

INFLUÊNCIA DA ALTURA DA ABERTURA E DA PROFUNDIDADE DO AMBIENTE NA ILUMINAÇÃO NATURAL EM DIFERENTES LATITUDES NO BRASIL

Luana Quirino (1); Yasmin Vaz (2); Solange Leder (3)

(1) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, luanammq@gmail.com

(2) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, yasminvaz_47@hotmail.com

(3) Doutora, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, solangeleder@yahoo.com.br
Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental – LABCON, João Pessoa - PB

RESUMO

O desempenho da iluminação natural depende não somente do adequado dimensionamento da abertura, mas também da dimensão e proporção do ambiente. Recomendações de projeto podem auxiliar no adequado dimensionamento da abertura e na definição da profundidade do ambiente como, por exemplo, a seguinte orientação: o alcance da luz natural no ambiente interno corresponde a 1,5-2,5 vezes a altura da abertura. Considerando que a referida recomendação não foi concebida para o clima tropical, esta pesquisa teve como objetivo investigar a aplicabilidade da mesma em diferentes condições de latitude no território brasileiro. A investigação foi realizada através de simulação computacional com o programa Daysim. As localidades escolhidas cobrem as principais latitudes do país espaçadas em intervalos de 5° e correspondem às cidades: Porto Alegre; Curitiba; Vitória; Cuiabá; Aracaju; Natal e Belém. O modelo de análise é um escritório padrão com: a) largura fixa de 3,6 m; b) profundidade variando entre 4,2 m; 6,2 m; e 8,2 m; c) altura (pé direito) de 2,8 m; d) abertura com 1/6 da área do piso; e) orientações norte, sul, leste e oeste. Os modelos em estudo apresentaram iluminância no intervalo entre 100 e 2000 lux em mais de 75% das horas do ano, em no mínimo 55% do ambiente. Tomando como base os resultados obtidos é possível concluir que níveis satisfatórios de iluminação foram obtidos com profundidade do ambiente superior 3,0 vezes a altura da abertura.

Palavras-chave: Iluminação natural, simulação da iluminação, regras de iluminação natural.

ABSTRACT

Daylight performance depends not only on the window design, but also on room size and proportions. Design rules can be helpful, especially at the early stages of design, advising on window, room size and proportions, to improve the daylight performance. A widely known rule of thumb related to window head height to room depth is: maximum floor depth of approximately 1.5-2.5 times the opening height. Considering that this rule was not established for a tropical climate, this research aim to investigate its applicability in different Brazilian's climate. The investigation was carried out through computer simulation with the Daysim software. The chosen locations cover the main latitudes of the country, spaced in intervals of 5°, including the cities: Porto Alegre; Curitiba; Vitoria; Cuiabá; Aracaju; Natal and Belém. The analysis model is an office room with: a) width of 3.6 m; b) depth of 4.2 m, 6.2 m, and 8.2 m; c) height of 2.8 m; d) window area to floor area ratio of 1/6; e) north, south, east and west orientation. From the results of the case studies, useful daylight of 100 and 2000 lux was achieved in more than 75% of the hours of the year, in at least 55% of the environment. Considering the limits of this research it is possible to conclude that a satisfactory level of illumination was obtained in rooms whose depth was greater than 3 times the opening height.

Keywords: Daylighting, lighting simulation, daylighting rules.

1. INTRODUÇÃO

A luz natural traz benefícios físicos e psicológicos aos usuários – seu uso no ambiente interno contribui para o bem estar das pessoas e outros aspectos ligados à saúde (BOUBEKRI, 2008). As pessoas preferem a iluminação natural, a existência de uma abertura é frequentemente associada a maior qualidade do ambiente (GALASIU & VEITCH, 2006; BEGEMMANN et al., 1997). Contudo, apesar da imensa disponibilidade da

luz natural, a negligência à iluminação natural, frequentemente, ocorre no dimensionamento do sistema de iluminação natural, que além da abertura, compreende também características do edifício e do ambiente. No Brasil a dimensão mínima das aberturas é invariavelmente definida a partir da legislação edilícia (código de obras ou de edificações). Além desta, recomendações sobre a dimensão das aberturas podem ser encontradas nos Regulamentos para a certificação da eficiência energética das edificações (RTQ-C e RTQ-R), na norma de desempenho das edificações (NBR 15575) e no zoneamento bioclimático (NBR 15220).

A iluminação em ambientes de trabalho deve satisfazer não somente aspectos quantitativos, mas também qualitativos. Entre os aspectos que devem ser evitados destacam-se: luminâncias e contrastes elevados, que podem resultar em ofuscamento e fadiga visual, assim como, luminâncias e contrastes muito baixos, que resultam em um ambiente de trabalho sem estímulo (ISO/CIE 8995-1, 2012). A iluminação natural impacta variáveis relacionadas com o bem estar e a economia de energia, o equilíbrio destas dificilmente pode ser obtido intuitivamente pelo projetista (REINHART, 2014). Ao aumentar a abertura admite-se maior quantidade de luz, mas também maior aporte de energia e maior probabilidade de ofuscamento, sendo este, um dos motivos associados ao intenso uso da iluminação artificial, apesar da imensa disponibilidade de luz natural no Brasil (LAAR, 2002).

A altura da abertura influencia na distribuição da luz no ambiente. A profundidade do ambiente deve estar vinculada ao alcance da luz natural a partir da fonte, ou seja, da abertura. Tomando como exemplo o estudo realizado por Reinhart (2005), em sete cidades (no Canadá e Estados Unidos), a profundidade (alcance) da iluminação natural limita-se a valores entre 1,5 e 2,5 vezes a altura da verga (Figura 1). Segundo o autor, o tipo de vidro e o nível de iluminação exigido para o local são variáveis de forte influência, assim como, o uso de elementos de controle (brises). A recomendação da CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers, 1987) limita o alcance da luz natural a profundidade do ambiente a 2 a 2,5 vezes a altura da verga da janela (a partir do piso). Muller et al. (1997), por sua vez, recomenda uma profundidade máxima de 5 metros para garantir a iluminação natural em um ambiente interno iluminado por aberturas laterais. Assim, tendo como base as recomendações citadas, este trabalho pretende verificar a adequabilidade das mesmas à localidades distintas no território brasileiro.

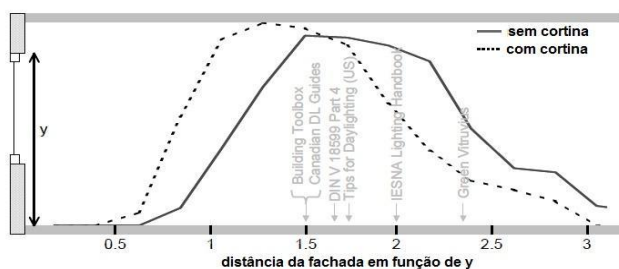


Figura 1 – Profundidade de penetração da luz natural em relação à altura da verga da janela (REINHART, 2005, com alterações)

2. OBJETIVO

Considerando que a recomendação de projeto que limita o alcance da luz natural a 1,5-2,5 vezes a altura da abertura não foi concebida para climas tropicais, esta pesquisa teve como objetivo investigar a aplicabilidade dessa recomendação em diferentes condições de latitude no território brasileiro.

3. MÉTODO

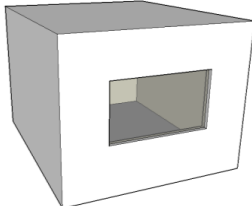
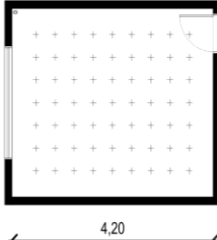
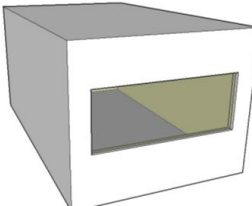
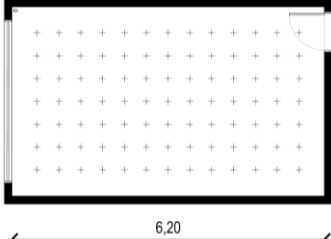
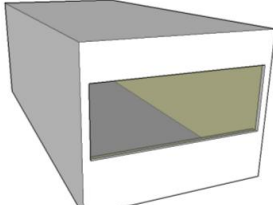
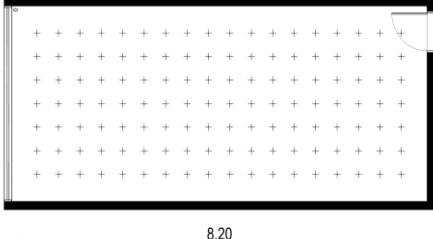
O objeto de estudo adotado consiste em um modelo de escritório padrão com largura de 3,6 m, altura (pé direito) de 2,8 m e profundidade variando entre 4,2 m; 6,2 m; e 8,2 m (Quadro 1). O ambiente possui uma abertura unilateral com área equivalente a 1/6 da área do piso. A altura da abertura (a partir do piso) é de 2,2 metros nos ambientes com profundidade de 4,2 e 6,2 metros. No ambiente com profundidade de 8,2 a altura da verga é de 2,37 metros. Assim, nos modelos com profundidade 4,2 e 6,2 metros, ao multiplicar a altura da verga por 2,5 (segundo as regras apresentadas anteriormente e optando pelo limite máximo) tem-se que o alcance da luz natural é de até 5,5 metros. No modelo de maior dimensão - 8,2 metros, o alcance da luz natural corresponde a 5,92 m. A abertura possui fechamento com 85% de transmissão.

Quadro 1 – Dimensões do ambiente e da abertura

Dimensão ambiente	Área do ambiente	Área da Abertura	Altura da abertura
3,6 x 4,2	15.12 m ²	2.52 m ²	2,2 m
3,6 x 6,2	22.32 m ²	3.72 m ²	2.2 m
3,6 x 8,2	29.52 m ²	4.92 m ²	2,37 m

A simulação da luz natural foi realizada com o programa computacional Daysim. Foram utilizados arquivos climáticos TRY (*Test Reference Year – TRY*) de 7 cidades brasileiras, espaçadas em intervalos de aproximadamente 5° de latitude: Porto Alegre - latitude 30°01'; Curitiba - latitude 25°25'; Vitória - latitude 20°19'; Cuiabá - latitude 15°35'; Aracaju - latitude 10°54'; Natal - latitude 05°47'; e Belém - latitude 01°27'. Com exceção de Curitiba (altitude 935 m) e Cuiabá (176 m) as demais cidades estão ao nível do mar. As orientações analisadas foram norte, sul, leste e oeste. Os modelos tridimensionais dos ambientes em análise foram construídos no SketchUp e exportados em formato 3DS (um dos formatos aceitos pelo programa) para o Daysim. No arquivo de materiais os coeficientes de reflexão das superfícies internas foram configurados de acordo com a norma DIN 5034, sendo adotado para o piso o índice de 30%, para as paredes 60% e o forro 70%. O horário estabelecido para as simulações foi das 8:00 às 17:00 horas, o computo da iluminância, em cada ponto de análise no ambiente interno, foi configurado para intervalos de uma hora. A malha de pontos foi definida a partir da recomendação do LEED¹ (2014) que determina um grid de pontos com distância inferior 60 cm e a uma altura de plano de trabalho de 76 cm acima do piso. Assim, o arquivo de pontos tem como base as plantas de cada variação da sala em estudo, no Quadro 2 podem ser visualizados os modelos tridimensionais e a localização dos pontos.

Quadro 2 – Modelo tridimensional e planta de localização dos pontos

Tipos	Modelo Tridimensional	Planta Baixa com a localização dos pontos
<p>Modelo 01 3,6 x 4,2 Área - 15,12 m²</p>		 <p style="text-align: center;">4,20</p>
<p>Modelo 02 3,6 x 6,2 Área - 22,32 m²</p>		 <p style="text-align: center;">6,20</p>
<p>Modelo 03 3,6 x 8,2 Área - 29,52 m²</p>		 <p style="text-align: center;">8,20</p>

O programa Daysim tem como dados de saída medidas dinâmicas como o fator de luz natural (DF – *Daylight Factor*), a autonomia de luz natural (DA – *Daylight Autonomy*), a iluminância natural útil (UDI – *Useful Daylight Illuminance*), etc. As medidas dinâmicas consideram a variação da luz natural ao longo do dia e do ano, tendo como base informações climáticas. Dentre as medidas dinâmicas de desempenho, a Iluminância Útil da Luz Natural - UDI, introduzida por Nabil & Mardaljevic (2005, 2006) corresponde à frequência de ocorrência da iluminância em um intervalo de iluminação natural considerado útil, de 100 lux e 2000 lux (definido a partir estudos sobre conforto humano em espaços iluminados pela luz natural). Neste trabalho optou-se por extrair os resultados da UDI e inseri-los em uma planilha de cálculo para a categorização dos dados e obter o desempenho da iluminação em relação à área do ambiente. Foram adotados os intervalos fixos da Iluminância útil da luz natural fornecidos pelo relatório gerado no Daysim, sendo estes: a) menor que 100 lux; b) entre 100 e 2000 lux, c) maior que >2000 lux. Tomando como base o LEED (versão 2014), que estabelece como critério de desempenho que a iluminância mínima ocorra no

¹ LEED – Sistema de certificação de edifícios sustentáveis (Leadership in Energy and Environmental Design) mantido pelo U.S. Green Building Council (USGBC).

mínimo em 50% das horas do ano em pelo menos 55% do ambiente (pontuação adicional é obtida para a condição de 75% e 90% do ambiente), na análise realizada nesta pesquisa, adotou-se o seguinte critério: no mínimo em 55% do ambiente no intervalo de iluminâncias entre 100 e 2000 lux, em mais de 50%, 75% e 90% do ano (Quadro 3).

Quadro 3 – Intervalos de UDI

UDI <100	UDI 100-2000	UDI >2000
Maior que 10%	Maior que 50%	Maior que 10%
Maior que 25%	Maior que 75%	Maior que 25%
Maior que 50%	Maior que 90%	Maior que 50%

A altura do peitoril foi definida após um estudo exploratório. Neste, o desempenho da iluminação natural, para o mesmo ambiente e abertura, foi analisado considerando as seguintes variações na altura do peitoril: 80 cm, 90 cm e 1 m (Quadro 4). Com os resultados, a altura de 1 metro apresentou melhor desempenho e, esta, foi adotada nas simulações subsequentes.

Quadro 4 - Estudo da altura do peitoril



4. RESULTADOS

Os resultados foram organizados em quadros, de acordo com as cidades, dimensão do ambiente e orientação. A apresentação dos resultados será de acordo com a latitude do local, em ordem crescente. Maior relevância foi dada à iluminância no intervalo de 100 a 2000 lux, considerada útil, o destaque em vermelho ressalta as situações em que o desempenho da iluminação natural não atingiu o limite estabelecido, enquanto o verde destaca o atendimento ao critério estabelecido.

Belém, capital do Pará, situada na zona bioclimática 8, latitude 01° 27' S e longitude 48° 30' W possui clima equatorial, com uma temperatura média anual de 26 °C. Todos os ambientes analisados apresentaram 75% do ano com iluminâncias no intervalo de 100 a 2000 lux em mais de 55% do ambiente (ver Quadro 5). Em grande parte dos ambientes analisados observa-se 90% do ano com iluminâncias no intervalo de 100 a 2000 lux em mais de 55% do ambiente. Iluminância inferior a 100 lux ocorre somente no ambiente com profundidade de 8,2 metros, em 10% a 25% do ano. Iluminância excessiva, superior a 2000, ocorre em todos os ambientes.

Quadro 5 – Iluminância útil em Belém

Ambiente 3,6 x 4,2						
Orientação	UDI <100 % no ano	% do ambiente	UDI 100-2000 % no ano	% do ambiente	UDI > 2000 % no ano	% do ambiente
Leste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	82,5	Maior que 10	49,2
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	63,5	Maior que 25	36,5
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	49,2	Maior que 50	17,5
Oeste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	77,8	Maior que 10	44,4
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	63,5	Maior que 25	34,9
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	50,8	Maior que 50	20,6
Norte	Maior que 10	0,0	Maior que 50	79,4	Maior que 10	39,7
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	69,8	Maior que 25	30,2
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	60,3	Maior que 50	19,0
Sul	Maior que 10	0,0	Maior que 50	82,5	Maior que 10	39,7
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	69,8	Maior que 25	30,2
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	58,7	Maior que 50	17,5
Ambiente 3,6 x 6,2						
Leste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	79,1	Maior que 10	37,4
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	69,2	Maior que 25	28,6
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	60,4	Maior que 50	20,9
Oeste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	76,9	Maior que 10	36,3
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	71,4	Maior que 25	28,6
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	62,6	Maior que 50	22,0
	Maior que 10	0,0	Maior que 50	79,1	Maior que 10	30,8

Norte	Maior que 25	0,0	Maior que 75	73,6	Maior que 25	26,4
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	69,2	Maior que 50	20,9
Sul	Maior que 10	0,0	Maior que 50	79,1	Maior que 10	30,8
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	73,6	Maior que 25	26,4
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	69,2	Maior que 50	20,9
Ambiente 3,6 x 8,2						
Leste	Maior que 10	27,8	Maior que 50	79,4	Maior que 10	33,3
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	72,2	Maior que 25	27,8
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	38,1	Maior que 50	20,6
Oeste	Maior que 10	19,8	Maior que 50	77,8	Maior que 10	33,3
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	72,2	Maior que 25	27,8
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	46,0	Maior que 50	22,2
Norte	Maior que 10	23,0	Maior que 50	77,8	Maior que 10	27,8
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	74,6	Maior que 25	23,8
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	46,8	Maior que 50	21,4
Sul	Maior que 10	23,0	Maior que 50	79,4	Maior que 10	27,8
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	73,8	Maior que 25	25,4
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	46,0	Maior que 50	20,6

Atende Não Atende

Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte, localiza-se na latitude 05° 47' S, longitude 35° 12' W', e na zona bioclimática 8. O clima é tropical chuvoso quente, com verão seco e temperatura média anual de 26 °C. Para esta localidade o ambiente com 8,2 m de profundidade apresentou o melhor desempenho, com iluminância no intervalo de 100 a 2000 lux ocorrendo em 90% do ano, em mais de 55% do ambiente (Quadro 6). Nos demais ambientes as situações onde o desempenho é insatisfatório devem-se ao excesso de iluminação. Iluminância inferior a 100 lux ocorre apenas no ambiente com 8,2 m de profundidade e, ainda assim, com percentual de apenas 2,4 do ambiente em menos de 10% do ano nas orientações norte e leste.

Quadro 6 – Iluminância útil em Natal

Ambiente 3,6 x 4,2						
Orientação	UDI <100 % no ano	% do ambiente	UDI 100-2000 % no ano	% do ambiente	UDI > 2000 % no ano	% do ambiente
Leste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	84,1	Maior que 10	39,7
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	74,6	Maior que 25	25,4
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	60,3	Maior que 50	15,9
Oeste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	74,6	Maior que 10	63,5
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	50,8	Maior que 25	47,6
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	34,9	Maior que 50	25,4
Norte	Maior que 10	0,0	Maior que 50	79,4	Maior que 10	41,3
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	68,3	Maior que 25	30,2
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	58,7	Maior que 50	20,6
Sul	Maior que 10	0,0	Maior que 50	84,1	Maior que 10	38,1
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	73,0	Maior que 25	27,0
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	60,3	Maior que 50	14,3
Ambiente 3,6 x 6,2						
Leste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	79,1	Maior que 10	30,8
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	73,6	Maior que 25	25,3
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	69,2	Maior que 50	20,9
Oeste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	73,6	Maior que 10	46,2
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	62,6	Maior que 25	37,4
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	53,8	Maior que 50	25,3
Norte	Maior que 10	0,0	Maior que 50	78,0	Maior que 10	30,8
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	72,5	Maior que 25	27,5
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	69,2	Maior que 50	22,0
Sul	Maior que 10	0,0	Maior que 50	80,2	Maior que 10	30,8
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	73,6	Maior que 25	26,4
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	69,2	Maior que 50	19,8
Ambiente 3,6 x 8,2						
Leste	Maior que 10	2,4	Maior que 50	79,4	Maior que 10	30,2
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	75,4	Maior que 25	24,6
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	67,5	Maior que 50	20,6
Oeste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	74,6	Maior que 10	41,3
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	64,3	Maior que 25	34,9
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	57,1	Maior que 50	23,0
Norte	Maior que 10	2,4	Maior que 50	77,8	Maior que 10	29,4
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	73,8	Maior que 25	26,2

	Maior que 50	0,0	Maior que 90	66,7	Maior que 50	22,2
Sul	Maior que 10	0,0	Maior que 50	80,2	Maior que 10	27,8
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	74,6	Maior que 25	24,6
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	71,4	Maior que 50	18,3

Atende Não Atende

Aracaju, capital de Sergipe, cuja latitude é 10° 54' S e longitude 37° 04' W, possui clima quente e úmido, com período chuvoso de março a agosto. A temperatura média anual no local é de 26 °C e situa-se na zona bioclimática 8. Os ambientes em estudo apresentaram iluminância em mais de 55% do ambiente acima de 75% do ano, com exceção do modelo 3,6 x 4,2 na orientação Oeste, cujo percentual do ano foi de 50%. Iluminância excessiva é observada em todos os ambientes. Iluminância inferior a 100 lux ocorre nos ambientes com profundidade de 6,2 e 8,2 metros, em todas as orientações, e também, na profundidade de 4,2 na orientação leste (Quadro 7).

Quadro 7 – Iluminância útil em Aracaju

Ambiente 3,6 x 4,2						
Orientação	UDI <100 % no ano	% do ambiente	UDI 100-2000 % no ano	% do ambiente	UDI > 2000 % no ano	% do ambiente
Leste	Maior que 10	1,58	Maior que 50	82,5	Maior que 10	41,3
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	66,7	Maior que 25	25,4
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	27,0	Maior que 50	15,9
Oeste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	74,6	Maior que 10	54,0
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	50,8	Maior que 25	38,1
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	3,2	Maior que 50	19,0
Norte	Maior que 10	0,0	Maior que 50	77,8	Maior que 10	42,9
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	61,9	Maior que 25	30,2
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	41,3	Maior que 50	20,6
Sul	Maior que 10	0,0	Maior que 50	84,1	Maior que 10	31,7
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	73,0	Maior que 25	23,8
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	49,2	Maior que 50	14,3
Ambiente 3,6 x 6,2						
Leste	Maior que 10	38,5	Maior que 50	79,1	Maior que 10	31,9
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	70,3	Maior que 25	25,3
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	15,4	Maior que 50	20,9
Oeste	Maior que 10	30,8	Maior que 50	76,9	Maior que 10	41,8
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	62,6	Maior que 25	34,1
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	0,0	Maior que 50	20,9
Norte	Maior que 10	35,2	Maior que 50	76,9	Maior que 10	34,1
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	69,2	Maior que 25	28,6
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	18,7	Maior que 50	22,0
Sul	Maior que 10	35,2	Maior que 50	79,1	Maior que 10	28,6
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	76,9	Maior que 25	23,1
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	25,3	Maior que 50	18,7
Ambiente 3,6 x 8,2						
Leste	Maior que 10	46,8	Maior que 50	78,6	Maior que 10	31,7
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	72,2	Maior que 25	24,6
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	11,9	Maior que 50	20,6
Oeste	Maior que 10	19,8	Maior que 50	77,0	Maior que 10	38,1
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	66,7	Maior que 25	31,0
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	0,0	Maior que 50	22,2
Norte	Maior que 10	23,0	Maior que 50	77,8	Maior que 10	31,7
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	72,2	Maior que 25	27,8
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	16,7	Maior que 50	22,2
Sul	Maior que 10	23,0	Maior que 50	80,2	Maior que 10	27,0
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	74,6	Maior que 25	22,2
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	22,2	Maior que 50	18,3

Atende Não Atende

Cuiabá, capital do Mato Grosso, localiza-se na latitude 15° 35' S e na longitude: 56° 05' W. O clima é tropical úmido, sua temperatura média gira em torno de 26 °C. Com extremos de temperatura de até 40 °C no verão e, esporadicamente, abaixo de 10 °C no inverno, situa-se na zona bioclimática 7. O ambiente com profundidade de 6.2 m teve o melhor desempenho, em 90% do ano apresentou iluminância no intervalo de 100 a 2000 lux em mais de 55% do ambiente (Quadro 8). Nos demais ambientes o limite de 75% do ano com iluminância no intervalo de 100 a 2000 lux em mais de 55% do ambiente é atendido. Somente no ambiente

com profundidade 8,2 m observa-se iluminância inferior a 100 lux, com exceção da orientação oeste. A presença de iluminação em excesso é significativa.

Quadro 8 – Iluminância útil em Cuiabá

Ambiente 3,6 x 4,2						
Orientação	UDI <100 % no ano	% do ambiente	UDI 100-2000 % no ano	% do ambiente	UDI > 2000 % no ano	% do ambiente
Leste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	82,5	Maior que 10	49,2
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	63,5	Maior que 25	36,5
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	49,2	Maior que 50	17,5
Oeste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	77,8	Maior que 10	57,1
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	60,3	Maior que 25	39,7
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	39,7	Maior que 50	22,2
Norte	Maior que 10	0,0	Maior que 50	76,2	Maior que 10	44,4
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	61,9	Maior que 25	38,1
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	54,0	Maior que 50	23,8
Sul	Maior que 10	0,0	Maior que 50	87,3	Maior que 10	30,2
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	77,8	Maior que 25	22,2
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	69,8	Maior que 50	12,7
Ambiente 3,6 x 6,2						
Leste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	80,2	Maior que 10	35,2
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	72,5	Maior que 25	27,5
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	62,6	Maior que 50	18,7
Oeste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	78,0	Maior que 10	41,8
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	65,9	Maior que 25	33,0
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	56,0	Maior que 50	22,0
Norte	Maior que 10	0,0	Maior que 50	76,9	Maior que 10	37,4
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	69,2	Maior que 25	30,8
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	62,6	Maior que 50	23,1
Sul	Maior que 10	0,0	Maior que 50	84,6	Maior que 10	26,4
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	76,9	Maior que 25	23,1
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	72,5	Maior que 50	15,4
Ambiente 3,6 x 8,2						
Leste	Maior que 10	17,5	Maior que 50	81,7	Maior que 10	31,7
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	73,8	Maior que 25	26,2
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	45,2	Maior que 50	17,5
Oeste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	77,8	Maior que 10	38,1
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	68,3	Maior que 25	31,0
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	61,1	Maior que 50	21,4
Norte	Maior que 10	8,7	Maior que 50	77,8	Maior que 10	33,3
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	72,2	Maior que 25	27,8
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	48,4	Maior que 50	22,2
Sul	Maior que 10	16,7	Maior que 50	83,3	Maior que 10	26,2
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	77,8	Maior que 25	22,2
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	53,2	Maior que 50	16,7

Atende Não Atende

Vitória, capital do Espírito Santo, latitude 20°19' e longitude 40°20' esta inserida na zona bioclimática 8, possui clima tropical e temperatura média anual de 24 °C. Para quase todos os ambientes ocorre em mais de 55% do ambiente iluminância no intervalo de 100 a 2000 lux em 90% ano, com as seguintes exceções: a) ambiente com 4,2 m de profundidade - orientação oeste com iluminância útil 75% do ano e orientação norte com iluminância útil 50% do ano; b) ambiente com 8,2 m de profundidade nas orientações leste, norte e sul com iluminância útil 75% do ano. Iluminância inferior a 100 lux ocorre somente no ambiente com 8,2 m de profundidade nas orientações leste, norte e sul. Enquanto, iluminância superior a 2000 é observada em todos os ambientes (Quadro 9).

Quadro 09 – Iluminância útil em Vitória

Ambiente 3,6 x 4,2						
Orientação	UDI <100 % no ano	% do ambiente	UDI 100-2000 % no ano	% do ambiente	UDI > 2000 % no ano	% do ambiente
Leste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	85,7	Maior que 10	39,7
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	74,6	Maior que 25	25,4
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	60,3	Maior que 50	14,3
Oeste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	77,8	Maior que 10	52,4
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	63,5	Maior que 25	36,5
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	39,7	Maior que 50	20,6

Norte	Maior que 10	0,0	Maior que 50	66,7	Maior que 10	74,6
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	47,6	Maior que 25	52,4
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	20,6	Maior que 50	31,7
Sul	Maior que 10	0,0	Maior que 50	87,3	Maior que 10	27,0
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	81,0	Maior que 25	17,5
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	73,0	Maior que 50	12,7
Ambiente 3,6 x 6,2						
Leste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	83,5	Maior que 10	30,8
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	76,9	Maior que 25	23,1
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	68,1	Maior que 50	15,4
Oeste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	78,0	Maior que 10	41,8
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	65,9	Maior que 25	31,9
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	56,0	Maior que 50	22,0
Norte	Maior que 10	0,0	Maior que 50	76,9	Maior que 10	36,3
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	69,2	Maior que 25	30,8
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	61,5	Maior que 50	23,1
Sul	Maior que 10	0,0	Maior que 50	85,7	Maior que 10	23,1
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	79,1	Maior que 25	20,9
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	76,9	Maior que 50	14,3
Ambiente 3,6 x 8,2						
Leste	Maior que 10	27,8	Maior que 50	83,3	Maior que 10	31,7
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	76,2	Maior que 25	23,0
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	38,9	Maior que 50	16,7
Oeste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	78,6	Maior que 10	38,1
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	69,0	Maior que 25	31,0
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	61,1	Maior que 50	21,4
Norte	Maior que 10	22,2	Maior que 50	77,8	Maior que 10	33,3
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	72,2	Maior que 25	27,8
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	42,9	Maior que 50	22,2
Sul	Maior que 10	23,0	Maior que 50	84,1	Maior que 10	22,2
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	79,4	Maior que 25	20,6
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	50,0	Maior que 50	15,9

■ Atende ■ Não Atende

Curitiba, capital do Paraná, latitude 25° 25' S e longitude: 49° 16' W apresenta clima temperado e situa-se na zona bioclimática 1. Os ambientes em análise apresentaram 55% do ambiente com iluminância no intervalo de 100 a 2000 lux em mais de 75% do ano. O percentual de 90% do ano com iluminância no intervalo de 100 a 2000 lux em mais de 55% do ambiente não foi atendido nas orientações leste, oeste e norte no ambiente 3,6 x 4,2, na orientação leste no ambiente 3,6 x 6,2 e em todas as orientações no ambiente de maior profundidade (3,6 x 8,2). Iluminância inferior a 100 lux ocorre no ambiente com 8,2 m de profundidade em todas as orientações e no ambiente com 6,2 de profundidade na orientação leste. Todas as orientações apresentam iluminância superior a 2000 lux (Quadro 10).

Quadro 10 – Iluminância útil em Curitiba

Ambiente 3,6 x 4,2						
Orientação	UDI <100 % no ano	% do ambiente	UDI 100-2000 % no ano	% do ambiente	UDI > 2000 % no ano	% do ambiente
Leste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	85,7	Maior que 10	39,7
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	73,0	Maior que 25	25,4
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	54,0	Maior que 50	14,3
Oeste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	79,4	Maior que 10	50,8
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	65,1	Maior que 25	33,3
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	46,0	Maior que 50	20,6
Norte	Maior que 10	0,0	Maior que 50	77,8	Maior que 10	49,2
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	61,9	Maior que 25	36,5
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	49,2	Maior que 50	22,2
Sul	Maior que 10	0,0	Maior que 50	87,3	Maior que 10	27,0
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	82,5	Maior que 25	17,5
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	73,0	Maior que 50	12,7
Ambiente 3,6 x 6,2						
Leste	Maior que 10	2,2	Maior que 50	84,6	Maior que 10	31,9
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	75,8	Maior que 25	23,1
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	54,9	Maior que 50	15,4
Oeste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	78,0	Maior que 10	37,4
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	70,3	Maior que 25	28,6
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	61,5	Maior que 50	20,9

Norte	Maior que 10	0,0	Maior que 50	76,9	Maior que 10	38,5
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	69,2	Maior que 25	30,8
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	58,2	Maior que 50	23,1
Sul	Maior que 10	0,0	Maior que 50	85,7	Maior que 10	23,1
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	79,1	Maior que 25	20,9
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	69,2	Maior que 50	14,3
Ambiente 3,6 x 8,2						
Leste	Maior que 10	29,4	Maior que 50	83,3	Maior que 10	31,7
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	77,0	Maior que 25	22,2
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	34,1	Maior que 50	16,7
Oeste	Maior que 10	22,2	Maior que 50	80,2	Maior que 10	34,1
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	73,0	Maior que 25	26,2
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	36,5	Maior que 50	19,8
Norte	Maior que 10	27,8	Maior que 50	77,8	Maior que 10	33,3
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	72,2	Maior que 25	27,8
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	36,5	Maior que 50	22,2
Sul	Maior que 10	27,8	Maior que 50	84,1	Maior que 10	22,2
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	79,4	Maior que 25	20,6
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	44,4	Maior que 50	15,1

Atende Não Atende

Porto Alegre, capital do estado Rio Grande do Sul, latitude 30° 01' S e longitude 51° 13' W, está situada na zona bioclimática 3, cujo clima é classificado como subtropical úmido e apresenta temperatura média de 19.5 °C. Os ambientes em análise apresentaram mais de 55% da área com iluminância no intervalo de 100 a 2000 lux em 75% do ano, com apenas uma exceção – o ambiente com 4,2 m de profundidade na orientação sul cujo percentual no ano no limite estabelecido foi de 90%. Iluminância inferior a 100 lux é observada nos ambientes com 6,2 e 8,2 m, sendo a frequência maior que aquela observada nas outras localidades em estudo. Enquanto, a Iluminância superior a 2000 lux é observada em todos os ambientes e orientações (Quadro 11).

Quadro 11 – Iluminância útil em Porto Alegre

Ambiente 3,6 x 4,2						
Orientação	UDI <100 % no ano	% do ambiente	UDI 100-2000 % no ano	% do ambiente	UDI > 2000 % no ano	% do ambiente
Leste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	87,3	Maior que 10	47,6
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	73,0	Maior que 25	25,4
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	49,2	Maior que 50	12,7
Oeste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	84,1	Maior que 10	47,6
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	65,1	Maior que 25	30,2
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	42,9	Maior que 50	15,9
Norte	Maior que 10	0,0	Maior que 50	74,6	Maior que 10	49,2
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	60,3	Maior que 25	39,7
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	46,0	Maior que 50	25,4
Sul	Maior que 10	0,0	Maior que 50	88,9	Maior que 10	23,8
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	84,1	Maior que 25	15,9
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	74,6	Maior que 50	11,1
Ambiente 3,6 x 6,2						
Leste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	85,7	Maior que 10	36,3
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	73,6	Maior que 25	23,1
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	38,5	Maior que 50	14,3
Oeste	Maior que 10	0,0	Maior que 50	79,1	Maior que 10	37,4
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	71,4	Maior que 25	28,6
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	47,3	Maior que 50	19,8
Norte	Maior que 10	0,0	Maior que 50	76,9	Maior que 10	38,5
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	69,2	Maior que 25	30,8
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	45,1	Maior que 50	23,1
Sul	Maior que 10	0,0	Maior que 50	85,7	Maior que 10	23,1
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	79,1	Maior que 25	19,8
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	53,8	Maior que 50	13,2
Ambiente 3,6 x 8,2						
Leste	Maior que 10	34,1	Maior que 50	84,1	Maior que 10	32,5
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	74,6	Maior que 25	22,2
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	26,2	Maior que 50	15,9
Oeste	Maior que 10	27,0	Maior que 50	79,4	Maior que 10	34,1
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	73,0	Maior que 25	26,2
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	28,6	Maior que 50	20,6

Norte	Maior que 10	31,7	Maior que 50	77,0	Maior que 10	33,3
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	70,6	Maior que 25	27,8
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	29,4	Maior que 50	22,2
Sul	Maior que 10	34,1	Maior que 50	84,9	Maior que 10	22,2
	Maior que 25	0,0	Maior que 75	79,4	Maior que 25	19,8
	Maior que 50	0,0	Maior que 90	39,7	Maior que 50	14,3

Atende Não Atende

5. CONCLUSÕES

A iluminação natural nos três ambientes, nas quatro orientações e nas 7 localidades em estudo apresentou iluminância no intervalo entre 100 e 2000 lux em mais de 75% das horas do ano, em no mínimo 55% do ambiente, com exceção de Vitória, ambiente 3,6 x 4,2 com orientação norte. Em grande parte dos ambientes e localidades analisadas o máximo desempenho - iluminâncias entre 100 e 2000 lux em mais de 90% das horas do ano, em no mínimo 55% do ambiente, é atingido. As exceções devem-se ao excesso de iluminação, como pode se observar nos resultados, através do expressivo percentual de ocorrência de iluminância superior a 2000 lux e a reduzida ocorrência de iluminância inferior a 100 lux (quase inexistente nos ambientes com 4,2 e 6,2 m de profundidade). Destaca-se que somente no ambiente com profundidade de 8,2 metros a iluminância inferior a 100 lux é frequente, de 10% a 25% do ano.

Assim, com base nos resultados obtidos e tendo em conta os parâmetros dinâmicos empregados na análise conclui-se que níveis satisfatórios de iluminação foram obtidos com profundidade do ambiente superior 3,0 vezes a altura da abertura. Maiores estudos devem ser realizados para o estabelecimento de uma recomendação mais adequada, assim como, elementos de controle devem ser introduzidos nesses estudos, já que o excesso de luz é tão prejudicial quanto a sua falta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações habitacionais - Desempenho parte 1 - Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: interior. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. **RTQ-C**. Portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010.
- BEGEMMANN, S.H.A.; VAN DEN BELD, G.J.; TENNER, A.D. Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 20, p. 231-239, 1997.
- BOUBEKRI, M. **Daylighting, architecture and health: building design strategies**. Oxford: Elsevier, 2008.
- DIN 5034 - Part 1 (1983). Daylight in Interiors; General requirements. Deutsche Industrie Norm.
- CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS. **CIBSE Code for Interior Lighting**. London, 1994.
- GALASIU, A.; VEITCH, J. Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylight offices: a literature review. **Energy and Building**, v. 38, p. 728-742, 2006.
- LAAR, M. Tageslichtnutzung in den Tropen. In: Symposium Innovative Lichttechnik in Gebaueuden, 8, 2002, Staffelstein. **Proceedings...** Staffelstein, 2002. p.191 – 196.
- LEED - Leadership in Energy & Environmental Design. Versão 2014.
- NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. **Lighting Research & Technology**, v.37, n.1, p.41-59, 2005.
- NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. **Energy and Buildings**, v.38, n.7, p.905-913, 2006.
- REINHART, Christoph. **DAYSIM ADVANCED DAYLIGHT SIMULATION**, version 3.1.
- REINHART, Christoph. **Daylighting Handbook I: Fundamentals Designing with the Sun**. EUA, 2014

AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ e à UFPB pelo apoio financeiro às alunas Luana Quirino e Yasmin Vaz através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC).