

Capítulo III

Métodos de cálculo luminotécnico

Por Juliana Iwashita Kawasaki*

Para a elaboração de projetos luminotécnicos, é importante a utilização de algum método de cálculo para definição da quantidade de luminárias e equipamentos necessários para que um determinado ambiente tenha a iluminância adequada.

Os métodos de cálculo mais usuais são o método dos lúmens, definido pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE) e o método ponto a ponto, que se baseia na Lei de Lambert, que define que a iluminância é inversamente proporcional ao quadrado da distância do ponto iluminado ao foco luminoso.

O método dos lúmens geralmente é o mais utilizado, pois considera a quantidade total de fluxo luminoso necessária para determinado ambiente, baseada no tipo de atividade desenvolvida, nas refletâncias das superfícies (teto, paredes e piso) e nos tipos de equipamentos (luminárias, lâmpadas e equipamentos) escolhidos. Este método considera ambientes retangulares, superfícies de reflexão difusa, um tipo único de luminária e leva em conta a sua distribuição uniforme.

O método ponto a ponto, também chamado de “método das intensidades luminosas”, é utilizado quando as dimensões da fonte luminosa são muito pequenas em relação à distância do plano que deve ser iluminado. É utilizado para fontes pontuais, como lâmpadas halógenas tipo dicróicas e PAR. Por este método, é possível determinar a iluminância

em qualquer ponto das superfícies por meio de cálculos trigonométricos considerando as fontes luminosas existentes no ambiente. A iluminância total pelo método ponto a ponto é a soma das iluminâncias advindas de cada fonte luminosa, cujo fecho atinge o ponto considerado.

Ambos os métodos serão apresentados a seguir e podem ser calculados de forma manual, porém, com a atual facilidade de acesso a computadores e existência de diversos softwares específicos de cálculo luminotécnico, quase não se fazem cálculos manuais. Com isso, os softwares acabam fazendo cálculos mais complexos e com algoritmos que levam em consideração mais variáveis, como mais de um tipo de luminária, diferentes refletâncias das superfícies e ambientes não retangulares.

A seguir, é apresentado o passo a passo do método dos lúmens e do método ponto a ponto, assim como exemplos de aplicação.

Método dos lúmens

O método dos lúmens é o método mais simples de cálculo e fornece um resultado numérico único da iluminância a ser obtida no ambiente em função dos equipamentos especificados e das características do ambiente ou da quantidade necessária de equipamentos em função da iluminância desejada.

Para início dos cálculos é necessário o

levantamento das características da instalação:

- Características construtivas da instalação – dimensões dos ambientes e classificação de acordo com uso para determinação da iluminância requerida conforme a norma ABNT NBR 5413.
- Refletâncias das superfícies – teto, paredes, piso.
- Frequência de manutenção e condições de limpeza do ambiente – para estimar o fator de manutenção (FM) ou fator de perdas luminosas (FPL).

Etapa 1 – Cálculo do Índice do local (K)

O Índice do local (K) é uma relação definida entre as dimensões (em metros) do local. É definida pelas fórmulas:

Iluminação direta:

$$K = \frac{c \times l}{h \times (c + l)}$$

Iluminação indireta:

$$K_i = \frac{3 \times c \times l}{2 \times h' \times (c + l)}$$

c = comprimento do ambiente

l = largura do ambiente

h = altura de montagem

h = distância do teto ao plano de trabalho

pd = pé-direito

hs = altura de suspensão da luminária

ht = altura do plano de trabalho

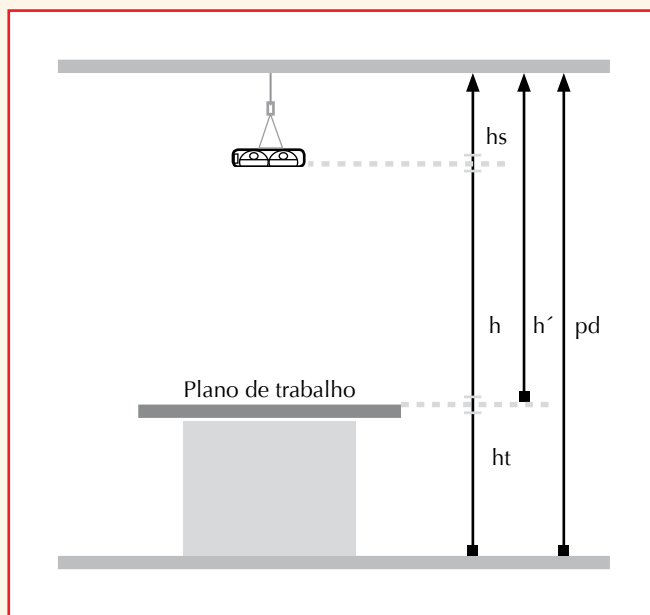


Figura 1 – Definição das alturas para cálculo do K.

Etapa 2 – Definição dos equipamentos para cálculo

A definição dos equipamentos deve levar em consideração as características fotométricas das luminárias, o desempenho das lâmpadas e as características elétricas dos equipamentos auxiliares.

As principais características a serem consideradas são:

- Luminárias – curva de distribuição de intensidade luminosa, rendimento, controle de ofuscamento;
- Lâmpadas – eficiência luminosa (lm/W), fluxo luminoso, vida útil, depreciação luminosa;
- Equipamentos – potência consumida, fator de potência, fator de fluxo luminoso, distorção harmônica.

É recomendado, sempre que possível, o emprego de equipamentos mais eficientes e adequados às atividades desenvolvidas, pois quanto mais eficiente for o conjunto luminária-lâmpada-equipamento auxiliar maior será a economia de energia obtida no sistema de iluminação proposto.

Etapa 3 – Determinação do Fator de Utilização (U)

O Fator de Utilização (U) é dado em tabelas fornecidas pelos fabricantes de luminárias e indica o desempenho da luminária no ambiente considerado no cálculo. Para determinar o Fator de Utilização, basta cruzar o valor do Índice do Local (K) calculado anteriormente (dado na horizontal) com os dados de refletância das superfícies do teto, da parede e do piso (dado na vertical). Cada luminária possui uma tabela de fator de utilização distinta, que dependerá do tipo de material empregado na fabricação e no desempenho fotométrico do produto. Assim, este dado deve ser solicitado ao fabricante de luminárias.

TETO (%)		70		50			30		0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
PISO (%)		10		10			10		0
KR		FATOR DE UTILIZAÇÃO (X.01)							
0.60	32	28	26	31	28	26	28	26	25
0.80	38	34	31	37	34	31	33	31	30
1.00	42	39	36	41	38	36	38	36	35
1.25	46	43	40	45	42	40	42	40	39
1.50	48	46	44	48	45	43	45	43	42
2.00	52	60	48	51	49	48	49	47	46
2.50	54	53	51	53	52	50	51	50	49
3.00	56	54	53	55	53	52	53	52	50
4.00	57	56	55	56	55	54	54	54	52
5.00	58	57	56	57	56	55	55	55	53

Figura 2 – Exemplo para determinação do Fator de Utilização de luminárias.

Etapa 4 – Determinar o fator de manutenção

A iluminância diminui progressivamente durante o uso do sistema de iluminação devido às depreciações por acúmulo de poeira nas lâmpadas e nas luminárias, à depreciação dos materiais da luminária, ao decréscimo do fluxo luminoso das lâmpadas e à depreciação das refletâncias das paredes.

O dimensionamento dos sistemas de iluminação deve considerar um fator de manutenção (FM) ou fator de perdas luminosas em função do tipo de ambiente e de atividade desenvolvida, do tipo de luminária e da lâmpada utilizada e da frequência de manutenção dos sistemas.

A Tabela 1 sugere valores de fatores de manutenção conforme período de manutenção e condições do ambiente.

Valores mais precisos, conforme tipo de luminária e lâmpadas, podem ser obtidos em publicações da CIE e/ou por fabricantes de luminárias.

TABELA 1 – FATORES DE MANUTENÇÃO RECOMENDADOS

AMBIENTE	2.500 h	5.000h	7.500h
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,80	0,66	0,57

Para reduzir a depreciação da luminária, deve-se adotar uma manutenção periódica dos sistemas: limpeza de lâmpadas e de luminárias e substituição programada de lâmpadas.

Etapa 5 – Dimensionamento

O cálculo do número de luminárias necessário para um determinado ambiente obedece a seguinte fórmula:

$$N = \frac{E_{med} \times A}{n \times \phi_n \times U \times FM \times FFL}$$

Em que:

N: número necessário de luminárias

E_{med}: iluminância média (lux)

A: área do ambiente (m²)

n: número de lâmpadas em cada luminária

ϕ_n : fluxo luminoso de cada lâmpada (lm)

U: fator de utilização

FM: fator de manutenção

FFL: fator de fluxo luminoso do reator

Quando o número de luminárias é conhecido, a iluminância média pode ser calculada pela fórmula:

$$E_{med} = \frac{N \times n \times \phi_n \times U \times FM \times FFL}{A}$$

Etapa 6 – Distribuição das luminárias

Definida a quantidade total de luminárias necessárias para atender aos níveis de iluminância e as condições requeridas de projeto, a distribuição das luminárias deve:

- Buscar uma distribuição uniforme no recinto;
- Procurar obter valores próximos de “a” e “b”, sendo a > b, desde que respeitando a curva de distribuição luminosa da luminária;
- Recomenda-se que as distâncias “a” e “b” entre luminárias sejam o dobro da distância entre estas e as paredes laterais;
- Recomenda-se sempre o acréscimo de luminárias quando a quantidade resultante do cálculo não for compatível com a distribuição desejada.

Exemplo de aplicação do método dos lúmens

Considerando um ambiente de escritório com as seguintes características:

- Comprimento: 12,0 m; Largura: 8,0 m; Pé-direito: 2,75 m; Altura do plano de trabalho: 0,75 m;
- Teto de gesso pintado na cor branca; paredes na cor amarela clara e piso cinza escuro;
- Condições do ambiente limpo, manutenção periódica a cada dois anos, com uso do ambiente de 10 horas/dia, em dias úteis;
- Necessita-se de uma iluminação eficiente e com controle de ofuscamento para uso com telas de computador.

Dimensione a quantidade de luminárias adequadas e faça sua distribuição.

Etapas 1 – Cálculo do índice do local (K)

Dadas as dimensões, calcula-se o K pela fórmula:

$$K = \frac{c \times l}{h \times (c + l)} \quad K = \frac{12 \times 8}{2 \times (12 + 8)} = 2,4$$

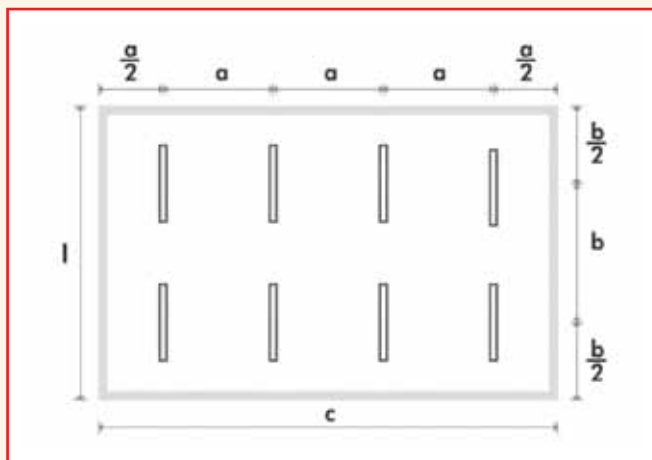


Figura 3 – Recomendação quanto à distribuição de luminárias.

Etapas 2 – Definição dos componentes

A escolha dos equipamentos tem como premissa alto desempenho energético e atendimento às características de uso de escritório. Assim, escolheu-se uma luminária de embutir com alto rendimento para lâmpadas fluorescentes T5 com elevado controle de ofuscamento. A seguir é mostrada a luminária escolhida e seus dados fotométricos.

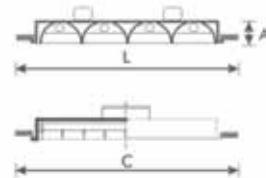
Foram escolhidas lâmpadas T5 de 14 W, com 1.350 lm por lâmpada, e reatores eletrônicos com alto fator de potência, baixo THD e fator de fluxo luminoso igual a 1,0.

Etapas 3 – Determinação do Fator de Utilização (U)

Para determinação do fator de utilização (U), devem ser interpolados os valores da tabela de fator de utilização para as refletâncias: Teto 70%, Paredes 50% e Piso 10%, conforme a cores do ambiente.

$$U = 0,67$$

DESENHO



FATOR DE UTILIZAÇÃO

TETO (%)	70			50			30		0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
PISO (%)	10			10			10		0
KR	FATOR DE UTILIZAÇÃO (X 0.01)								
0.60	39	35	31	38	34	31	34	31	30
0.80	46	42	38	45	41	38	41	38	37
1.00	52	47	44	51	47	44	46	44	42
1.25	57	53	50	55	52	49	51	49	48
1.50	60	56	54	59	56	53	55	53	51
2.00	65	62	60	64	61	59	60	58	57
2.50	68	65	63	66	64	63	63	62	60
3.00	70	68	66	68	66	65	65	64	62
4.00	72	70	69	70	69	68	68	67	65
5.00	73	71	70	71	70	69	69	68	66

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA

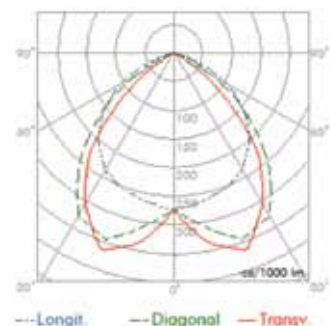


DIAGRAMA DE LUMINÂNCIA

CLASSE	ILUMINÂNCIA EM SERVIÇO (lx)							
A	2000	1000	500	≤300				
B		2000	1000	500	≤300			
C			2000	1000	500	≤300		
D				2000	1000	500	≤300	
E					2000	1000	500	≤300
	a	b	c	d	e	f	g	h

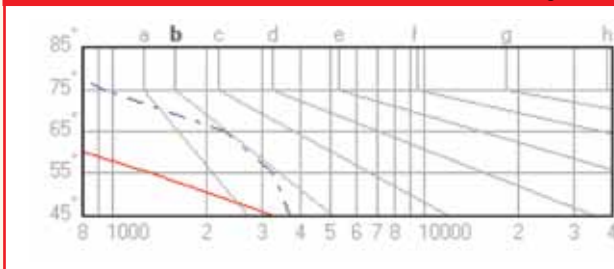


Figura 4 – Luminária escolhida para o método dos lúmens e seus respectivos dados fotométricos.

Etapa 4 – Determinar o Fator de Manutenção (FM)

Considerando o ambiente normal e manutenção periódica a cada dois anos, com uso do ambiente de 10 horas/dia, em dias úteis, obtém-se um intervalo de manutenção de aproximadamente 5.000 horas. Pela Tabela 1, pode-se considerar um fator de manutenção igual a 0,85.

Etapa 5 – Determinar o fator de fluxo luminoso

O fator de fluxo luminoso considerado é igual a 1,0, em função de se escolher um reator eletrônico com essa característica.

Etapa 6 – Dimensionamento

Para determinação da quantidade de luminárias, utiliza-se a fórmula:

$$N = \frac{E_{med} \times A}{n \times \phi_n \times U \times FM \times FFL}$$

Em que:

N : número necessário de luminárias

$E_{med} = 500 \text{ lux}$ (seguindo recomendação de iluminância da ABNT NBR 5413)

$A = 12 \times 8 = 96 \text{ m}^2$

$n = 4$ (a luminária utiliza 4 lâmpadas de 14 W)

$\phi_n = 1350 \text{ lm}$ (fluxo luminoso de cada lâmpada)

$U = 0,67$ (fator de utilização definido na Etapa 3)

$FM = 0,85$ (definido na Etapa 4)

$FFL = 1,0$ (definido na Etapa 5)

Calculando-se N pela fórmula, obtém-se que são necessárias 15,6 luminárias para que o ambiente considerado tenha um nível médio de 500 lux.

Dessa forma, distribuindo-se 16 luminárias, o nível médio do ambiente pela fórmula a seguir é de 512 lux.

$$E_{med} = \frac{N \times n \times \phi_n \times U \times FM \times FFL}{A}$$

Etapa 7 – Distribuição das luminárias

Embora as 16 luminárias atendam às condições de projeto para a sala considerada, para melhor distribuição espacial foi considerada a instalação de 18 luminárias no ambiente. Assim, o nível de iluminância resultante é de 576 lux e obtém-se uma melhor distribuição das luminárias e das luminâncias.

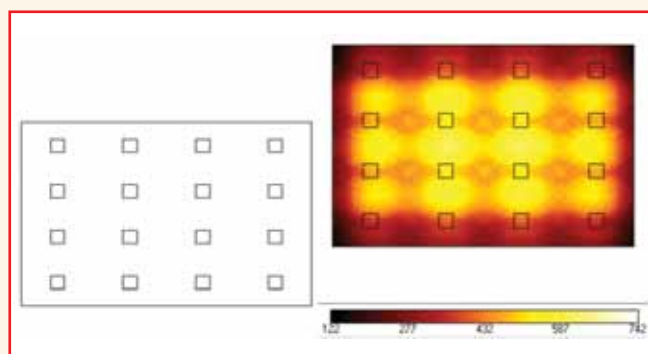


Figura 5 – Distribuição de 16 luminárias.



Figura 6 – Distribuição de 18 luminárias.

Método do ponto a ponto

Se a distância “d” entre a fonte de luz e o objeto a ser iluminado for no mínimo cinco vezes as dimensões física da fonte de luz, pode-se calcular a iluminância pelo método ponto a ponto.

Este método é utilizado, portanto, para fontes pontuais para determinação da iluminância obtida com lâmpadas de dimensões pequenas e de fechos de luz bem definidos como lâmpadas dicróicas, PAR, alguns tipos de luminárias de Leds, entre outros. Aplicam-se as seguintes fórmulas para determinar as iluminâncias:

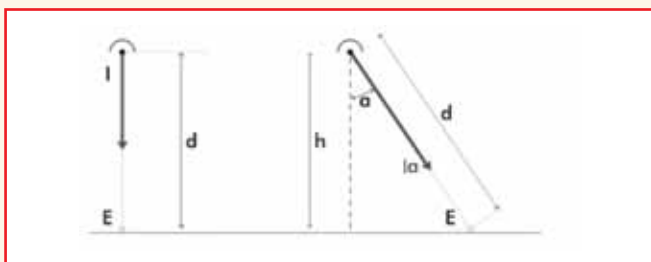


Figura 7 – Considerações para cálculo pelo método ponto a ponto.

$$E = \frac{I}{d^2}$$

para luz incidindo perpendicularmente ao plano do objeto, e:

$$E = \frac{I \propto \cos^3 \alpha}{h^2}$$

para luz que não incide perpendicularmente ao plano do objeto.

I = intensidade luminosa (vertical), em cd

E = iluminância no ponto, em lx

d = distância da fonte luminosa ao objeto

α = ângulo de abertura do fecho

h = distância vertical entre a fonte de luz e o plano do objeto

I_{α} = intensidade luminosa no ângulo α , em cd

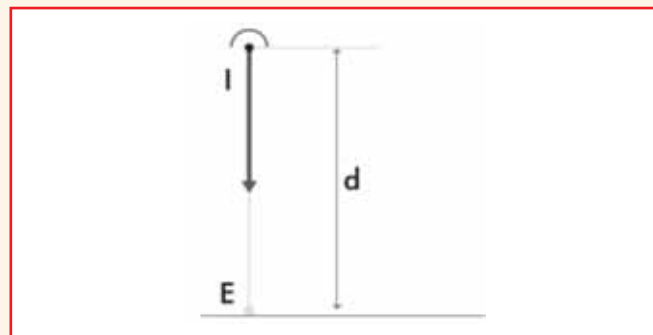
A iluminância (E) em um ponto é o somatório de todas as iluminâncias incidentes sobre esse ponto provenientes de diferentes pontos de luz, ou seja:

$$E = \frac{I_i}{h^2} + \sum \left(\frac{I_{\alpha} \times \cos^3 \alpha}{h^2} \right)$$

Neste método não são consideradas as refletâncias das superfícies (teto, paredes e piso) e pode ser considerado bem trabalhoso para ser executado manualmente em ambientes com várias fontes luminosas.

Exemplo de aplicação do método ponto a ponto

Determine a iluminância no centro do fecho de uma luminária com lâmpada dicróica de 50 W 36° e intensidade máxima de 2.200 cd, sendo que o pé-direito da sala é de 3 m. Determine o espaçamento entre luminárias de forma que a iluminância fique uniforme.



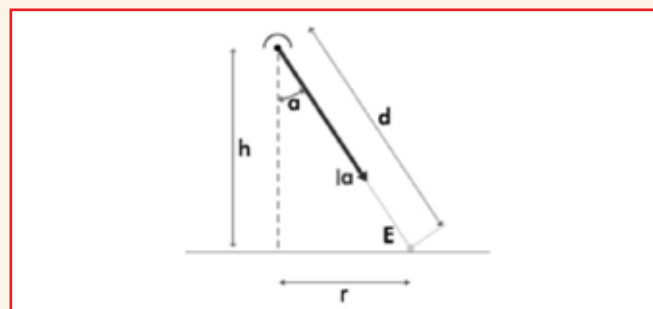
Considerando a fórmula:

$$E = \frac{I}{d^2}$$

Tem-se que $E = \frac{2200}{9} = 244 \text{ lux}$

Há 244 lux no centro do fecho da luminária no piso.

Para determinar a distância entre luminárias para que a iluminância seja uniforme, considera-se que a intensidade luminosa a 18° (metade do ângulo de abertura) é metade da intensidade luminosa no centro do fecho. Por trigonometria tem-se que a distância entre luminárias é igual a 2r, assim:



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{r}{h}$$

$$r = \operatorname{tg} 18^\circ \times 3 = 0,97$$

A distância entre fontes deve ser igual a 2r, isto é, 1,95 m.

** Juliana Iwashita Kawasaki é arquiteta, mestre em engenharia elétrica, membro do Comitê Brasileiro de Eletricidade (Cobei) CB-3 da ABNT, em que participa atualmente como coordenadora da comissão revisora da norma de iluminação de interiores (ABNT NBR 5413). É diretora da Arquilum Arquitetura e Iluminação.*

Continua na próxima edição
Confira todos os artigos deste fascículo em
www.osetoreletrico.com.br

Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail redacao@atitudeeditorial.com.br