



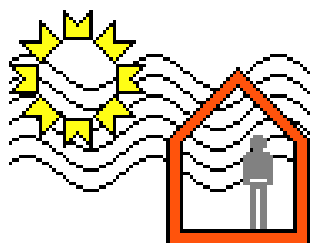
II fórum pró-sustentabilidade



Feevale - Arquitetura e Urbanismo

Novo Hamburgo, RS

6 a 8 de novembro de 2008



Arquitetura Bioclimática

Módulo 1b:

Iluminação Natural em Edificações



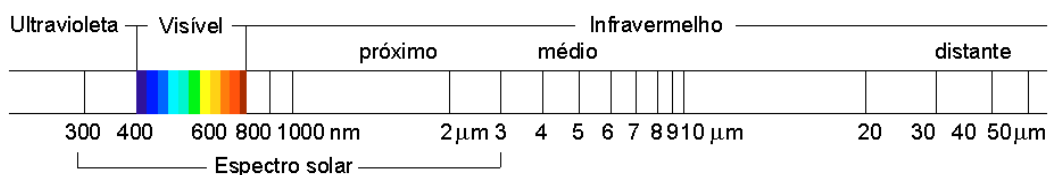
Prof. Dr. Maurício Roriz

SUMÁRIO

Assunto	Página
1. Conceitos Básicos e Unidades	1
2. Iluminação Natural: Coeficiente de Luz Diurna (CLD)	5
2.1. Determinação da Componente Celeste (CC)	7
Exemplo de Cálculo da Componente Celeste do CLD	9
2.2. Determinação da Componente de Reflexão Externa (CRE)	13
2.3. Determinação da Componente de Reflexão Interna (CRI)	13
3. Iluminação Artificial	16
3.1. Lâmpadas	16
3.2. Luminárias	16
3.3. Cálculo da Iluminação sobre um plano horizontal	18
3.4. Exemplo de cálculo	22
4. Bibliografia	23
Tabelas	Página
Tabela 1.1 - Luminâncias recomendadas e Iluminâncias horizontais correspondentes	3
Tabela 1.2 - Iluminâncias recomendadas (Referência Bibliográfica 4)	3
Tabela 1.3 - Iluminâncias recomendadas (Referência Bibliográfica 3)	4
Tabela 2.1 - Valores Recomendados do Coeficiente de Luz Diurna	6
Tabela 2.2 - Refletâncias de superfícies comuns nas edificações	12
Tabela 3.1 - Valores do Fator de Manutenção (M)	15
Tabela 3.2 - Valores do Fator de Utilização (U)	16
Tabela 3.3 - Eficácia Luminosa (lm/W) e Luminância Média de Lâmpadas	17
Tabela 3.4 - Eficácia Luminosa e Produção de Calor de Lâmpadas (%)	18

1. CONCEITOS BÁSICOS E UNIDADES

O espectro solar corresponde a uma faixa de radiações em comprimentos de onda desde 300 até aproximadamente 3000nm ($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$), abrangendo três regiões: ultravioleta, visível e infravermelho.



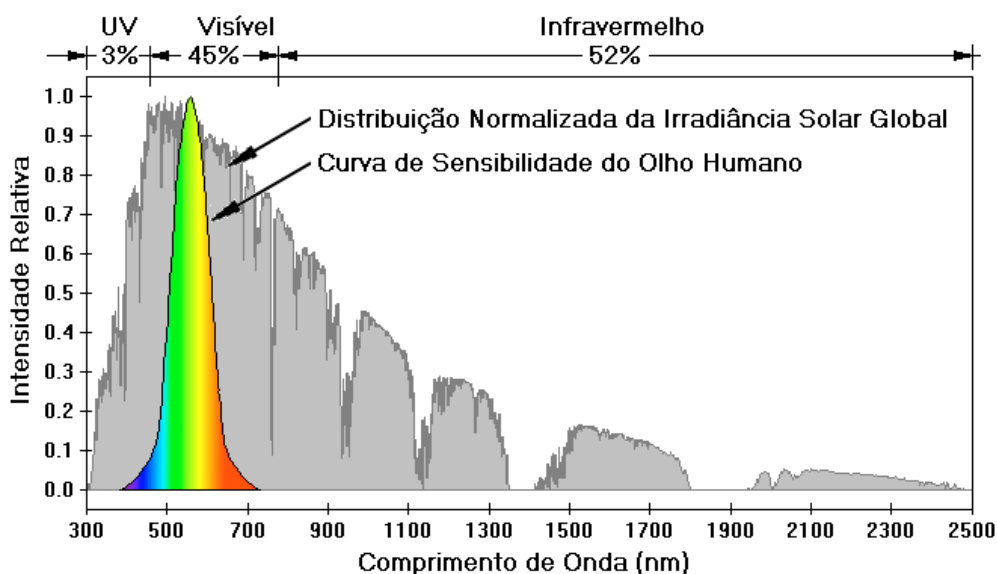
REGIÕES DO ESPECTRO SOLAR.

LUZ: A parte visível das radiações eletromagnéticas, que compreende um intervalo espectral bem definido, que varia de 380nm a 780nm, e é aquele que sensibiliza o olho humano, permitindo a visão dos objetos. Dependendo do comprimento de onda, a luz refletida por uma superfície produz as diferentes sensações de cores.



ESPECTRO VISÍVEL (NM) E CORES PERCEBIDAS

A intensidade da radiação solar não é constante ao longo do espectro e sua distribuição depende das condições atmosféricas. Para servir de referência, a ASTM (2003), com base em séries de dados medidos, definiu um espectro solar padrão, indicando a intensidade correspondente a cada comprimento de onda. Na figura abaixo, este padrão é comparado com a curva de sensibilidade do olho humano, que também varia entre diferentes comprimentos de ondas.



ESPECTRO PADRÃO E SENSIBILIDADE DA VISÃO HUMANA.

FONTE: Qualquer corpo que emita luz. É denominada **Fonte Primária**, quando a luz é produzida pelo próprio corpo e **Fonte Secundária**, quando a luz é apenas refletida pelo corpo.

LUZ NATURAL: A luz emitida pelo Sol. A luz natural pode ser **Direta**, quando nos chega através dos raios solares, ou **Indireta**, quando é proveniente da reflexão pela atmosfera (**Luz Natural Difusa**) ou por superfícies próximas ao observador (**Luz Natural Refletida**). A Iluminação Natural pode ser **Lateral** (janelas) ou **Zenital** (aberturas no teto).

PRINCIPAIS OBJETIVOS DO PROJETO DE ILUMINAÇÃO:

- Proporcionar, aos usuários, ambientes nos quais a tarefa visual seja executada de modo confortável e eficiente.
- Contribuir na definição do "caráter" do ambiente.

PRINCIPAIS OBJETIVOS DA ILUMINAÇÃO NATURAL:

- Evitar o desperdício de energia elétrica provocado por iluminação artificial desnecessária.
- Contribuir para o contato do homem com a natureza.

CANDELA (cd): unidade de medida de **Intensidade Luminosa** (Sistema Internacional) igual a 1/60 da intensidade luminosa de um centímetro quadrado da superfície de um radiador perfeito na temperatura de solidificação da platina.

ESTERORRADIANO (Unidade de ângulos sólidos): o ângulo (espacial) subentendido no centro de uma esfera por por uma área, na sua superfície, numericamente igual ao quadrado do raio.

LÚMEN (lm): unidade de **Fluxo Luminoso** (Sistema Internacional) igual ao fluxo luminoso emitido, no interior de um ângulo sólido de um esterradiano, por uma fonte pontual de intensidade invariável de uma **candela**, e que emite, uniformemente, em todas as direções.

LUMINÂNCIA é o limite da razão entre a intensidade do fluxo luminoso emitido por uma superfície em uma dada direção, no interior de um determinado ângulo sólido e o produto entre esse ângulo sólido e a área da superfície emissora projetada sobre um plano perpendicular à direção considerada, quando esse ângulo e essa área tendem a zero. Sua unidade é candela por metro quadrado (cd/m^2). É, portanto, uma característica da fonte de luz.

Denomina-se **ILUMINÂNCIA** ao limite da razão entre o fluxo luminoso recebido por uma superfície, em torno de um ponto considerado, e a área da superfície quando esta tende a zero. No Sistema Internacional essa grandeza é medida em **Lux (lx)**, que corresponde à iluminância de uma superfície plana cuja área é de 1 m^2 e que recebe, perpendicularmente, um fluxo luminoso de 1 **lúmen** uniformemente distribuído.

REQUISITOS DE UM BOM PROJETO DE ILUMINAÇÃO:

A intensidade e a qualidade da iluminação de uma área de trabalho interna, devem ser baseados nos requisitos de:

- **Desempenho visual:** indica tanto a velocidade em que os olhos funcionam, como a precisão com que uma tarefa visual poderá ser executada. O grau de desempenho visual cresce, até certo limite, com o aumento da iluminância. Depende também do tamanho do objeto, de sua distância até o olho do observador e dos contrastes em cor e em iluminâncias.

- Conforto e agradabilidade

- **Economia:** Evitar desperdícios. Ponderar entre os iluminamentos ideais e os possíveis, determinados pelas limitações econômicas.

Para atender a esses requisitos é necessário considerar os seguintes parâmetros:

- Iluminamento	- Distribuição de iluminâncias no campo visual
- Ofuscamento	- Modelagem
- Qualidade das cores	- Esquemas de cores

NÍVEIS DE ILUMINAÇÃO:

Para áreas destinadas **apenas à circulação** pode ser adotada uma luminância de 1 cd/m^2 e o **nível mínimo** de iluminamento horizontal de 20 lux, considerado suficiente para se distinguir vagamente as feições humanas. Em áreas de trabalho os valores mínimos aceitáveis correspondem à luminâncias entre 10 e 20 cd/m^2 , iluminamento vertical de 100 lux e horizontal de 200 lux.

Os **níveis ótimos** de iluminação para áreas de trabalho não são constantes, dependem do nível geral de iluminação do ambiente e da **refletância (ρ) da tarefa**. Ao contrário do que se supunha no passado, menores luminâncias são aceitas para superfícies com menor grau de refletância. Assim, as luminâncias (**L**) ótimas situam-se, aproximadamente, entre 100 cd/m^2 para $\rho = 0,2$ e 400 cd/m^2 para $\rho = 0,8$. As iluminâncias (**E**) correspondentes a estes valores variam entre 1500 lux (para alta reflexão) e 2000 lux (baixa reflexão).

Tarefas que exigem grande acuidade visual devem contar com **iluminação individual** específica. A sensibilidade máxima do olho ao contraste é atingida com um nível aproximado de 1000 cd/m^2 que, mesmo para refletâncias baixas, pode ser obtida com iluminância em torno de 20000 lux. As tabelas a seguir indicam os níveis recomendados para diferentes tarefas visuais.

Tabela 1.1 - Luminâncias recomendadas e Iluminâncias horizontais correspondentes		
Tarefa	Luminância (cd/m^2)	Iluminância horizontal (lux)
Feições da face humana vagamente distinguíveis	1	20
Feições da face humana satisfatoriamente distinguíveis	10 - 20	200
Condição ótima para trabalho normal	100 - 400	2000
Tarefa com refletância acima de 0,15	1000	20000

Tabela 1.2 - Iluminâncias recomendadas (Referência Bibliográfica 4)		
Tarefa	Iluminância (lux)	Exemplo
Iluminação geral para ambientes de curta permanência ou tarefas visuais simples e casuais	20	Mínimo para circulação externa
	30	Depósitos externos
	50	Circulações externas, estacionamentos
	75	Docas e cais
	100	Teatros, quartos de hotéis, banheiros
	150	Depósitos, circulação em indústria
Iluminação geral para áreas de trabalho internas	200	Mínimo
	300	Trabalho bruto de bancada e máquina. Processos gerais na indústria química. Leitura casual e arquivamento
	500	Trabalho médio de bancada e máquina. Montagem de veículos. Escritórios. Tipografias. Lojas
	1000	Trabalho fino de bancada e máquina. Montagem de máquinas de escrever. Trabalho com cores. Desenho
	1500	Trabalho muito fino. Montagem de instrumentos de precisão, componentes eletrônicos. Calibragem e inspeção de peças pequenas e complexas.
Iluminação individual localizada	> 2000	Trabalho detalhado de grande precisão: Relógios, gravuras, cirurgia

Tabela 1.3 - Iluminâncias recomendadas (Referência Bibliográfica 3)	
Tipo de ambiente	Iluminância (lux)
Auditórios:	
Palco	500
Platéia (durante intervalo)	50
Sala de espera	150
bilheterias	500
Bancos:	
Atendimento ao público	500
Bibliotecas:	
Leitura	500
Estantes	300
Circulação:	
Corredores e escadas	100
Escolas:	
Salas de aulas	300
Quadro negro	500
Laboratórios (bancadas)	500
Salas de desenho	500
Salas de reuniões	200
Escritórios:	
Salas de desenho	1000
Residências:	
Estar (geral)	150
leitura	500
Cozinha (geral)	150
fogão, pia, etc.	300
Dormitórios (geral)	150
espelhos	300
Banheiros (geral)	150
espelhos	300
Circulação	150

2. ILUMINAÇÃO NATURAL

A luz considerada nos projetos de Iluminação Natural é apenas a Luz Solar Difusa, proveniente da abóbada celeste. Particularmente nas regiões tropicais, a Luz Solar Direta deve ser evitada, devido às fortes e desconfortáveis intensidades térmicas e luminosas por ela produzidas.

COEFICIENTE DE LUZ DIURNA (CLD) PARA JANELA LATERAL

Diversos países adotam o **Coefficiente de Luz Diurna** como parâmetro de avaliação do nível de iluminação natural dos ambientes interiores.

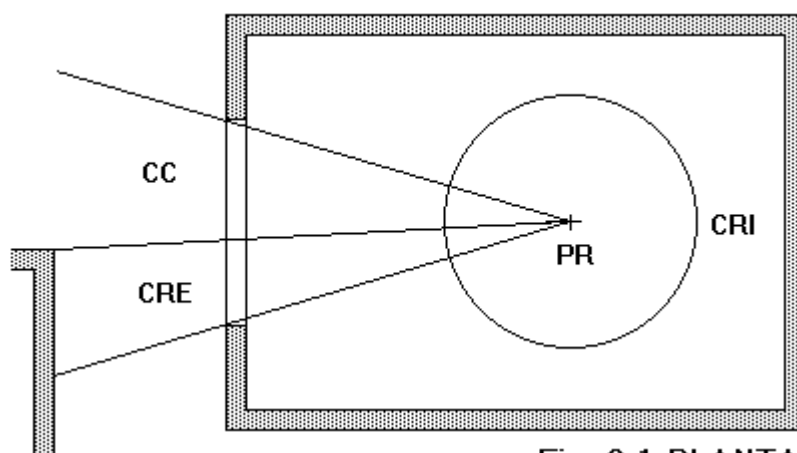


Fig. 2.1 PLANTA

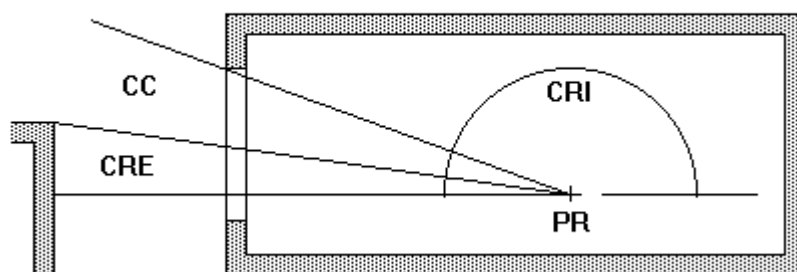


Fig. 2.2 CORTE

Em relação a um **Ponto de Referência (PR)** no interior de uma edificação, o **Coefficiente de Luz Diurna (CLD)** é definido como a razão entre a iluminância desse ponto e a iluminância simultaneamente disponível sobre um plano horizontal exterior iluminado pelo total da abóbada celeste. Seu valor pode ser obtido através da seguinte equação:

$$CLD = T \cdot K_1 \cdot K_2 (CC + CRE + CRI) \quad [\%]$$

T = Transparência do vidro (entre 0,8 e 0,9 para vidro comum)

K_1 = Fator de redução devido a elementos opacos da janela (caixilhos). Indica a razão entre a soma das áreas envidraçadas (A_v) e a área total da janela (A_j): $K_1 = A_v / A_j$

K_2 = Fator de redução devido à perda de transparência dos vidros (sujeira). Depende, por-tanto, da manutenção do local e varia entre 0,6 (má conservação) e 0,9 (boa conservação).

CC = Componente Celeste: a razão entre a iluminância do Ponto de Referência devida somente à luz recebida diretamente da abóbada celeste e a iluminância simultaneamente disponível no exterior.

CRE = Componente de Reflexão Externa: a razão entre a iluminância do Ponto de Referência devida somente à luz emitida por reflexão direta de superfícies externas e a iluminância simultaneamente disponível no exterior. Depende da intensidade de iluminação sobre a superfície e da sua refletância.

CRI = Componente de Reflexão Interna: a razão entre a iluminância do Ponto de Referência devida somente à luz emitida por reflexão direta de superfícies internas e a iluminância simultaneamente disponível no exterior. Depende, principalmente, da refletância das superfícies interiores.

Sendo o CLD uma porcentagem sobre a iluminância de um ponto que receba luz do total da abóbada celeste, seus níveis recomendáveis dependem, obviamente, das intensidades de iluminação proporcionadas pelo céu típico da época e do lugar considerados. No Brasil não há registro sistemático dessas intensidades. A tabela abaixo apresenta alguns valores recomendados como mínimos na Inglaterra. Na falta de outro critério e supondo-se que o céu tropical proporcione o triplo da luz que emite o céu europeu (a diferença deve ser maior que essa), seria razoável adotar um terço desses valores.

Tabela 2.1 - Valores Recomendados do CLD - Coeficiente de Luz Diurna (%)

Tipo de Ambiente	Europa	Brasil	Observações
Habitação:			
Cozinha	2	0,7	Em 50% da área, no mínimo
Sala de estar	1	0,3	Em 50% da área, no mínimo
Banheiro	0,5	0,2	Em 75% da área, no mínimo
Dormitório	0,5	0,2	Em 75% da área, no mínimo
Salas de aula	2	0,7	Valor mínimo
Enfermarias	1	0,3	Valor mínimo
Escritórios	1	0,3	À 3,5 metros das janelas
Salas de desenho	6	2	Sobre o Plano de Trabalho
Salas de datilografia	4	1,3	Sobre o Plano de trabalho
Laboratórios	3	1	Sobre o Plano de Trabalho
Fábricas	5	1,7	Sobre o Plano de Trabalho

2.1. Determinação da Componente Celeste (CC)

A) **Primeiro caso:** o Ponto de Referência (PR) está situado sobre uma reta perpendicular à uma das extremidades do peitoril da janela.

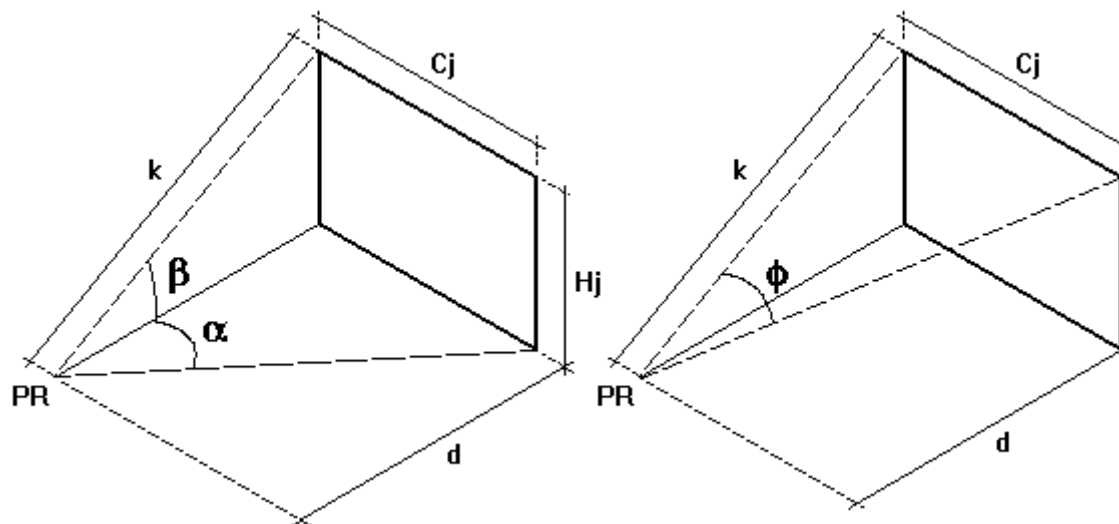


Figura 2.3

Medidas Fundamentais:

C_j = Comprimento da Janela (m)

H_j = Altura da Janela (m)

d = Distância entre o Ponto de Referência e a Janela (m)

k = Hipotenusa do triângulo cujos catetos são " d " e " H_j " (m)

Ângulos Fundamentais:

$\alpha = \text{arc tag} (C_j / d)$

$\beta = \text{arc cos} (d / k)$

$\phi = \text{arc tag} (C_j / k)$

Nesse caso, a Componente Celeste (CC) é calculada pela seguinte expressão (ângulos em radianos):

$$CC = (50 / \pi) \cdot (\alpha - \cos \beta \times \phi) \quad [\%]$$

ou seja:

$$CC = (50 / \pi) \cdot (\alpha - \phi \cdot (d / k)) \quad [\%]$$

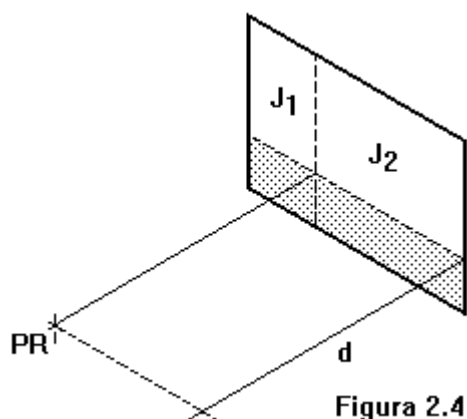


Figura 2.4

B) Segundo caso: o Ponto de Referência (PR) está situado sobre uma reta perpendicular a um ponto no interior da janela.

- Dividir a janela em quatro partes, de modo que cada uma dessas partes possua um vértice sobre a perpendicular que contém o Ponto de Referência.

- Desprezar a região da janela abaixo do Plano de Trabalho.

- Através da mesma equação adotada no **primeiro caso**, calcular a Componente Celeste para cada uma das partes resultantes da janela (CC_{J1} e CC_{J2}).

- A Componente Celeste total será a soma dos dois valores calculados ($CC_J = CC_{J1} + CC_{J2}$).

C) Terceiro caso: o Ponto de Referência (PR) está situado sobre uma reta perpendicular a um ponto no exterior da janela.

- Calcular, com a mesma equação 1.0, as Componentes Celestes para cada um dos retângulos que possuam um dos vértices sobre a perpendicular que contém o Ponto de Referência. No caso da figura ao lado, esses retângulos serão:

$$J_{1379} = J_1 + J_2 + J_3 + J_4$$

$$J_{1278} = J_1 + J_3$$

$$J_{4679} = J_3 + J_4$$

$$J_{4578} = J_3$$

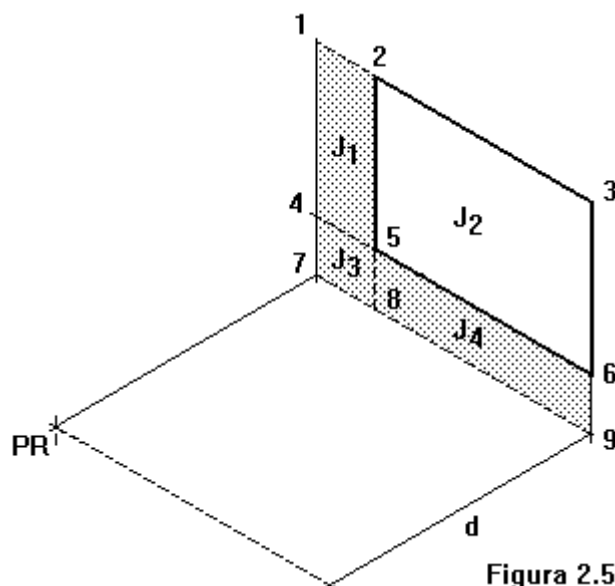
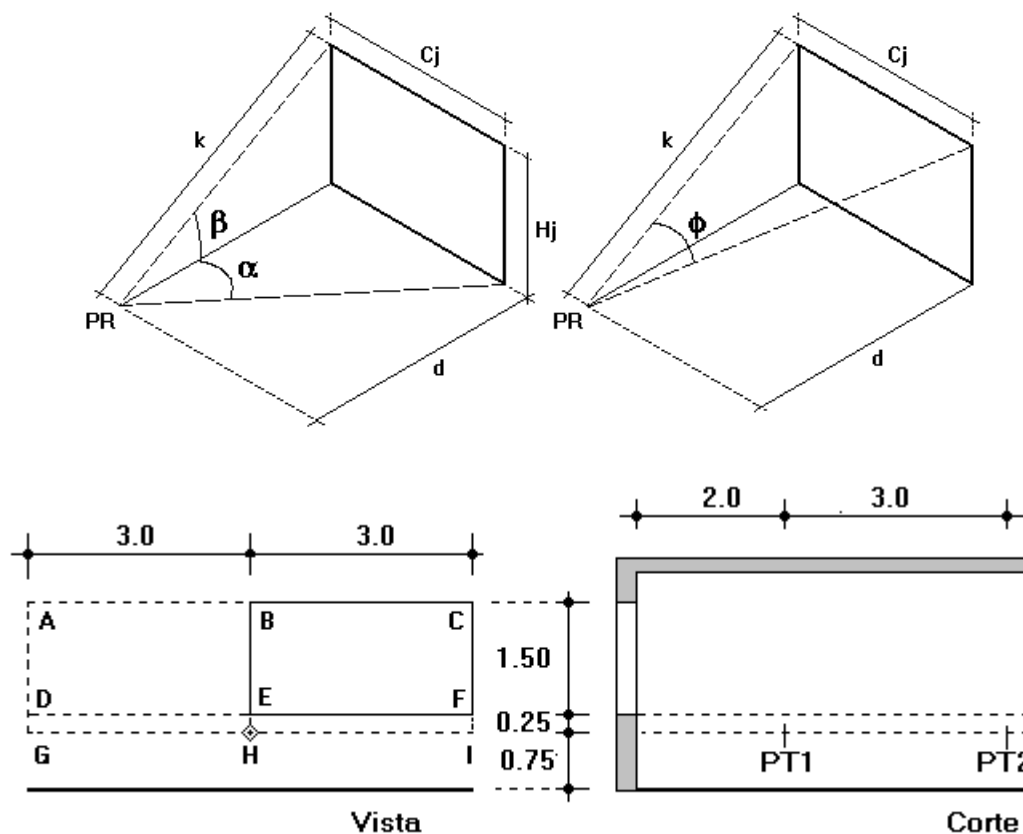


Figura 2.5

- A Componente Celeste (CC_{J2}) será a soma algébrica dos valores parciais calculados para os quatro retângulos:

$$CC_{J2} = CC_{J1379} - (CC_{J1278} + CC_{J4679} - CC_{J4578})$$

Exemplo de Cálculo da Componente Celeste do CLD



Caso 1) Ponto de Referência (PT1) a 2 m da janela:

1.1) Janela Virtual “BCHI” (ponto de referência em perpendicular passando pelo vértice H)

Medidas Fundamentais:		m
Comprimento da sala		9.0
Largura da sala		6.0
Altura do Plano de Trabalho		0.75
Comprimento da Janela (Cj)		3.0
Altura da Janela (Hj)	1.5 + 0.25	1.75
Distância do Ponto de Referência à Janela (d)		2.0
Hipotenusa triângulo com catetos “d” e “Hj” (k)	raiz de (4+3.06)	2.658

Ângulos Fundamentais:		radianos
$\alpha = \text{arc tag } (Cj / d)$	$(Cj / d) = 3/2 = 1.5$	$\alpha = 0.983$
$\beta = \text{arc cos } (d / k)$	$(d / k) = 0.753$	$\beta = 0.719$
$\phi = \text{arc tag } (Cj / k)$	$(cj / k) = 1.129$	$\phi = 0.846$

$$CC1 = (50 / \pi) \cdot (\alpha - \cos \beta \times \phi) = 15.915 [0.983 - (0.753 \times 0.846)]$$

$$CC1 = 15.915 (0.983 - 0.637) = 15.915 \times 0.346 = 5.51$$

1.2) Janela Virtual “EFHI” (ponto de referência em perpendicular passando pelo vértice H)

Medidas Fundamentais:		m
Comprimento da sala		9.0
Largura da sala		6.0
Altura do Plano de Trabalho		0.75
Comprimento da Janela (Cj)		3.0
Altura da Janela (Hj)	1.5 + 0.25	0.25
Distância do Ponto de Referência à Janela (d)		2.0
Hipotenusa triângulo com catetos “d” e “Hj” (k)	raiz de (4+0.0625)	2.016

Ângulos Fundamentais:		radianos
$\alpha = \text{arc tag } (Cj / d)$	$(Cj / d) = 1.5$	$\alpha = 0.983$
$\beta = \text{arc cos } (d / k)$	$(d / k) = 0.992$	$\beta = 0.124$
$\phi = \text{arc tag } (Cj / k)$	$(cj / k) = 1.488$	$\phi = 0.979$

$$CC2 = (50 / \pi) (\alpha - \cos \beta \times \phi) = 15.915 [0.983 - (0.992 \times 0.979)]$$

$$CC2 = 15.915 (0.983 - 0.972) = 15.915 \times 0.011 = 0.18$$

$$1.3) \text{ Janela Virtual “BCEF” } \implies CC3 = CC1 - CC2 = 5.51 - 0.18 = 5.33$$

$$1.4) \text{ Janela Real “ACDF” } \implies CC = 2 \times CC3 = 2 \times 5.33 = 10.67$$

===== <<<>>> =====

Caso 2) Ponto de Referência (PT2) a 5 m da janela:

2.1) Janela Virtual “BCHI” (ponto de referência em perpendicular passando pelo vértice H)

Medidas Fundamentais:		m
Comprimento da sala		9.0
Largura da sala		6.0
Altura do Plano de Trabalho		0.75
Comprimento da Janela (Cj)		3.0
Altura da Janela (Hj)	1.5 + 0.25	1.75
Distância do Ponto de Referência à Janela (d)		5.0
Hipotenusa triângulo com catetos “d” e “Hj” (k)	raiz de (25+3.06)	5.297

Ângulos Fundamentais:		radianos
$\alpha = \text{arc tag } (Cj / d)$	$(Cj / d) = 3/5 = 0.6$	$\alpha = 0.540$
$\beta = \text{arc cos } (d / k)$	$(d / k) = 0.944$	$\beta = 0.337$
$\phi = \text{arc tag } (Cj / k)$	$(cj / k) = 0.566$	$\phi = 0.515$

$$CC1 = (50 / \pi) \cdot (\alpha - \cos \beta \times \phi) = 15.915 [0.540 - (0.944 \times 0.515)]$$

$$CC1 = 15.915 (0.540 - 0.486) = 15.915 \times 0.054 = 0.86$$

2.2) Janela Virtual “EFHI” (ponto de referência em perpendicular passando pelo vértice H)

Medidas Fundamentais:		m
Comprimento da sala		9.0
Largura da sala		6.0
Altura do Plano de Trabalho		0.75
Comprimento da Janela (Cj)		3.0
Altura da Janela (Hj)	1.5 + 0.25	0.25
Distância do Ponto de Referência à Janela (d)		5.0
Hipotenusa triângulo com catetos “d” e “Hj” (k)	raiz de (25+0.0625)	5.006

Ângulos Fundamentais:		radianos
$\alpha = \text{arc tag } (Cj / d)$	$(Cj / d) = 0.6$	$\alpha = 0.540$

$\beta = \arccos (d / k)$	$(d / k) = 0.999$	$\beta = 0.050$
$\phi = \arctan (C_j / k)$	$(c_j / k) = 0.599$	$\phi = 0.540$

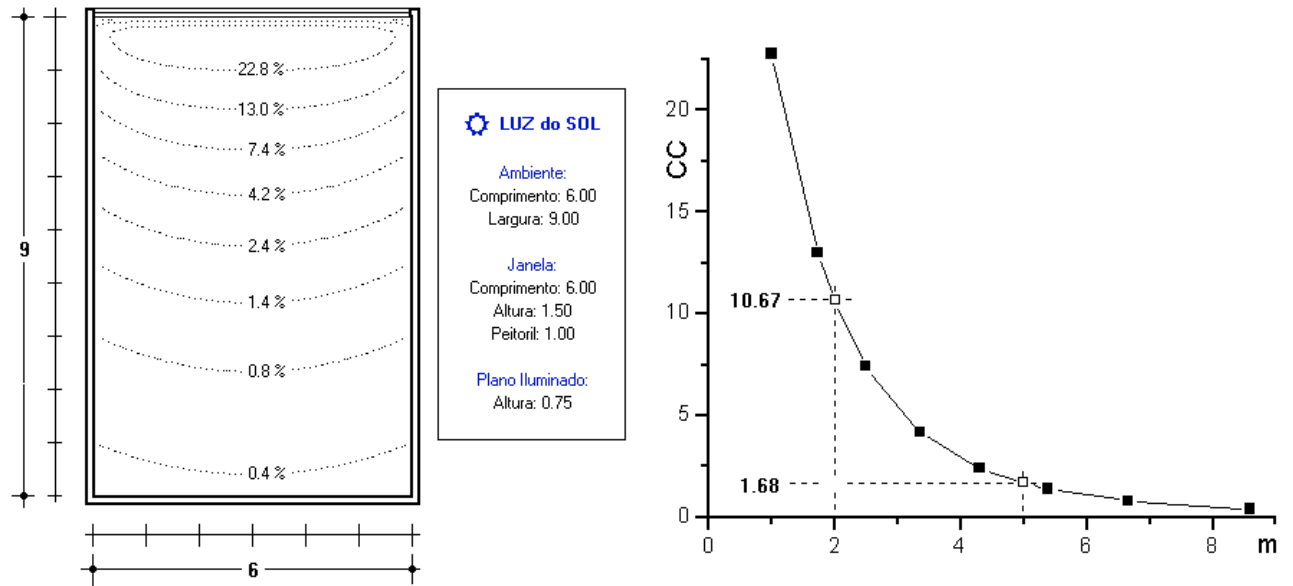
$$CC2 = (50 / \pi) (\alpha - \cos \beta \times \phi) = 15.915 [0.540 - (0.999 \times 0.540)]$$

$$CC2 = 15.915 (0.540 - 0.539) = 15.915 \times 0.001 = 0.02$$

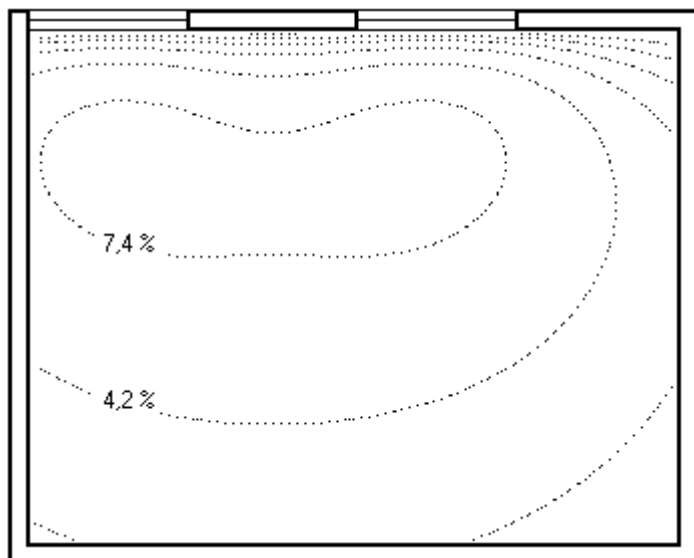
$$2.3) \text{ Janela Virtual "BCEF"} \implies CC3 = CC1 - CC2 = 0.86 - 0.02 = 0.84$$

$$2.4) \text{ Janela Real "ACDF"} \implies CC = 2 \times CC3 = 2 \times 0.84 = 1.68$$

===== <<<>>> =====



Curvas da Componente Celeste do Fator de Luz Diurna para Iluminação Lateral



Exemplo de **Gráfico de Linhas**

Ambiente:
Comprimento: 5,2 m
Largura: 4,0 m

Janelas:
Comprimento: 1,2 m
Altura: 1,2 m
Peitoril: 1,0 m

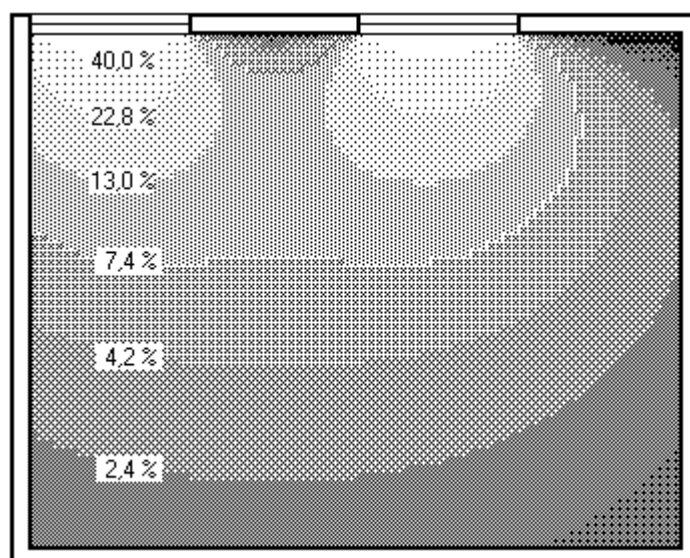
Plano de Referência:
Altura: 0,0 m

Exemplo de **Gráfico de Textura**

Ambiente:
Comprimento: 5,2 m
Largura: 4,0 m

Janelas:
Comprimento: 1,2 m
Altura: 1,2 m
Peitoril: 0,0 m

Plano de Referência:
Altura: 0,0 m



A única diferença entre os dois ambientes referidos nos exemplos acima está nas alturas dos peitoris das janelas. No segundo caso essa altura é a mesma que a do Plano de Referência e no primeiro caso o peitoril está situado um metro mais alto.

2.2. Determinação da Componente de Reflexão Externa (CRE)

A Componente de Reflexão Externa deverá ser considerada sempre que alguma obstrução existente no exterior do ambiente esconder uma parte do céu reduzindo, assim, a Componente Celeste que seria proporcionada pela janela inteira.

A obstrução pode ser considerada como uma "janela" através da qual o Ponto de Referência recebesse luz de um céu cuja Luminância fosse apenas uma porcentagem da do céu verdadeiro. Essa porcentagem dependerá da Refletância da obstrução (ver Tabela 2.2). Adota-se, portanto, os mesmos procedimentos do cálculo da Componente Celeste e multiplica-se o resultado por aquela Refletância. Nesse caso, as medidas fundamentais seriam:

- C_j** = Comprimento visível da obstrução (m)
- H_j** = Altura visível da obstrução (m)
- d** = Distância entre o Ponto de Referência e a obstrução (m)
- k** = Hipotenusa do triângulo cujos catetos são "d" e "H_j" (m)

Assim, sendo "**R**" a Refletância da obstrução e "**CC_{ob}**" a Componente Celeste encontrada a partir dessas medidas, a Componente de Reflexão Externa será:

$$CRE = CC_{ob} \times R / 100$$

2.3. Determinação da Componente de Reflexão Interna (CRI)

A Componente de Reflexão Interna pode ser determinada através dos seguintes dados de entrada:

- Ca** = Comprimento do ambiente (m)
- La** = Largura do Ambiente (m)
- Ha** = Largura do Ambiente (m)
- Cj** = Comprimento da Janela (m)
- Lj** = Largura da Janela (m)
- Hj** = Altura da Janela (m)
- Hp** = Altura do peitoril da janela (m)
- Rp** = Refletância das paredes (%) - Ver Tabela 2.2
- Rpi** = Refletância do piso (%) - Ver Tabela 2.2
- Rf** = Refletância do forro (%) - Ver Tabela 2.2

Com base nesses dados, calcular:

1. Área envidraçada (**A_v**), área de paredes (**A_p**), área de piso (**A_{pi}**) e área de forro (**A_f**)
2. Área total das superfícies internas (**A_t = A_v + A_p + A_{pi} + A_f**)
3. Refletância média de todas as superfícies (**R_m = [Σ (A_i x R_i) / A_t**)

sendo:

- A_i** = Área da superfície "i"
- R_i** = Refletância da superfície "i" (ver Tabela 2.2)
- A_t** = Σ (A_i) Área total das superfícies internas

4. Refletância média do piso e das partes das paredes situadas abaixo do plano que passa pela metade da altura da janela, excluída a parede que contém a janela (R_{m1})
5. Refletância média do piso e das partes das paredes situadas acima do plano que passa pela metade da altura da janela, excluída a parede que contém a janela (R_{m2})
6. Coeficiente de obstrução (Co), que depende do ângulo vertical de obstrução (Ao), conforme o gráfico abaixo. O ângulo vertical de obstrução é tomado a partir de um ponto situado sobre o plano que passa pela metade da altura da janela, no centro geométrico do ambiente.

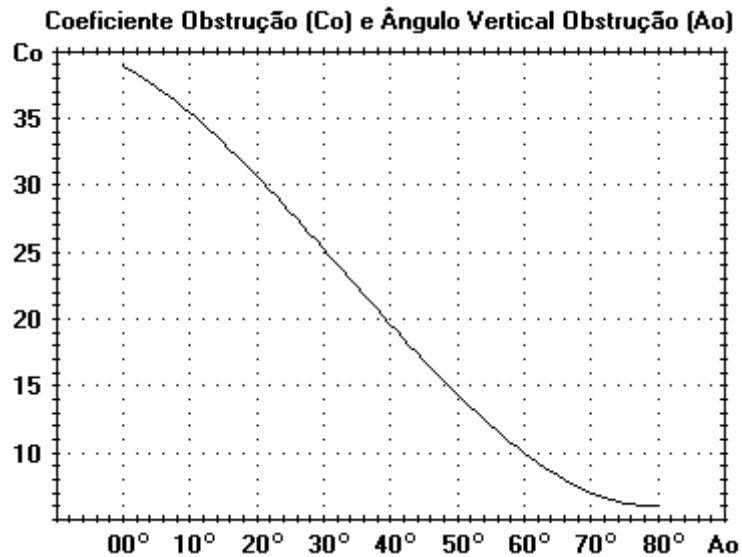


Figura 2.6

A Componente de Reflexão Interna será: $CRI = [(0,85 \times Sv) / (St (1 - R_m))] (Co \times R_{m1} + 5 R_{m2})$

Tabela 2.2 - Refletâncias de superfícies comuns nas edificações	
Natureza da superfície	Refletância (%)
Asfalto limpo	7
Pedra	25 - 60
Granito claro	40
Mármore branco	45
Cerâmica vermelha	30
Tijolo cerâmico	13 - 48
Terra	7 - 20
Tecido escuro (cortina, etc)	2
Madeira clara	13 - 70
Madeira escura	7 - 13
Vegetação de cor média	25
Vidro comum	15
Espelho	80 - 90
Alumínio polido	60 - 70
Aço inoxidável	55 - 65
Pintura muito escura	0 - 15
Pintura escura	15 - 30
Pintura cor média	30 - 50
Pintura clara	50 - 70
Pintura muito clara	70 - 85
Pintura branca	85 - 95
Pintura amarela	30 - 70
Pintura azul	5 - 55
Pintura bege	25 - 65
Pintura creme	60 - 68
Pintura marfim	71 - 77
Pintura rosa	35 - 70
Pintura verde	12 - 60
Pintura vermelha	10 - 35
Pintura preta	4 - 8

3. ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

3.1. LÂMPADAS

Uma lâmpada é definida como um equipamento fabricado para produzir luz. Os principais tipos de lâmpadas são:

1. **Lâmpada Incandescente:** produz luz pelo aquecimento elétrico de um filamento. Devido às perdas de energia na forma de calor apresentam baixas eficiências, principalmente quando embutidas no teto ou utilizadas sem refletor.

1.1. **Refletoras:** possuem um refletor próprio, interno, proporcionando luz dirigida.

1.2. **Bulbo fosco ou Leitoso:** reduzem de 30 a 40% do fluxo luminoso.

1.3. **Halógenas:** Contém elementos halógenos (iodo, fluor ou bromo). Maior eficiência luminosa, luz mais "branca", melhor reprodução de cores e menor depreciação.

1.4. **Halógenas com Refletor Dicroico:** Somam as vantagens das Refletoras e das Halógenas.

2. **Lâmpadas de Descarga:** produz luz pela passagem da corrente elétrica através de um gás ou vapor ionizado.

2.1. **Florescentes:** Lâmpada de descarga de baixa pressão onde a luz é predominantemente produzida por pó fluorescente ativado pela radiação ultravioleta proveniente da descarga elétrica. Duram mais que as incandescentes.

2.2. **Florescentes Compactas:** Consomem apenas 15% em relação às fluorescentes convencionais e duram 8 vezes mais do que as incandescentes.

2.3. **Vapor de Mercúrio de Alta Pressão:** Forte emissão de luz e longa vida útil. A eficiência inicial varia entre 30 e 60 lumens por Watt.

2.4. **Mista:** Lâmpada de descarga mas sem reator. Eficiência bem menor que as de vapor de mercúrio.

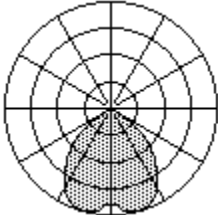
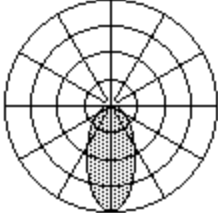
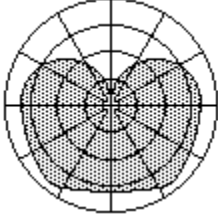
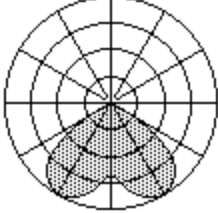
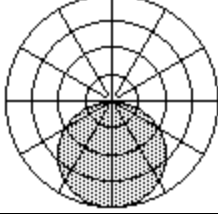
2.5. **Vapor Metálico:** São as mais eficientes fontes de "luz branca" atuais.

2.6. **Vapor de Sódio de Alta Pressão:** Grande eficiência luminosa. Cor branco-amarelada. Vida útil longa.

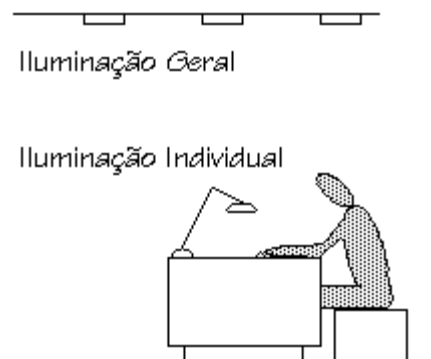
2.7. **Vapor de Sódio de Baixa Pressão:** Muito eficientes, produzem até 200 lumens por Watt. Cor amarela, distorce as cores.

3.2. LUMINÁRIAS

As intensidades luminosas proporcionadas por uma luminária variam conforme a direção considerada. Essas intensidades dependem do projeto da luminária e de seus coeficientes de reflexão e de absorção da luz emitida pela lâmpada. Assim, cada tipo de luminária apresenta uma curva de distribuição característica onde é indicada a porcentagem da intensidade total que é emitida em cada direção. O quadro abaixo apresenta alguns exemplos dessas curvas e suas respectivas aplicações.

CURVAS DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA (Fonte: Referência Bibliográfica 5)	
Tipos	Aplicações
	Ambiente com nível médio de iluminância e necessidade de evitar reflexos Exemplo: Salas com terminais de vídeo
	Ambiente com nível médio/baixo de iluminância e luminárias muito altas (entre 4 e 6 metros acima do Plano de Trabalho)
	Locais com nível baixo de iluminância.
	Ambientes com nível alto de iluminância e necessidade de evitar ofuscamento.
	Ambiente com nível médio/baixo de iluminância e luminárias baixas

Para tarefas com maior exigência visual são recomendadas luminárias individuais, localizadas próximas ao Plano de Trabalho. Nesse caso a Iluminação Geral poderá ser bem menos intensa proporcionando, assim, considerável economia tanto na instalação quanto durante o uso do sistema.



3.3. CÁLCULO DA ILUMINAÇÃO SOBRE UM PLANO HORIZONTAL

A iluminância de ambientes de trabalho é normalmente definida em termos de Iluminância Média (E_{med}) no Plano de Trabalho, sendo este um plano horizontal imaginário na altura de trabalho acima do piso (em geral considerado 0,75 m para posição sentada e 0,85 quando de pé), cobrindo a área total do ambiente (Ver referência bibliográfica 4).

$$E_{med} = U.M (\Phi_{tot} / A)$$

sendo:

Φ_{tot} = Fluxo luminoso total das lâmpadas = Número de lâmpadas multiplicado pelo fluxo luminoso de 1 lâmpada (ver Tabela 3.3)

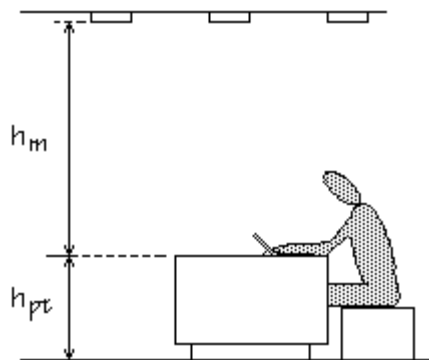
A = Área total do plano de trabalho (m^2)

U = Fator de utilização do Plano de Trabalho (Tabela 3.2)

M = Fator de manutenção (Tabela 3.1)

Tabela 3.1 - Valores do Fator de Manutenção (M) - (Fonte: Ref. Bibliográfica 5)		
Tipo de Luminária	Condição do Ambiente	Fator de Manutenção
Aberta	muito limpo	0,95
	limpo	0,89
	médio	0,81
	sujo	0,72
	muito sujo	0,61
Fechada	muito limpo	0,94
	limpo	0,88
	médio	0,82
	sujo	0,77
	muito sujo	0,71

O **Fator de Manutenção (M)** indica a queda no desempenho do sistema de iluminação, provocada tanto pelo desgaste quanto pelo acúmulo de poeira.



Apenas uma fração da luz emitida pela lâmpada incide diretamente sobre o Plano de Trabalho. Uma parte é absorvida pela luminária e outra é refletida pelo teto e paredes. A parte irradiada diretamente para o Plano de Trabalho é a que mais contribui para o iluminamento. O **Fator de Utilização (U)** é a razão entre a Iluminância Média no Plano de Trabalho (E_{med}) e o fluxo luminoso instalado por m^2 do Plano de Trabalho. Esse fator depende de características da luminária, refletâncias do teto e paredes e de um índice (K) que é função da geometria do ambiente:

$$K = A / h_m (C + L)$$


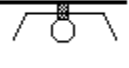
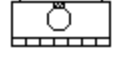
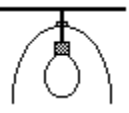
sendo:

A = Área do Plano de Trabalho = C.L

C = Comprimento do ambiente

L = Largura do ambiente

h_m = Altura das luminárias acima do Plano de Trabalho

Tabela 3.2 - Valores do Fator de Utilização do Plano de Trabalho (U)									
		Refletância do Teto (ver tabela 2.2)							
		75 %			50 %			30 %	
		Refletância das Paredes (ver tabela 2.2)							
Luminária	K	50 %	30 %	10 %	50 %	30 %	10 %	30 %	10 %
Aberta 	0,6 a 0,7	0,28	0,22	0,18	0,26	0,21	0,18	0,20	0,17
	0,7 a 0,9	0,35	0,29	0,25	0,33	0,27	0,24	0,26	0,24
	0,9 a 1,1	0,39	0,33	0,30	0,37	0,32	0,28	0,30	0,27
	1,1 a 1,4	0,45	0,38	0,33	0,40	0,36	0,32	0,33	0,30
	1,4 a 1,7	0,49	0,42	0,37	0,43	0,39	0,34	0,37	0,33
	1,7 a 2,2	0,56	0,50	0,44	0,49	0,44	0,40	0,42	0,38
	2,2 a 2,7	0,60	0,55	0,50	0,53	0,48	0,44	0,47	0,44
	2,7 a 3,5	0,64	0,59	0,54	0,56	0,51	0,47	0,50	0,47
	3,5 a 4,5	0,68	0,62	0,59	0,61	0,56	0,53	0,54	0,52
	4,5 a 6,5	0,70	0,65	0,62	0,65	0,62	0,60	0,58	0,57
Refletor Feixe Largo 	0,6 a 0,7	0,26	0,23	0,21	0,23	0,21	0,19	0,19	0,17
	0,7 a 0,9	0,32	0,29	0,27	0,28	0,26	0,24	0,23	0,21
	0,9 a 1,1	0,37	0,33	0,31	0,31	0,29	0,27	0,26	0,24
	1,1 a 1,4	0,40	0,36	0,34	0,34	0,31	0,30	0,28	0,26
	1,4 a 1,7	0,42	0,39	0,36	0,36	0,33	0,32	0,30	0,28
	1,7 a 2,2	0,46	0,43	0,40	0,41	0,38	0,35	0,32	0,30
	2,2 a 2,7	0,50	0,46	0,43	0,44	0,40	0,39	0,34	0,33
	2,7 a 3,5	0,52	0,48	0,45	0,46	0,44	0,41	0,37	0,36
	3,5 a 4,5	0,55	0,52	0,49	0,48	0,46	0,45	0,39	0,38
	4,5 a 6,5	0,57	0,54	0,51	0,49	0,47	0,46	0,42	0,41
Difusor 	0,6 a 0,7	0,38	0,32	0,28	0,37	0,32	0,28	0,31	0,28
	0,7 a 0,9	0,46	0,42	0,38	0,36	0,41	0,38	0,41	0,38
	0,9 a 1,1	0,50	0,46	0,43	0,50	0,46	0,43	0,46	0,43
	1,1 a 1,4	0,54	0,60	0,48	0,53	0,50	0,46	0,49	0,47
	1,4 a 1,7	0,58	0,54	0,51	0,56	0,53	0,50	0,54	0,50
	1,7 a 2,2	0,62	0,59	0,56	0,60	0,58	0,56	0,58	0,56
	2,2 a 2,7	0,67	0,64	0,61	0,65	0,63	0,61	0,62	0,61
	2,7 a 3,5	0,69	0,66	0,63	0,67	0,65	0,63	0,64	0,62
	3,5 a 4,5	0,72	0,70	0,67	0,70	0,68	0,66	0,67	0,66
	4,5 a 6,5	0,74	0,71	0,69	0,72	0,70	0,68	0,69	0,67
Refletor Feixe Médio 	0,6 a 0,7	0,35	0,32	0,30	0,35	0,32	0,30	0,32	0,30
	0,7 a 0,9	0,43	0,39	0,37	0,42	0,39	0,37	0,39	0,37
	0,9 a 1,1	0,48	0,45	0,42	0,47	0,44	0,42	0,43	0,41
	1,1 a 1,4	0,53	0,50	0,47	0,52	0,49	0,47	0,48	0,46
	1,4 a 1,7	0,57	0,53	0,50	0,55	0,52	0,50	0,52	0,50
	1,7 a 2,2	0,61	0,57	0,55	0,59	0,57	0,54	0,56	0,54
	2,2 a 2,7	0,64	0,61	0,59	0,62	0,60	0,58	0,59	0,57
	2,7 a 3,5	0,66	0,63	0,61	0,63	0,61	0,60	0,61	0,59
	3,5 a 4,5	0,68	0,66	0,63	0,66	0,64	0,63	0,63	0,62
	4,5 a 6,5	0,69	0,67	0,66	0,67	0,66	0,64	0,65	0,63

Os Fatores de Utilização da Tabela 2 consideram as seguintes disposições das luminárias:

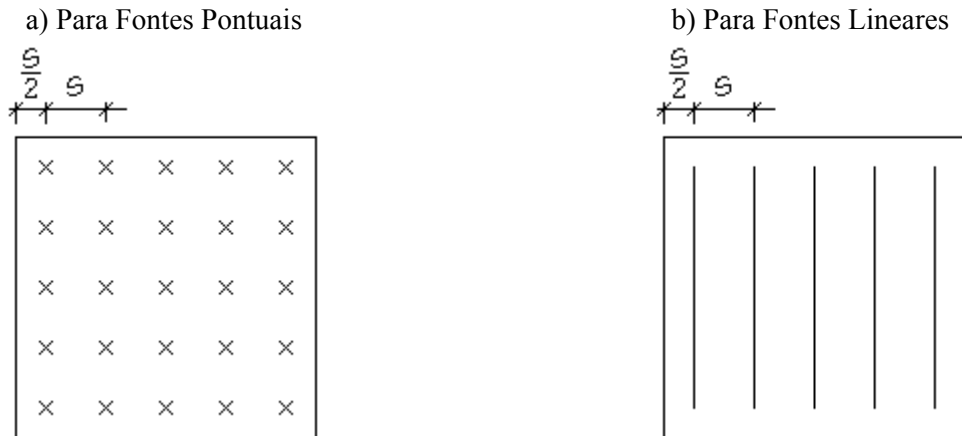


Tabela 3.3 - Eficácia Luminosa (Ef, em lm/W) e Luminância Média (cd/m²) de alguns tipos de lâmpadas (Fonte: referência bibliográfica 4)

Tipo de lâmpada	Eficácia Luminosa (lm/W)		Luminância Média (cd/m ²)
Incandescentes:			
Filamento de carbono	3		52
Filamento de tungstênio			
vácuo	10		70
a gás	20		200
projeção	26		2400
fosqueado	14		12
argenta	14		3
halogênio	22		-
Fluorescentes (Standard 40 W) (+ reator)			
depende da cor:			
27, 37, 47, 57	44	34	0,4
29	77	59	0,7
32, 34, 55	49	39	0,45
33	80	62	0,75
54	65	50	0,55
84	80	62	0,75
Descarga alta intensidade:			
HPL-N	57,5	55	11,5
HP	56	53	460
HPI	76	71	14
HPI/T	83	77,5	1410
MLL-N	28	-	64
SON	118	110	57
SON/T	120	113	710
SOX	185	150	10
Mercúrio alta pressão resfriamento forçado	30	-	4500

Tabela 3.4 - Eficácia Luminosa (Ef, em %) de alguns tipos de lâmpadas (Fonte: referência bibliográfica 5)

Tipo de Lâmpada	Calor dos Reatores	Calor Radiante	Convecção e Condução	Luz
Incandescentes:	-	72	18	10
Fluorescentes:	9	32	36	23
Mercúrio:	11	48	27	14
Vapor metálico:	13	35	31	21
Sódio de alta pressão:	14	38	22	26

O Fluxo Total (Φ_{tot}) necessário para produzir uma iluminância média (E_{med}) específica é dado pela fórmula:

$$\Phi_{tot} = A.E_{med} / M.U$$

sendo:

Φ_1 = Fluxo luminoso de uma lâmpada (Calcular através da Tabela 3.3)

A = Área total do plano de trabalho (m^2)

U = Fator de utilização do Plano de Trabalho (Tabela 3.2)

M = Fator de manutenção (Tabela 3.1)

O número de luminárias (N_L) necessário para proporcionar o Fluxo Total calculado acima será:

$$N_L = \Phi_{tot} / \Phi_1$$

3.4. EXEMPLO DE CÁLCULO

Exemplo de cálculo do número de luminárias de um ambiente com as seguintes características:

- Função do ambiente: Sala de Aulas
- Dimensões:
 - Comprimento (C) = 10 m
 - Largura (L) = 8 m
 - Pé direito (h_t) = 3 m
 - Distância entre luminária e teto (h_l) = 0,10
 - Altura do Plano de Trabalho (h_{pt}) = 0,75 m
- Cor do teto = Branco
- Cor das paredes = Creme
- Limpeza do ambiente = média
- Tipo de Luminária = Aberta, para 2 lâmpadas fluorescentes de 40 W

Cálculo:

Altura das luminárias acima do plano de trabalho:	$h_m = h_t - h_{pt} - h_l = 2,15 \text{ m}$
Área do Plano de Trabalho:	$A = C.L = 80 \text{ m}^2$
Índice K do ambiente:	$K = A / h_m (C + L) = 1,8$
Refletância do teto (Tabela 2.2):	$R_t = 85 \%$
Refletância das paredes (Tabela 2.2):	$R_p = 65 \%$
Fator de utilização Plano de Trabalho (Tab. 3.2):	$U = 0,60$
Eficácia Luminosa da Lâmpada (Tabela 3.3): ...	$E_f = 65 \text{ lm/W (cor 54)}$
Potência nominal da lâmpada:	$P = 40 \text{ W}$
Fluxo luminoso de cada lâmpada:	$\Phi_1 = E_f \times P = 2600 \text{ lm}$
Quantidade de lâmpadas por luminária:	$N = 2$
Fluxo luminoso de cada luminária:	$\Phi_{lm} = N \times \Phi_1 = 5200 \text{ lm}$
Iluminância média recomendada (Tabela 1.3): ...	$E_{med} = 300 \text{ lux (sala de aula)}$
Fator de Manutenção do Ambiente (Tabela 3.1):	$M = 0,81$
Fluxo luminoso total necessário:	$\Phi_{tot} = A.E_{med} / M.U = 49382,7 \text{ lm}$
Número de luminárias:	$N_L = \Phi_{tot} / \Phi_{lm} = 10$

4. BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

1. HOPKINSON, R. G. Iluminação Natural. Fundação Calouste Gulbekian. Lisboa
2. ARGENTINA. Iluminación Natural en Edificios - Método de Determinación
Norma IRAM-AADL J 20-03. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM) e Asociación Argentina de Luminotecnia (AADL). Buenos Aires. Agosto de 1970.
3. BRASIL. Iluminação: terminologia. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 5461. São Paulo. Dezembro de 1980.
4. BRASIL. Iluminação de Interiores. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 5413. São Paulo. Abril de 1982.
5. BRASIL. ABNT NBR 15215-1: Iluminação Natural – Parte 1: Conceitos Básicos e Definições. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2004.
6. BRASIL. ABNT NBR 15215-2: Iluminação Natural – Parte 2: procedimentos de cálculos para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2004
7. BRASIL. ABNT NBR 15215-3: Iluminação Natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2004
8. BRASIL ABNT NBR 15215-4: Iluminação Natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2004
9. FISCHER, D. Manual de Iluminação. Centro de Projeto e Engenharia de Iluminação da Philips. Traduzido para o idioma português por Libbe Smit. Eindhoven, Holanda. 1976
10. AGÊNCIA PARA APLICAÇÃO DE ENERGIA. Uso Racional de Energia Elétrica em Edificação: Iluminação. São Paulo. 1992.
11. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Coletânea dos Anais dos Encontros Nacionais de Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto, MG. 2007