

Análise da influência da orientação das aberturas na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno na extensão de sua profundidade

Andrea Coelho Laranja



Doutora em Arquitetura, Professor Adjunto do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória [ES], Brasil. <andreacoelholaranja@gmail.com>.

Cristina Engel de Alvarez



Doutora em Arquitetura e Urbanismo, Professor Associado do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória [ES], Brasil. <cristina.engel@ufes.br>.

Kamila Matarangas



Bolsista de Iniciação Científica, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória [ES], Brasil. <kamillamatarangas@yahoo.com.br>.

Resumo

O presente estudo apresenta uma discussão relacionada à iluminação natural no ambiente interno, sendo o objetivo da pesquisa analisar a influência da orientação das aberturas na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno na extensão de sua profundidade. Na análise foram realizadas comparações dos percentuais de valores de iluminância do ambiente interno com os intervalos das UDI (*Useful Daylight Illuminance*) em pontos selecionados no interior do ambiente com aberturas orientadas para Norte, Sul, Leste e Oeste. Os percentuais de valores de iluminância foram gerados através de simulação na ferramenta computacional TropLux, em um ambiente de geometria retangular inserido em um cenário urbano na cidade de Vitória, latitude 20° 19' S. As simulações foram realizadas para três tipos de céus padrões da CIE (*Commission Internationale L'aclaireage*). Como principal resultado constata-se as seguintes extensões da profundidade do ambiente em função dos percentuais que se localizam na faixa suficiente das UDI ($500 \leq UDI < 2000$ lx): no céu 3 (encoberto) a profundidade do ambiente é de até 1,0m; no céu 7 (parcialmente nublado) esta profundidade é de até 1,5m; no céu 12 (claro), para a orientação Sul, Leste e Oeste, a profundidade é de até 2,0, e para a orientação Norte esta profundidade limita-se a 1,5m.

Palavras-chave

Iluminação natural, orientação das aberturas, profundidade do ambiente interno.

Analysis of influence in the guidance of opening on the availability of daylighting indoor in the extension of its depth

Abstract

This study presents a discussion related to daylighting in the indoor environment, being the goal of the research to analyse the influence of the orientation of the openings in the availability of daylighting in the indoor environment to the extent of its depth. The analysis was conducted by comparing the percentage of illuminance values of the internal environment with intervals of UDI (*Useful Daylight Illuminance*) at selected points within the environment with openings targeted for North, South, East and West. The percentage of illuminance values were generated by simulation on computation tool TropLux, in a rectangular geometry environment inserted in an urban setting in the city of Vitoria, latitude 20° 19' S. The simulations were performed for three types of patterns skies of the CIE (*Commission Internationale L'aclaireage*). As main result, note the following conditions so that the percentages are located in the range of UDI ($500 \leq UDI < 2000$ lx): in the sky 3 (cloudy) the depth of the environment is up to 1,0m; in sky 7 (partially cloudy) this depth is up to 1,5m; in sky (clear), for

orientation South, East and West, the depth is up to 2,0, and in the orientation North this depth is limited to 1,5m.

Keywords

Daylight, orientation of openings, depth in the indoor environment.

Introdução

Diversas são as pesquisas que demonstram a dependência da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno de variáveis da edificação. Dentre as variáveis, destaca-se a orientação das aberturas, as quais permitirão a passagem da iluminação natural, seja através da luz direta do sol; da luz difusa do céu; ou oriunda da luz refletida pelo entorno.

Ünver *et al.* (2003) e Capeluto (2003) citam a orientação das aberturas como uma das variáveis de influência da iluminação natural no ambiente interno enquanto Li *et al.* (2006) caracterizam as janelas como elementos essenciais nos edifícios para permitir a admissão da luz natural no ambiente interno. Tais aberturas, normalmente inseridas nas fachadas, em muitas situações são orientadas de acordo com o traçado urbano.

Outros estudos, por sua vez, correlacionam a atuação da iluminação natural no ambiente interno vinculado à profundidade deste ambiente. Evidenciam-se nestes estudos, a delimitação de restrições na profundidade dos ambientes de forma a garantir a iluminação natural no espaço interior. O'Connor *et al.* (1997) limita a profundidade do ambiente em função do desempenho da iluminação natural; Reinhart (2005) considera que um local é passível de iluminação natural quando se caracteriza com uma profundidade entre 1 a 2 vezes a altura da janela, considerando a altura da janela a distância do piso à parte mais alta da janela.

A partir do alicerce conceitual adotado e considerando a hipótese de que a disponibilidade da iluminação natural no ambiente interno – observadas as características específicas do tipo de céu –, depende, dentre outros fatores, da orientação das aberturas do ambiente interno, o objetivo desta pesquisa foi analisar a influência da orientação das aberturas em relação à distribuição da iluminação natural no ambiente interno ao longo de sua profundidade. Os resultados possibilitam que as escolhas inerentes aos procedimentos projetuais sejam estabelecidos, também, a partir das orientações das aberturas e dimensionamento dos ambientes internos de forma a possibilitar o melhor aproveitamento da iluminação natural e, conseqüentemente, menor dispêndio de energia elétrica com iluminação artificial.

Métodos de Trabalho

Adotou-se-se como principal instrumento de análise as simulações computacionais a partir do programa TropLux 6.07, sendo o recorte territorial a cidade de Vitória localizada na latitude 20° 19' S.

Foram utilizados na análise os valores das iluminâncias, bem como os percentuais de valores da iluminância de sete pontos previamente definidos no ambiente interno, sendo estes percentuais comparados aos intervalos de valores das UDI (*Useful Daylight*

Illuminance). Foram utilizados nas simulações três tipos de céus padrões da CIE (*Commission Internationale L'clairage*): um céu encoberto; um céu parcialmente nublado; e um céu claro CIE (2003).

Laranja (2010) em estudos realizados para valores da média anual de iluminância interna, define os céus 3 (encoberto), 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), como os que correspondem respectivamente aos valores mínimo, intermediário e máximo de iluminância, sendo essas as condições adotadas para as simulações.

Os instrumentos e métodos seguem detalhados sendo enfatizadas as características do programa de simulação TropLux; os procedimentos para a avaliação da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno; o recorte para os dias e horários selecionados para as simulações; as características do modelo de ambiente interno adotado; a definição dos pontos de avaliação no ambiente interno; as características das edificações obstruidoras; e os procedimentos para a análise de resultados.

Programa de simulação TropLux

O TropLux permite a simulação das características da iluminação natural em ambiente interno, sendo possível configurar o céu da localidade em que se insere o ambiente por meio da proposta da CIE (CABÚS, 2006). O TropLux se baseia em três conceitos: o método Monte Carlo; o Método do Raio Traçado; e o conceito de coeficientes de luz natural (ARAÚJO; CABÚS, 2007). Cabús (2005, p. 241) explica que o Método Monte Carlo é baseado na premissa de que “[...] se a probabilidade de ocorrência de cada evento separado é conhecida, então é possível determinar a probabilidade com que a seqüência completa de eventos irá ocorrer”. No que diz respeito ao Método do Raio Traçado, Cabús (2005) esclarece que ele possibilita trabalhar com geometrias complexas, o qual consiste na técnica em que os raios de luz (retas) incidirão sobre as superfícies (interceptando os planos) e, por sua vez, serão refletidos em direções que podem ser calculadas. Quanto ao coeficiente de luz natural, de acordo com Cabús (2005), os coeficientes de luz propostos por Tregenza e Waters (1983) fazem a relação da iluminância de uma dada superfície em função de uma determinada subdivisão do céu e, embora seja uma referencia elaborada há quase 30 anos passados, ainda é considerada válida no meio científico. Os referidos autores também utilizam a iluminância normal num plano desobstruído em função dessa mesma subdivisão. No caso do TropLux, são utilizados dois tipos de subdivisão: a proposta pela CIE para o cálculo da componente refletida – que divide o céu em 145 partes –, e, para o cálculo da componente direta, uma subdivisão com 5.221 partes, que traz melhorias na precisão dos resultados em função do tamanho angular do sol (CABÚS, 2005).

Avaliação da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno

Nesta pesquisa, a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno é caracterizada pelas intensidades de iluminância no ambiente interno, proporcionando assim a realização das atividades dentro dos compartimentos. De acordo com a NBR5413/82, os níveis de iluminâncias médias mínimas em serviço para iluminação artificial para uma residência estão entre 75 e 750 lx. Para um dormitório ou sala os valores encontram-se entre 100 e 750 lx (ABNT, 1992).

Desta forma, em se tratando de iluminação natural, adotou-se na avaliação da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno o novo paradigma proposto por Nabil e Mardaljevic (2006). Este novo paradigma além de apresentar simplicidade na avaliação da iluminação natural, ao dividir os níveis de iluminância em intervalo de valores,

baseia-se em relatórios de preferência e comportamentos dos ocupantes dos ambientes (NABIL e MARDALJEVIC, 2006).

Assim, Nabil e Mardaljevic (2006) propõem que valores menores que 100 lx são considerados insuficientes; valores no intervalo entre 100 e 500 lx caracterizam-se como suficientes, mas com necessidade de iluminação complementar; valores no intervalo suficiente estão entre 500 e 2000 lx; e valores caracterizados como excessivos são maiores que 2000 lx. Neste trabalho, os resultados das simulações foram analisados utilizando como referência dois intervalos de valores das UDIs, de acordo com a faixa de intervalo suficiente, ou seja:

- a) $100 \leq \text{UDI} < 500$ lx na faixa de intervalo suficiente, mas que necessita de iluminação complementar; e
- b) $500 \leq \text{UDI} < 2000$ lx na faixa de intervalo suficiente.

Dias e horários das simulações

Considerando a exequibilidade de realização abrangente de análises, as simulações foram executadas para todos os dias do ano em 11 horários do dia, nos períodos da manhã e da tarde, a cada hora entre 07h00min e 17h00min.

Características do ambiente interno adotado

As simulações foram realizadas para um modelo de ambiente interno, caracterizado por ambiente de uso prolongado em edificação residencial multipavimento, podendo ser quarto ou sala. A adoção de algumas características do modelo foi organizada em função das especificações constantes no Código de Obras de Vitória (VITÓRIA, 1998). Assim, o modelo de ambiente se caracteriza por possuir pé-direito de 2,60 m, largura de 2,60 m e comprimento de 3,85 m. As refletâncias internas adotadas foram: piso = 0,2; paredes = 0,5; e teto = 0,85. O modelo analisado possui abertura na fachada voltada para o exterior e centralizada na parede, composta por vidro liso transparente, com área de abertura de 1,25 m², largura de 1,14 m e altura de 1,10 m, correspondente a uma proporção de 1/8 da área do piso do compartimento (VITÓRIA, 1998).

A orientação das aberturas foi simulada no cenário urbano, considerando a fachada com a abertura perpendicular ao traçado urbano, com as vias orientadas para Norte-Sul e Leste-Oeste. Desta forma foram adotadas as seguintes orientações para as aberturas:

- a) Orientação da via Norte – Sul: abertura orientada para Leste e abertura orientada para Oeste; e
- b) Orientação da via Leste – Oeste: abertura orientada para Norte e abertura orientada para Sul.

Pontos de avaliação no ambiente interno

Observando-se a tipologia padrão das edificações residenciais multipavimentos em um cenário urbano na cidade de Vitória, utilizou-se como padrão o estudo do primeiro pavimento tipo, que habitualmente localiza-se no quarto andar, considerando o uso dos pavimentos inferiores normalmente serem destinados para lazer e garagem. Foram então adotados sete pontos de avaliação dentro do ambiente. Para a localização destes pontos de avaliação adotou-se a norma da ABNT, NBR 15215-4 (BRASIL, 2005), que normaliza a altura do ponto de medição para iluminação natural, bem como a distância máxima entre os

pontos. Assim, os pontos foram localizados em linha reta, no meio do ambiente, a uma altura de 75 cm do piso, sendo o ponto 1 o mais próximo da abertura e os pontos subsequentes distanciando-se a cada 0,5 m entre si. Desta forma, e conforme ilustrado na Figura 1, os pontos foram localizados da seguinte forma em relação à profundidade do ambiente: PT 1 = 0,5 m; PT 2 = 1,0 m; PT 3 = 1,5 m; PT 4 = 2,0 m; PT 5 = 2,5 m; PT 6 = 3,0 m; e PT 7 = 3,5 m.

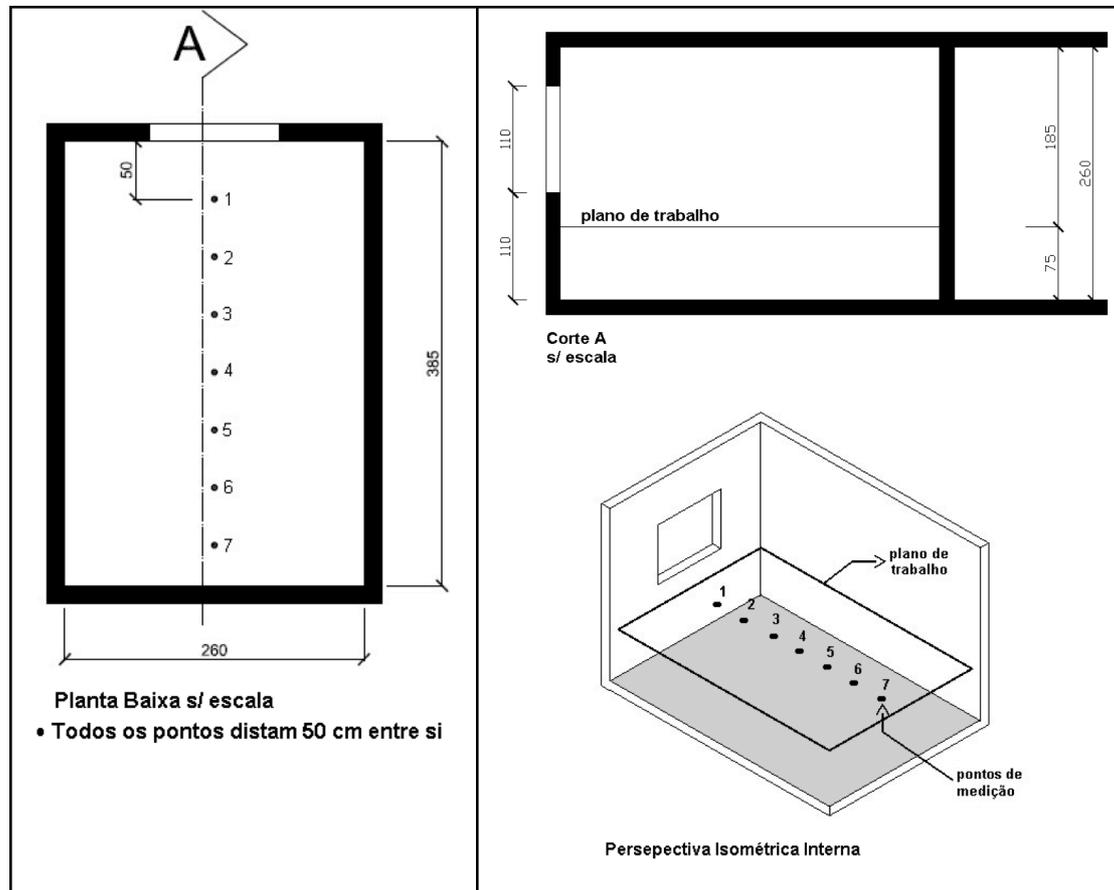


Figura 1. Planta Baixa, Corte e Perspectiva do modelo de ambiente interno com demarcação dos sete pontos avaliados na simulação.

Características das edificações obstruidoras

Adotou-se a altura de 36m para as edificações obstruidoras do entorno, a qual corresponde a uma edificação de cerca de 12 andares, prática comumente encontrada no cenário urbano estudado (Figura 2).

No que se refere à via perpendicular à abertura considerada, foi adotado o valor de 18 m (rua + passeio) para o dimensionamento da largura, de acordo com o preconizado pelo Plano Diretor Urbano de Vitória (VITÓRIA, 2006), no que se refere à tipologia para via “Local Principal”.

No que se refere à característica relacionada à reflexão das superfícies adotou-se como referência o trabalho desenvolvido por Nikiforiadis e Pitts (2003) e Araújo e Cabús (2007) –, foram adotados valores médios que caracterizam o mais próximo da realidade, a capacidade de reflexão das superfícies externas verticais (edificações obstruidoras) e horizontais (vias). Desta forma para a realização das características de reflexão dos

fechamentos verticais opacos do cenário urbano, foi utilizado como referência o trabalho desenvolvido por Ng (2005) o qual encontra como refletância média dos fechamentos opacos o valor de 40%. Para o solo o valor adotado é função do tipo de pavimentação, o qual para o recorte, em função da regulamentação, pode-se utilizar asfalto, concreto, bloquete ou paralelepípedo, adotando-se assim nestas superfícies horizontais a refletância de 20%.

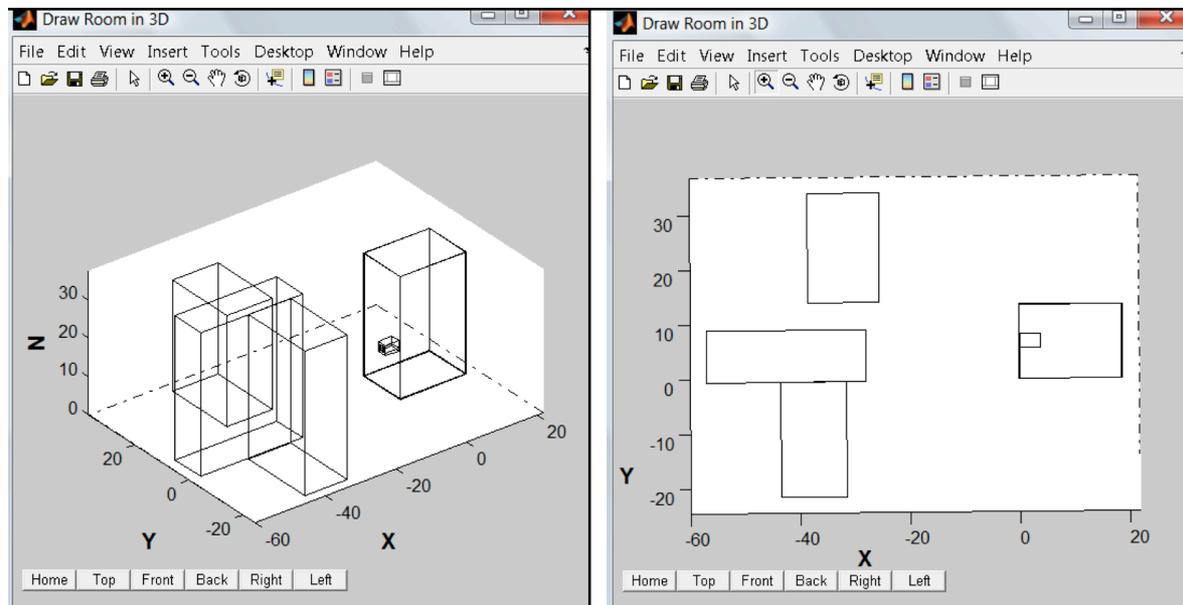


Figura 2. Imagens em 3D e vista superior das edificações obstruidoras e ambiente interno analisado, geradas pelo TropiLux.

Análise dos resultados

Os resultados das simulações permitiram para cada um dos pontos ao longo do comprimento do ambiente, a análise dos valores de iluminância interna, bem como a análise dos valores percentuais de horas do dia que se enquadram nos intervalos de valores suficientes das UDI.

Na análise da iluminâncias interna, pretendeu-se verificar em cada ponto, na extensão da profundidade do ambiente: a) se a variação na orientação das aberturas contribuiu para alterações no valor da iluminância; b) como se comportam as alterações da iluminância; e c) se há uma tendência a um comportamento semelhante, da iluminância, para as diversas orientações.

Na análise dos percentuais de horas do dia enquadrados nos intervalos das UDI pretendeu-se verificar em cada ponto, ao longo do comprimento do ambiente: a) os percentuais de horas do dia que permanecem dentro das faixas suficientes das UDI; e b) como se comporta o decaimento dos percentuais de horas do dia que permanecem dentro das faixas suficiente das UDI.

Resultados

Considerando a metodologia estabelecida, os resultados podem então ser definidos a partir de dois enfoques de análise: a da iluminância interna e dos percentuais de horas do dia enquadrados nos intervalos das UDI, cujo detalhamento segue descrito.

Análises da iluminância interna

Os resultados obtidos indicam que para o céu 3 (encoberto), céu 7 (parcialmente nublado), e céu 12 (claro), à medida que os pontos se distanciam da abertura ocorre o decaimento nos valores de iluminância, sendo este decaimento similar em todas as orientações de abertura (norte, leste, oeste e sul).

Para o céu 3, a Tabela 1 apresenta os valores das iluminâncias ponto a ponto obtidos a partir das simulações. Observa-se que, apesar dos valores de iluminância diferenciados a cada ponto, há um comportamento semelhante destes valores independente das diferentes orientações. Desta forma, pode-se presumir que, para essa situação específica de céu, a orientação da abertura não contribui para alteração nos valores de iluminância.

Tabela 1. Valor da média anual de iluminância interna em função da orientação da abertura para a condição de céu 3 (encoberto).

Iluminância interna (lx) para céu 3 (encoberto)							
Orientação da abertura	Pontos de avaliação no ambiente						
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7
Norte	1067,5	426,8	159,8	98	61,6	41,2	26,3
Leste	1067,5	426,8	159,8	98	61,6	41,2	26,3
Oeste	1067,5	426,8	159,8	98	61,6	41,2	26,3
Sul	1067,5	426,8	159,8	98	61,6	41,2	26,3

Para o céu 3 a Tabela 2 demonstra que para todas as orientações das aberturas, as maiores reduções percentuais da iluminância ocorrem até a profundidade de 1,5 m (ponto 3). A partir daí nota-se, de forma similar para todas as orientações, um decréscimo no percentual de redução da iluminância.

Tabela 2. Percentagens de redução da iluminância interna ponto a ponto para a condição de céu 3 (encoberto).

Iluminância interna (%) para céu 3 (encoberto)							
Orientação da abertura	Pontos de avaliação no ambiente						
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7
Norte	-	-60%	-63%	-39%	-37%	-33%	-36%
Leste	-	-60%	-63%	-39%	-37%	-33%	-36%
Oeste	-	-60%	-63%	-39%	-37%	-33%	-36%
Sul	-	-60%	-63%	-39%	-37%	-33%	-36%

Para o céu 7 (parcialmente nublado), os resultados apresentados na Tabela 3 demonstram que para a orientação Sul, os menores valores de iluminância ocorrem até a profundidade de 1,0 m (ponto 2). As orientações Norte, Leste e Oeste, respectivamente, apresentam os três maiores valores de iluminância até a profundidade de 1,0 m (ponto 2). Observando a diferença entre o maior e o menor valor de iluminância constata-se que, a medida que os pontos vão se tornando mais distantes da abertura, ou seja, com maior profundidade, ocorre uma redução entre o maior e o menor valor de iluminância de cada ponto. Conclui-se com a análise dos resultados das simulações, que a orientação da abertura tem maior influência em pontos mais próximos da abertura (com menor profundidade), e à medida que se aumenta a profundidade vão sendo reduzidas as diferenças nos valores de iluminância em cada ponto respectivo de cada orientação.

Tabela 3. Valor da média anual de iluminância interna em função da orientação da abertura e dos pontos simulados no ambiente interno para a condição de céu 7 (parcialmente nublado).

Iluminância interna (lx) para céu 7 (parcialmente nublado)							
Orientação da abertura	Pontos de avaliação no ambiente						
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7

Norte	4913,3	1748,2	359,1	214,8	133,4	89	56,3
Leste	4346,4	1857,4	493,9	333,8	163,6	110,8	72
Oeste	4164,0	1666,9	455,5	297,9	161,1	107,1	70,3
Sul	1881,4	841,6	365,7	222,1	139,2	91,8	63,1
Diferença entre o maior e o menor valor de iluminância	3031,9	1015,8	134,8	119	30,2	21,8	15,7

Para a condição de céu 7 (parcialmente nublado), a Tabela 4 demonstra que para todas as orientações, as maiores reduções percentuais ocorrem até a profundidade de 1,5 m (ponto 3), sendo a maior redução percentual para a orientação Norte e a menor redução percentual para a orientação Sul. Conclui-se que, a partir da profundidade de 1,5 m (ponto 3), variar a orientação da abertura acarretará em menores influências nos percentuais de redução da iluminância no ambiente interno.

Observa-se também que a redução percentual ocorre até a profundidade de 2,0 m (ponto 4) para as orientações Norte, Leste e Oeste, sendo que para a orientação Sul ela continua até a profundidade de 3,5 m (ponto 7).

Tabela 4. Percentagens de redução da iluminância interna ponto a ponto para a condição de céu 7 (parcialmente nublado).

Iluminância interna (%) para céu 7 (parcialmente nublado)							
Orientação da abertura	Pontos de avaliação no ambiente						
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7
Norte	-	-64%	-79%	-40%	-38%	-33%	-37%
Leste	-	-57%	-73%	-32%	-51%	-32%	-35%
Oeste	-	-60%	-73%	-35%	-46%	-34%	-34%
Sul	-	-55%	-57%	-39%	-37%	-34%	-31%

Para o céu 12 (claro), a Tabela 5 demonstra que as orientações Leste e Oeste são as que apresentam os menores valores de iluminância em todos os seus sete pontos, além de os valores obtidos serem similares de entre si. Assim, pode-se afirmar que variar a orientação entre Leste e Oeste não acarreta alterações relevantes nos valores de iluminância em qualquer ponto do ambiente, considerando as variáveis do modelo adotado.

Comparando a orientação Norte com a orientação Sul, a Norte originou os maiores valores de iluminância, enquanto que a orientação Sul gerou os menores valores de iluminância até a profundidade de 1,0 m (ponto 2). A partir da profundidade de 1,5 m (ponto 3) a orientação Norte passa a ter os menores valores de iluminância em contrapartida à orientação Sul, que passa a ter os maiores valores. Comparando o ambiente na orientação Norte com a Sul, observa-se que o ambiente com abertura orientada para Norte tem maior disponibilidade de iluminação em profundidades até 1,0 m, e o ambiente orientado para Sul tem maior disponibilidade de iluminação natural em profundidades a partir de 1,5 m.

Observa-se também que a cada ponto – do 1 ao 7 –, observada a orientação, vão sendo reduzidas as diferenças de valores entre a maior e a menor iluminância, ou seja, a orientação da abertura tem maior influência na iluminância em pontos mais próximos da abertura (com profundidades menores, e à medida que os pontos se distanciam da abertura (maiores profundidades) a orientação da abertura passa a ter cada vez menor influência na iluminância.

Tabela 5. Valor da média anual de iluminância interna em função da orientação da abertura e dos pontos de avaliação no ambiente interno. Dados para a condição de céu 12 (claro).

Iluminância interna (lx) para céu 12 (claro)							
Orientação da abertura	Pontos de avaliação no ambiente						
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7
Norte	9390,1	3463,4	337,4	191,6	120,1	84,4	53,6
Leste	1067,5	426,8	159,8	98	61,6	41,2	26,3
Oeste	1067,5	426,8	159,8	98	61,6	41,2	26,3
Sul	1106,7	816,3	465,6	279,3	174,2	114	84,4
Diferença entre o maior e menor valor de iluminância	8322,6	3037,4	305,8	181,3	112,6	72,8	58,1

Para o céu 12 (claro), a Tabela 6 apresenta valores demonstrando que para as orientações Norte, Leste e Sul, há um aumento nas reduções percentuais de iluminância até a profundidade de 1,5 m (ponto 3), sendo que as maiores reduções percentuais ocorrem na orientação Norte. Conclui-se que, a partir da profundidade de 1,5 m (ponto 3), variar a orientação da abertura acarretará em menores influências nos percentuais de redução da iluminância no ambiente interno. Observa-se também que apenas na orientação Sul a redução percentual continua até a profundidade de 3,5 m (ponto 7). Para as orientações Norte, Leste e Oeste há decréscimos e acréscimos nos percentuais na medida em que os pontos se distanciam da abertura.

Tabela 6. Percentagens de redução da iluminância interna ponto a ponto para a condição de céu 12 (claro).

Iluminância interna (%) para céu 12 (claro)							
Orientação da abertura	Pontos de avaliação no ambiente						
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7
Norte	-	-63%	-90%	-43%	-37%	-30%	-36%
Leste	-	-60%	-63%	-39%	-37%	-33%	-36%
Oeste	-	-60%	-63%	-39%	-37%	-33%	-36%
Sul	-	-26%	-43%	-40%	-38%	-35%	-26%

Análises dos percentuais de horas do dia enquadrados nos intervalos das UDI

Os dados mostram, na Tabela 7, que para o céu 3 (encoberto), à medida que os pontos se afastam da abertura, há reduções do percentual de horas do dia do intervalo definido como suficiente das UDI ($500 \leq \text{UDI} < 2000 \text{ lx}$), de forma semelhante para todas as orientações. Observa-se que até a profundidade de 1 m (ponto 2), verifica-se o atendimento aos valores de atendimento das UDI enquanto que para os pontos no interior do ambiente distante mais que 1 m (ponto 2) da abertura, os valores demonstram o não atendimento ao intervalo de iluminância considerado suficiente. Conclui-se, portanto, que somente é possível manter em cerca de 90% das horas, até a profundidade de 0,50 m (ponto 1), o ambiente sem uso da iluminação complementar, enquanto para a profundidade de 1,0 m (ponto 2), esse valor é reduzido cerca de 41% das horas. A partir da profundidade de 1,5 m (ponto 3) haverá a necessidade do uso da iluminação complementar. Observa-se neste caso o contraste que há nos valores de iluminância entre os pontos próximos da abertura (ponto 1 e 2, respectivamente 0,5 e 1,0 m da abertura) e já em seguida o ponto 3, onde não há percentuais de valores suficientes das UDI ($500 \leq \text{UDI} < 2000 \text{ lx}$). Será necessário desta forma além da complementação com iluminação artificial nos pontos mais distantes da abertura, artifícios na fachada, como exemplo as prateleiras de luz, reconduzindo a iluminação para os pontos mais profundos no ambiente interno.

Tabela 7. Percentual de horas de atendimento ao intervalo de valores definidos como suficiente das UDI $500 \leq \text{UDI} < 2000$ (lx), em função da orientação da abertura e dos pontos de avaliação no ambiente interno. Dados para a condição de céu 3 (encoberto).

Intervalo de valores suficientes das UDI (%) : $500 \leq \text{UDI} < 2000$ (lx)							
Orientação da abertura	Pontos de avaliação no ambiente						
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7
Norte	88,9	40,8	0	0	0	0	0
Leste	88,9	40,8	0	0	0	0	0
Oeste	88,9	40,8	0	0	0	0	0
Sul	88,9	40,8	0	0	0	0	0

Na Tabela 8 pode ser observado o comportamento da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno, no intervalo de $100 \leq \text{UDI} < 500$ lx (com necessidade de iluminação complementar), em cada um dos pontos, em relação ao céu 3 (encoberto), para todas as orientações. Nessa situação, os percentuais obtidos apresentaram-se similares em todas as orientações, destacando-se que à medida que os pontos se distanciam da abertura cresce o percentual de horas suficiente das UDI ($100 \leq \text{UDI} < 500$ lx com necessidade de iluminação complementar) tendo como limite a profundidade de 1,5 m (ponto 3). A partir dessa profundidade, os valores percentuais decrescem, tornando-se nulos a partir do ponto 5 (2,5 m), demonstrando que nessas situações a condição de iluminância apresentada é insuficiente, ou seja, com $\text{UDI} < 100$ lx. Conclui-se, desta forma, que a partir da profundidade de 2,5 m (ponto 5) haverá necessidade de iluminação artificial no ambiente em 100% das horas do dia.

Tabela 8. Percentual de horas de atendimento ao intervalo de valores definidos como suficiente das UDI $100 \leq \text{UDI} < 500$ (lx), em função da orientação da abertura e dos pontos de avaliação no ambiente interno. Dados para a condição de céu 3 (encoberto).

Intervalo de valores suficientes das UDI (%) : $100 \leq \text{UDI} < 500$ (lx)							
Orientação da abertura	Pontos de avaliação no ambiente						
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7
Norte	11,1	54,5	75,9	53	0	0	0
Leste	11,1	54,5	75,9	53	0	0	0
Oeste	11,1	54,5	75,9	53	0	0	0
Sul	11,1	54,5	75,9	53	0	0	0

Na Tabela 9 pode ser observado o comportamento da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno, para o intervalo de $500 \leq \text{UDI} < 2000$ lx em cada um dos pontos avaliados, em relação ao céu 7 (parcialmente nublado), para todas as orientações. Observa-se que à medida que o ponto avaliado se localiza mais afastado da abertura até a profundidade de 1 m (ponto 2), aumenta o percentual de valores suficiente das UDI ($500 \leq \text{UDI} < 2000$ lx). Para todas as orientações, na profundidade de 1 m (ponto 2) verificam-se percentuais de horas suficiente das UDI ($500 \leq \text{UDI} < 2000$ lx) superiores a 50%, sendo que na orientação Sul este percentual se repete também na profundidade de 0,5 m (ponto 1). Desta forma constata-se que em cerca de 75% das horas do ano na profundidade de 1,0 m (ponto 2) a iluminação natural pode ser considerada suficiente para todas as orientações, chegando a um percentual de atendimento de cerca de 80% para a orientação Sul.

Nos pontos mais profundos ao ponto 2, para todas as orientações, o percentual de valores de atendimento sofre um perceptível decaimento, tornando-se nulo a partir da profundidade de 2,0 m (ponto 4). Para a orientação Leste os valores obtidos podem ser considerados insignificantes ou nulos. Assim, nos pontos avaliados com profundidades superiores a 2,0 m (ponto 4), não foram obtidos resultados que atendam aos valores suficiente das UDI ($500 \leq \text{UDI} < 2000$ lx), necessitando, desta forma, que ocorra complementação com iluminação artificial.

Tabela 9. Percentual de horas de atendimento ao intervalo de valores definidos como suficiente ($500 \leq \text{UDI} < 2000 \text{ lx}$), em função da orientação da abertura e dos pontos de avaliação no ambiente interno. Dados para a condição de céu 7 (parcialmente nublado).

Intervalo de valores suficientes das UDI (%) : $500 \leq \text{UDI} < 2000 \text{ (lx)}$							
Orientação da abertura	Pontos de avaliação no ambiente						
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7
Norte	31,7	73,4	19,7	0	0	0	0
Leste	33,4	73,6	24,9	1,1	0,9	0,9	0,5
Oeste	35,3	75,1	24,7	0	0	0	0
Sul	51	79,4	19,9	0	0	0	0

Na Tabela 10 pode ser observado o comportamento da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno, para o intervalo de $100 \leq \text{UDI} < 500 \text{ lx}$ (com necessidade de iluminação complementar), em cada um dos pontos de avaliação, em relação à condição de céu 7 (parcialmente encoberto), para todas as orientações. Nessa condição, à medida que se distancia da abertura, aumenta o percentual de horas suficiente das UDI para o intervalo $100 \leq \text{UDI} < 500 \text{ lx}$ (com necessidade de iluminação complementar) tendo como limite a profundidade de 2,0 m para o ponto 4. Somente na orientação Sul percebe-se um comportamento da iluminância que não acompanha o padrão de comportamento das outras orientações. Observa-se, ainda, que para todas as orientações, a partir da profundidade de 2,0 m (ponto 4), os valores percentuais decrescem, constando-se que esses percentuais irão compor o intervalo insuficiente, com $\text{UDI} < 100 \text{ lx}$. Desta forma, a partir da profundidade de 2,0 m (ponto 4) cada vez mais reduz o percentual de horas suficiente das UDI ($100 \leq \text{UDI} < 500 \text{ lx}$ com necessidade de iluminação complementar) e, ao mesmo tempo, cresce o percentual de horas do intervalo insuficiente das UDI.

Tabela 10. Percentual de horas de atendimento ao intervalo de valores definidos como suficiente ($100 \leq \text{UDI} < 500 \text{ lx}$), em função da orientação da abertura e dos pontos de avaliação no ambiente interno. Dados para a condição de céu 7 (parcialmente nublado).

Intervalo de valores suficientes das UDI (%) : $100 \leq \text{UDI} < 500 \text{ (lx)}$							
Orientação da abertura	Pontos de avaliação no ambiente						
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7
Norte	5,1	20,8	74	87,9	71	44,6	0
Leste	4,8	15,3	69,4	90	81,9	58,2	9,2
Oeste	4,9	15,5	70,1	92,5	84,7	60,1	10,7
Sul	62	20,6	73,6	87,9	71,1	47,3	10,2

Na Tabela 11 verifica-se o comportamento da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno, considerando o intervalo suficiente de $500 \leq \text{UDI} < 2000 \text{ lx}$ em cada um dos pontos avaliados, em relação ao céu 12 (claro), para todas as orientações. Nessa condição observa-se que para todas as orientações, na medida que o ponto avaliado se distancia da abertura até a profundidade de 1 m (ponto 2), aumenta o percentual de valores suficiente para o intervalo de $500 \leq \text{UDI} < 2000 \text{ lx}$ com percentuais superiores a 50%. Este percentual de valores é ainda mais expressivo nas orientações Norte e Sul com valores superiores a 75%. Conclui-se que é possível manter em mais de 50% das horas, até a profundidade de 1,0 m (ponto 2), o ambiente sem uso da iluminação complementar para as orientações Leste e Oeste, sendo que para as orientações Norte e Sul é possível manter em mais de 75% das horas, até a profundidade de 1,0 m (ponto 2), o ambiente sem uso da iluminação complementar.

Observa-se ainda que para as orientações Leste, Oeste e Sul, para profundidades superiores a 1,0 m (ponto 2), no percentual de valores do intervalo de UDI considerado ocorre o decaimento dos percentuais de atendimento, tornando-se nulo a partir da profundidade de 2,5 m (ponto 5). Para a orientação Norte na profundidade de 2,0 m (ponto 4), os valores obtidos já se tornam nulos, concluindo-se que, a partir da profundidade de

2,5 m (ponto 5), para as orientações Leste, Oeste e Sul, sempre haverá a necessidade do uso da iluminação complementar, enquanto na orientação Norte esta profundidade é a partir de 2,0 m (ponto 4).

Tabela 11. Percentual de horas de atendimento ao intervalo de valores definidos como suficiente ($500 \leq \text{UDI} < 2000 \text{ lx}$), em função da orientação da abertura e dos pontos de avaliação no ambiente interno. Dados para a condição de céu 12 (claro).

Intervalo de valores suficientes das UDI (%) : $500 \leq \text{UDI} < 2000 \text{ lx}$							
Orientação da abertura	Pontos de avaliação no ambiente						
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7
Norte	78	77	4,9	0	0	0	0
Leste	59,8	71,8	34,8	14,6	0	0	0
Oeste	61,9	63,6	33,2	16,5	0	0	0
Sul	91,1	82,8	35,5	10,1	0	0	0

Na Tabela 12 pode ser observado o comportamento da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno, para o intervalo $100 \leq \text{UDI} < 500 \text{ lx}$ (com necessidade de iluminação complementar), para os pontos internos avaliados, em relação ao céu 12 (claro), para todas as orientações. Nessa condição observa-se que na medida em que os pontos se distanciam da abertura, aumenta o percentual de horas de atendimento ao intervalo considerado. Nas orientações Norte e Sul, o limite do crescimento dos percentuais de atendimento está na profundidade de 2,0 m (ponto 4), quando então esses valores decaem. Nas orientações de aberturas voltadas para Leste e Oeste, o limite de atendimento encontra-se na profundidade de 2,5 m (ponto 5), sendo que a partir desse ponto, os resultados indicam o não atendimento, ou seja, com $\text{UDI} < 100 \text{ lx}$. Desta forma, nas orientações Norte e Sul, a partir da profundidade de 2,0 m (ponto 4), e nas orientações Leste e Oeste a partir da profundidade de 2,5 m (ponto 5), ocorre a redução do percentual de horas suficiente para o intervalo de $100 \leq \text{UDI} < 500 \text{ lx}$ (com necessidade de iluminação complementar) e, concomitante, cresce o percentual de horas do intervalo insuficiente das UDI.

Tabela 12. Percentual de horas de atendimento ao intervalo de valores definidos como suficiente ($100 \leq \text{UDI} < 500 \text{ lx}$), em função da orientação da abertura e dos pontos de avaliação no ambiente interno. Dados para a condição de céu 12 (claro).

Intervalo de valores suficientes das UDI (%) : $100 \leq \text{UDI} < 500 \text{ lx}$							
Orientação da abertura	Pontos de avaliação no ambiente						
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7
Norte	2,7	17,9	95,1	90,4	73,1	29,1	0
Leste	6,6	17,8	63,2	79,7	81	46,3	35,4
Oeste	7,5	26,2	65,1	78,1	81,4	43,5	34,4
Sul	89	17,2	64,5	83,4	75,9	50,4	31,4

A partir dos resultados obtidos, a Tabela 13 apresenta uma indicação de atenção com relação à máxima profundidade que deve ser aplicada no ambiente interno para que sejam mantidos os percentuais nas faixas das UDI, de acordo com as orientações das aberturas. Com relação ao restante da profundidade do compartimento, em função da prática brasileira, esta deverá ter sua iluminância sempre complementada com iluminação artificial, cabendo aqui a possibilidade de inserção de prateleiras de luz como forma de recondução da iluminação a estes níveis mais profundos do ambiente interno e melhoria consequentemente dos níveis de iluminância.

Tabela 13. Profundidade máxima de ambientes internos de acordo com a orientação da abertura, considerando a largura de via de 18m; edificações obstruidoras com altura máxima de 36m, para que sejam mantidos os percentuais nas faixas das UDI ($100 \leq \text{UDI} < 500 \text{ lx}$ e $500 \leq \text{UDI} < 2000 \text{ lx}$).

Orientação da abertura	$100 \leq \text{UDI} < 500 \text{ lx}$ (com necessidade de iluminação complementar)			$500 \leq \text{UDI} < 2000 \text{ lx}$		
	Céu 3	Céu 7	Céu 12	Céu 3	Céu 7	Céu 12
Norte	2,0 m	3,0 m	3,0 m	1,0 m	1,5 m	1,5 m

Leste	2,0 m	3,5 m	3,5 m	1,0 m	1,5 m	2,0 m
Oeste e Sul	2,0 m	3,5 m	3,5 m	1,0 m	1,5 m	2,0 m

Conclusão

A partir dos resultados obtidos, foi possível verificar a influência da orientação da abertura na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno ao longo de sua profundidade, sendo perceptíveis as alterações e diferenças obtidas nos valores de iluminância na extensão de sua profundidade, à medida que os pontos se distanciam da abertura.

Para o céu 3 (encoberto) constatou-se que apesar dos valores de iluminância reduzirem-se à medida que os pontos se distanciam das aberturas, a orientação da abertura não contribui em comportamentos diferenciados da iluminância do ambiente interno quando comparados os mesmos pontos em orientações diferentes.

Para o céu 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro), constatou-se que as reduções na iluminância ocorrem de forma diferenciadas para as diversas orientações, à medida que os pontos vão se distanciando da abertura. Para essa mesma situação, constatou-se que as maiores reduções percentuais ocorrem até a profundidade de 1,5 m, sendo que a partir desse ponto, variar a orientação da abertura acarretará em menores influências nos percentuais de redução da iluminância no ambiente interno.

A variação na orientação das aberturas também ocasiona alteração nos percentuais de horas de atendimento nos intervalos das UDI. Para o céu 3 (encoberto) é possível manter em cerca de 90% das horas, até a profundidade de 0,50 m (ponto1), o ambiente sem uso da iluminação complementar. Já na profundidade de 1,0 m (ponto 2) é possível manter o ambiente sem uso da iluminação complementar em até cerca de 41% das horas e, a partir da profundidade de 1,5 m (ponto 3), sempre haverá a necessidade do uso da iluminação complementar. A partir da profundidade de 2,5 m (ponto 5), a iluminância suficiente só é possível de ser obtida com a utilização de iluminação artificial.

Para o céu 7 (parcialmente encoberto) constatou-se que em cerca de 75% das horas do ano na profundidade de 1,0 m (ponto2), a iluminação natural pode ser considerada suficiente para todas as orientações, alcançando um percentual de cerca de 80% para a orientação Sul. Com profundidade superior a 1,0 m (ponto 2), para todas as orientações, o percentual de valores sofre decaimento, tornando-se nulo na profundidade de 2,0 m (ponto 4). Para a orientação Leste esses valores podem ser considerados insignificantes. Assim, nos pontos avaliados com profundidade superior a 2,0 m (ponto 4) constatou-se a necessidade de complementação com iluminação artificial em todas as horas do dia, para todas as orientações.

Para o céu 12 constatou-se que é possível manter em mais de 50% das horas, até a profundidade de 1,0 m (ponto 2), o ambiente sem uso da iluminação complementar para a orientação Leste e Oeste. Para a orientação Norte e Sul este percentual aumenta para cerca de 75%. Constatou-se, também, que a partir da profundidade de 2,5 m (ponto 5), nas orientações Leste, Oeste e Sul, sempre haverá a necessidade do uso da iluminação complementar. Na orientação Norte esta profundidade é de 2,0 m (ponto 4).

Os resultados obtidos nas simulações confirmam a necessidade de se considerar a orientação das aberturas no estudo da disponibilidade de iluminação no ambiente interno ao longo de sua profundidade, de forma a garantir as iluminâncias adequadas no ambiente interno, bem como na redução dos gastos com energia elétrica para iluminação artificial.

Como perspectiva de continuidade do estudo prevê-se o refinamento dos resultados através da definição de outros pontos de avaliação, o que permitirá análises mais detalhadas do comportamento da iluminância no ambiente interno. Também poderá ser considerada nos estudos futuros, a investigação em andares inferiores e superiores ao estudado, bem como a variação dos parâmetros urbanos adotados, objetivando verificar a relevância destas associações na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno.

Referências

ARAÚJO, I. A. L., CABÚS, R. Influência da luz natural refletida pelo entorno na iluminação de edifícios em cânions urbanos no trópico úmido. In: IX ENCONTRO NACIONAL e V LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2007, Ouro Preto [MG]. **Anais...** Ouro Preto [MG]: ANTAC, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-4: iluminação natural: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações: método de medição**. Rio de Janeiro [RJ], 2005.

———. **NBR 5413: iluminância de interiores**. Rio de Janeiro [RJ], 1992.

CABÚS, R. C. **TropLux, versão 3: Guia do Usuário**. Maceió [AL]: Grilu, 2006.

———. TropLux: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 2005, Maceió [AL]. **Anais...** Maceió [AL], 2005.

CAPELUTO, I. G. The influence of the urban environment on the availability of daylighting in office buildings in Israel. **Building and Environment**. Volume 38, Issue 5, May 2003, Pages 745-752. <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/03601323?oldURL=y>>.

COMMISSION INTERNATIONALE L'ACLARAGE – CIE. **Spatial distribution of daylight**. CIE standard general sky. Publication CIE S 011/E: 2003. Viena [Áustria], 2003.

LARANJA, A. C. **Parâmetros urbanos e a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno**. 2010, 285f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Rio de Janeiro [RJ], 2010.

LI, D. H. W.; LI, WONG, S. L.; TSANG, C. L.; CHEUNG, G. H. W. A study of the daylighting performance and energy use in heavily obstructed residential buildings via computer simulation techniques. **Energy and Buildings**, London [U.K.]: Elsevier, v.38, p.1343-1348, 2006.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminances: a replacement for daylight factors. **Energy and Buildings**, London [U.K.]: Elsevier, v.38, p.905-913, 2006.

NG, E. A study of the relationship between daylight performance and height difference of buildings in high density cities using computational simulation. In: INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION CONFERENCE, 9., 2005, Montreal [Canada], **Proceedings...** Montreal [Canada]: IBPSA, 2005, p.847-852.

NIKIFORIADIS, F.; PITTS, A. 3D digital geometric reconstruction of the urban environment for daylight simulations studies. In: INTERNATIONAL BUILDING SIMULATION CONFERENCE, 8., Eindhoven [Netherlands], 2003. **Proceedings...** Eindhoven [Netherlands]: IBPSA, 2003.

O'CONNOR, J.; LEE, E.; RUBINSTEIN, F.; SELKOWITZ, S. **Tips for daylight with windows.** Lawrence Berkeley National Laboratory: Berkeley [U.S.A.], 1997. LBNL report 39945.

REINHART, C. F. A Simulation-Based Review of the Ubiquitous Window-Head-Height to Daylit Zone Depth Rule-of-Thumb. In: INTERNATIONAL BUILDING SIMULATIONS CONFERENCE, 9., Montreal [Canada], 2005. **Proceedings...** Montreal [Canada]: IBPSA, 2005, p.1011-1018.

TREGENZA, P.; WATERS, I. M. Daylight coefficients. **Lighting Research & Technology**, v.15, n.2, p.65-71, 1983.

ÜNVER, R.; ÖZTÜRK, L.; ADIGÜZEL, S.; ÇELİK, Ö. Effect of the facade alternatives on the daylight illuminance in offices. **Energy and Building**, London [U.K.] : Elsevier, v. 35, p. 737-746, 2003.

VITÓRIA (Município). **Código de obras.** Lei n.º 4821, de 30 de dezembro de 1998. Institui o Código de Edificações do Município de Vitória e dá outras providências. Vitória [ES], 1998. p.72.

———. **Plano Diretor Urbano.** Lei n.º 6.705, de 2006. Dispõe sobre o desenvolvimento urbano no Município de Vitória, institui o Plano Diretor Urbano e dá outras providências. Vitória [ES], 2006. p.48.