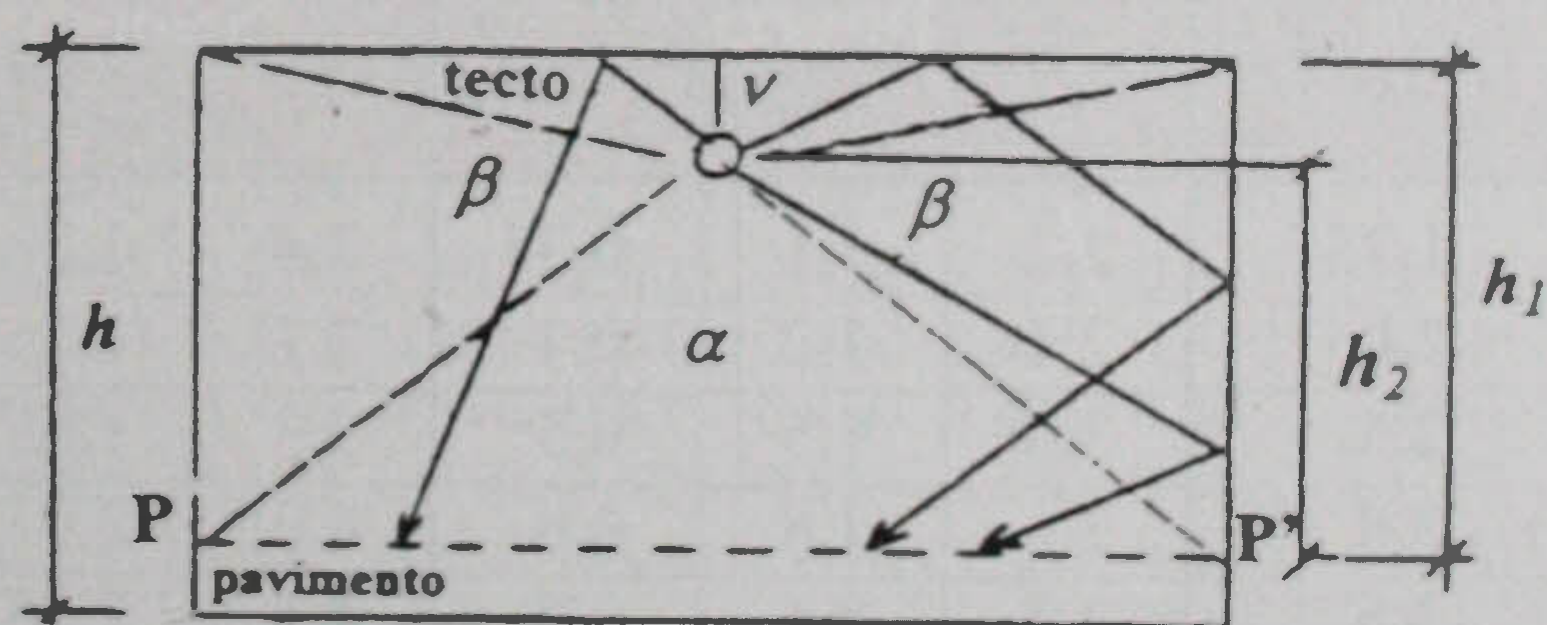


Fig. 29 - Corte transversal esquemático de um recinto a iluminar artificialmente, indicando os percursos da reflexão da luz emitida por um foco luminoso. Adaptado de Moura (1965).