

ANDREA COELHO LARANJA, NAYARA DE PAULA CAMPOS E CRISTINA ENGEL DE ALVAREZ

## Indicação de profundidade de ambientes sob o aspecto da iluminação natural

Indication of depth of environments under the aspect of daylight

**Andréa Coelho Laranja** possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Espírito Santo (1995), Mestrado em Arquitetura pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2000), Doutorado em Ciências em Arquitetura pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2010). Atualmente é Professora Adjunta da Universidade Federal do Espírito Santo no Curso de Arquitetura e Urbanismo. Tem experiência na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em Conforto Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: eficiência energética, arquitetura bioclimática, ergonomia na arquitetura.

E-mail: andreacoelholaranja@gmail.com

**Nayara de Paula Campos** é bolsista de iniciação científica, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, UFES, Brasil.

E-mail: naypcampos@hotmail.com

**Cristina Engel de Alvarez** possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (1987), mestrado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (1996) e doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (2003). Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal do Espírito Santo, Membro de comitê assessor da Universidade Federal do Espírito Santo, Membro de corpo editorial da Farol (Vitória), Revisor de periódico da Ambiente Construído (São Paulo), co-guia no curso de doutorado em arquitetura da Universidad del Bío-Bío, Membro de comitê assessor da Fundação de Amparo à Pesquisa (FAPES) do Espírito Santo, Revisor de periódico da Oculum Ensaios (PUCCAMP), entre outros. Tem experiência na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em Tecnologia de Arquitetura e Urbanismo. Atuando principalmente nos seguintes temas: Sustentabilidade, Locais Remotos, Ecoarquitetura, Metodologia, Meio Ambiente e Projeto de Arquitetura.

E-mail: cristina.engel@ufes.br

### Resumo

O presente estudo trata da iluminação natural no ambiente interno, com foco específico para as profundidades máximas dos ambientes residenciais nas regulamentações edilícias brasileiras. O objetivo é investigar a influência da orientação das aberturas na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno, ao longo de sua profundidade. A metodologia adotada partiu da revisão bibliográfica onde foram identificados estudos que apontavam restrições na profundidade do ambiente interno como estratégia para disponibilizar iluminação natural adequada nestes espaços. Em paralelo, foram analisadas as regulamentações edilícias das capitais brasileiras, observando o tratamento que estas regulamentações preconizam em relação às profundidades dos ambientes internos. Como instrumento de análise e teste das hipóteses levantadas, foram realizadas simulações com o uso do programa computacional TropLux, para um modelo caracterizado por um ambiente residencial, de acordo com a regulamentação edilícia de uma capital brasileira – Vitória (ES) –, utilizando, para isto, três condições diferenciadas de céu, em função da CIE – *Commission Internationale l’Eclairage*. Como resultado da revisão bibliográfica, observou-se que, no contexto internacional, a profundidade dos ambientes está vinculada à altura máxima da abertura, sendo também identificados estudos que contemplam o tipo de vidro, o valor de iluminância adequado para o ambiente interno e o uso de dispositivos de reflexão da iluminação para o ambiente interno. No que se refere à análise das regulamentações edilícias das capitais brasileiras, verificou-se que 48% não apresentam indicação de limite para a profundidade do ambiente interno. Já com relação às simulações, os resultados geraram indicações sobre a interferência da orientação da abertura em relação à profundidade do ambiente onde, para o céu 3 (encoberto), apesar do decaimento dos valores de iluminância ponto a ponto, constatou-se um comportamento semelhante destes valores independente das diferentes orientações. Para o céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), a orientação da abertura tem maior influência em pontos mais próximos da abertura, com menor profundidade. À medida que os pontos se distanciam da abertura, em maiores profundidades, vai sendo reduzida a influência da orientação da abertura.

**Palavras-chave:** Regulamentação edilícia. Iluminação natural. Profundidade do ambiente interno.

### Abstract

The present study deals with daylight in indoor environments, with a specific focus on the maximum depths of residential environments in Brazilian building regulations. The aim is to investigate the influence of the orientation of the openings on the availability of natural lighting in the indoor environment throughout its depth. The method started with a review of the literature in which studies were identified that indicated restrictions in the depth of the indoor environment as a strategy to provide adequate daylight in these spaces. At the same time, a review was made of building regulations in Brazilian capital cities, with special attention given to the treatment that these regulations recommend with regard to the depths of indoor environments. As a tool for analyzing and testing the hypotheses, simulations were performed using the TropLux program on a model characterized by a residential environment in compliance with the building regulations for a Brazilian capital city – Vitória (ES) – and using it in three different sky conditions as per the CIE (Commission Internationale l'Eclairage). As a result of the literature review, it was found that, in the international context, the depth of the environments is linked to the maximum height of the opening, and studies were also identified that consider the type of glass to be used, the value of luminance suitable for the indoor environment, and the use of light reflecting devices for this type of environment. As regards the review of building regulations, it was found that 48% of them do not indicate a limit to the depth of the indoor environment. Results from the simulations generated information on the interference of the opening's orientation in relation to the depth of the environment in which, for sky 3 (overcast), despite the decay in point to point luminance values, similar performance was found in these values regardless of differences in orientation. For sky 7 and 12, skies 7 (partially overcast) and 12 (clear), the opening's orientation has a greater influence on the points nearest it, with less depth. The influence of the opening's orientation is reduced as the points move away from it and at greater depths.

**Keywords:** Building regulations. Daylight. Depth of the indoor environment.

## Introdução

Dentre as razões para se incorporar a iluminação natural no ambiente interno destaca-se, além dos aspectos relacionados ao conforto, os benefícios energéticos, visto que o aproveitamento da luz natural auxilia na redução dos gastos com energia para iluminação artificial. Oakley *et al.* (2000) mencionam que o aproveitamento da iluminação natural no interior das edificações pode propiciar de 20% a 30% de economia em eletricidade em relação ao dispêndio energético total da construção. Amorim (2007) cita que iluminação natural nas edificações tem também papel relevante nas exigências funcionais e ambientais. Assim, a iluminação natural deve constar como um item essencial para a determinação dos padrões de habitabilidade.

Por outro lado, a literatura tem confirmado que a disponibilidade da iluminação natural no ambiente interno é dependente, dentre outras questões, das características do próprio ambiente, dentre eles, a profundidade do ambiente interno. No contexto brasileiro, a questão da profundidade máxima do ambiente interno é item presente nos **Códigos de Obras nacionais**, no entanto, as abordagens, em sua maioria, **não são precedidas por estudos que justifiquem a adoção** de exigências específicas, verificando-se, assim, uma lacuna nestas regulamentações edilícias quanto a este parâmetro.

No contexto internacional, algumas recomendações relacionam a iluminação natural de um ambiente interno à orientação dada às aberturas. Dentre as referências, merece destaque as pesquisas de Unver *et al.* (2003) e Li *et al.* (2006), os quais ressaltam que a orientação das aberturas é um dos parâmetros de influência para se manter a iluminação natural necessária nos ambientes internos.

Desta forma, considerando o referencial comentado anteriormente e com base na hipótese de que a disponibilidade da iluminação natural no ambiente interno depende, dentre outros, da orientação das aberturas, buscou-se responder ao questionamento relacionado à profundidade máxima admitida para o ambiente interno, visando garantir que o mesmo seja iluminado adequadamente. Assim, o objetivo deste artigo é investigar a influência da orientação das aberturas na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno, ao longo de sua profundidade.

## Referencial teórico

**É perceptível a necessidade de incentivar as restrições na profundidade dos compartimentos como forma de garantir disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno, conforme abordado por vários estudos. De acordo com Iwashita (1999), por exemplo, quando as áreas internas às edificações são menores, tende-se a obter menores profundidades aos ambientes, propiciando um melhor aproveitamento da luz natural.**

Alguns autores propõem a limitação da profundidade do ambiente interno em função da atuação da iluminação natural, como é o caso de O'Connor *et al.* (1997), enquanto outros indicam uma profundidade do ambiente em função de variáveis do próprio ambiente. Barbosa (2011) e Reinhart (2005) relacionam a profundidade do ambiente em função da altura da abertura, caracterizada como a distância do piso à parte mais alta da janela. Já Barbosa (2011) considera que, com uma profundidade de até 2 vezes a altura da janela, a iluminação natural será efetiva considerando-se uma posição acima do plano de trabalho. Reinhart (2005) cita que um local é passível de iluminação natural quando se caracteriza com uma profundidade entre 1 a 2 vezes a altura da

janela, acrescentando ainda que o tipo de vidro empregado, bem como o valor de iluminância estipulado para o ambiente, também são elementos influenciadores da profundidade máxima que o ambiente pode vir a ter.

Outros autores definem a profundidade do compartimento em função de limites determinados dentro do ambiente, caracterizando estas áreas como passíveis do aproveitamento da iluminação natural. Ratti *et al.* (2005), por exemplo, empregam o conceito de “zona passiva” e “zona não-passiva”, onde a zona passiva é caracterizada como a parte da edificação na qual é possível o aproveitamento, dentre outros aspectos, da iluminação natural. Assim, os autores limitam a zona passiva a uma profundidade máxima de seis metros, ou até duas vezes a altura do pé direito do ambiente. Marsh (2005), por sua vez, cita que a “Part L of the Building Regulations England and Wales” adota as chamadas “áreas de perímetro”, que assim como a “zona passiva”, caracterizam uma área, na edificação, passível de aproveitamento da iluminação natural. Tais áreas, assim como na “zona passiva”, também se localizam a uma distância de até seis metros da abertura.

No contexto nacional do RTQ-R (2010), Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais, a profundidade do ambiente interno é função da altura da abertura, com uma profundidade máxima de 2,4 vezes a altura da janela.

Vale ressaltar que, apesar das pesquisas supra citadas se referirem à iluminação natural, há diferenças de tratamento para estes ambientes quando se localizam em climas frios ou quentes. Em ambientes internos localizados em clima quente, a penetração da radiação solar consistirá em aumento de carga térmica. Já nos climas frios, a penetração da luz é desejável para promover o aquecimento dos ambientes internos.

## Regulamentações edilícias nacionais

O Código de Obras e Edificações é o principal instrumento de regulamentação edilícia, normalmente utilizado pela administração municipal para controlar e fiscalizar as edificações, tendo como função central promover a ordem e apontar diretrizes para o planejamento da edificação, visando o conforto e o bem-estar dos usuários. Mas, apesar de Bahia (1997) afirmar que o Código de Obras e Edificações é um dos instrumentos municipais responsáveis pela qualidade do ambiente edificado, o mesmo autor ressalta que tal regulamento não garante, por si só, que uma edificação não seja afetada por outras construções vizinhas. Seu campo de atuação é restrito, unicamente, às características construtivas do edifício, não sendo então função do código determinar índices urbanísticos. As diretrizes e ressalvas presentes nas regulamentações edilícias são complementadas por outros instrumentos urbanísticos, como o Plano Diretor Urbano e a Lei de Uso e Ocupação do Solo.

Dentre as relações verificadas nas regulamentações edilícias, no que diz respeito à profundidade do ambiente interno, nota-se que a mais usual é o estabelecimento de uma vinculação às medidas de altura (pé-direito) e à largura do ambiente, ou à altura da abertura (janela).

Nos Códigos de Obras das capitais brasileiras, aproximadamente em 52% delas, a profundidade é tratada como uma variável ora da largura do ambiente, ora do pé-direito, com observações quanto ao plano de insolação. No restante, em 48% das capitais, não foi encontrada nenhuma relação da abertura de iluminação com a profundidade do ambiente.

## Método

A metodologia adotada foi sendo aprimorada a partir de Autor (2010), com os resultados adicionais em Autor *et al.* (2013) e Autor *et al.* (2013a). Desta forma, o procedimento metodológico adotado foi desenvolvido a partir das seguintes etapas:

a) Referencial Teórico: foram selecionados e identificados estudos que abordam o tema de iluminação natural e sua relação com a profundidade do ambiente interno visando estabelecer o alicerce conceitual da pesquisa;

b) Regulamentações edilícias: foram selecionados os Códigos de Obras das 27 capitais brasileiras, objetivando a compreensão da atuação do referido documento quanto à iluminação natural. O foco da abordagem foi direcionado para as respostas dadas pelas regulamentações **no que se referem** à profundidade do ambiente, identificando as relações mais frequentes na maioria dos códigos no estudo comparativo entre as regulamentações.

c) Simulação computacional: utilizando um modelo de ambiente interno com característica recomendadas pela regulamentação edilícia de uma capital brasileira, foi simulada a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno ao longo de sua profundidade, variando a orientação das aberturas. A etapa das simulações teve como objetivo principal verificar a influência das orientações das aberturas na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno ao longo de sua profundidade. Foi então desenvolvido um modelo-base de um ambiente residencial, com as características dimensionais mínimas de acordo com a regulamentação edilícia de uma capital brasileira: Vitória-ES, (latitude 20° 19' S). Adotou-se como principal instrumento de análise as simulações computacionais a partir do programa TropLux 6.07 (CABÚS, 2012). Na análise, foram utilizados os valores das iluminâncias de sete pontos previamente definidos no ambiente interno, sendo estes valores comparados aos valores adotados na NBR 5413/82 e às UDI (Useful Daylight Illuminance). Foram utilizados, nas simulações, três tipos de céus padrões da CIE (Commission Internationale l'Éclairage): um céu encoberto; um céu parcialmente nublado; e um céu claro CIE (2003). Autor (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.

### Software 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 baseia-se 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 **sequência 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 referência elaborada há quase 30 anos, 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 neste ambiente, proporcionando, assim, a realização das atividades dentro dos compartimentos. De acordo com a NBR 5413/82, os níveis de iluminâncias **médias mínimas em serviço para iluminação artificial para** uma residência estão entre 75 e 750 lx. No caso específico desta pesquisa, os valores de iluminância encontram-se entre 100 e 750 lx no que se refere à NBR 5413/82 (ABNT, 1992). Também foram levadas em consideração as UDI propostas por Nabil e Mardaljevic (2006) como forma de avaliação da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. 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. Dessa forma, os resultados das simulações foram analisados utilizando como referência os intervalos suficientes das UDIs.

### 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 m<sup>2</sup>, 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), também em conformidade com as proporções indicadas pelo IBAM/PROCEL (1997). A orientação das aberturas foi simulada no cenário urbano com aberturas voltadas para Norte, Sul, Leste e Oeste.

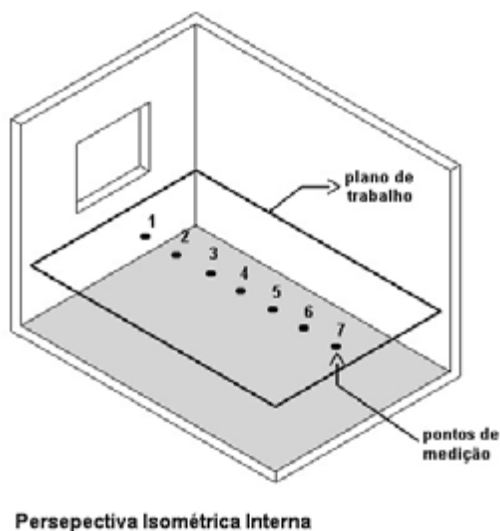
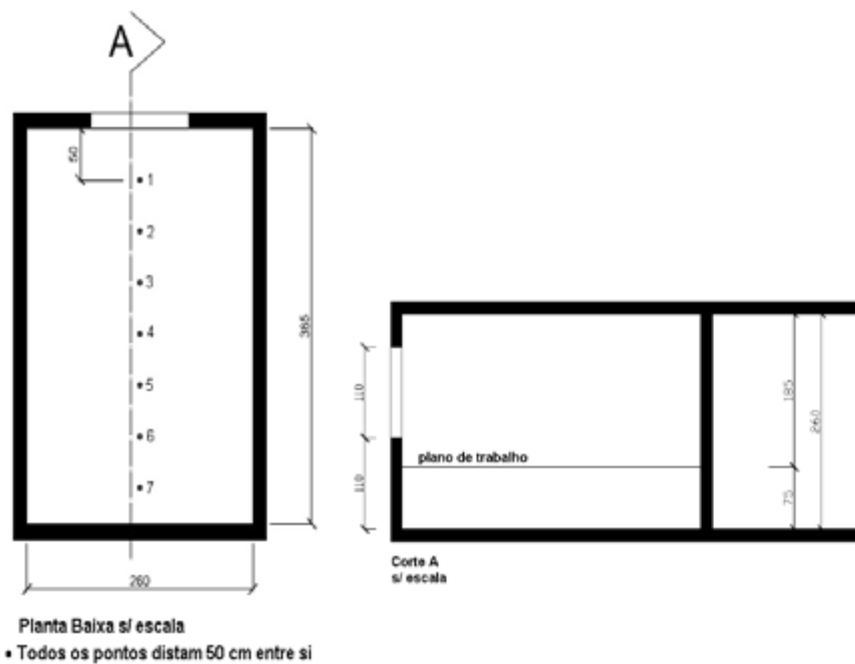
### **Pontos de avaliação no ambiente interno**

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. Para que, durante a verificação do nível de iluminação natural, o erro seja inferior a 10%, é preciso determinar um número mínimo de pontos. Desta forma, em função da NBR 15215-4 (BRASIL, 2005), o número mínimo encontrado foi de 16 pontos. Apesar de Albuquerque e Amorim (2012) também terem trabalhado com estudos de indicações de profundidade-limite de ambientes para iluminação natural, estabelecendo, com 18 pontos de medição em uma malha de 03 colunas e 06 linhas, optou-se por trabalhar com 7 pontos de avaliação dentro do ambiente. Para a localização destes pontos de avaliação, adotou-se também a norma da 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 0,75 m 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, 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 [1]. Este posicionamento permitiu a análise da iluminação ao longo da profundidade do ambiente.

Figura 1

Planta baixa, corte e perspectiva do modelo de ambiente interno com demarcação dos sete pontos avaliados na simulação.

Fonte: Autores.



### Características das edificações obstruidoras

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

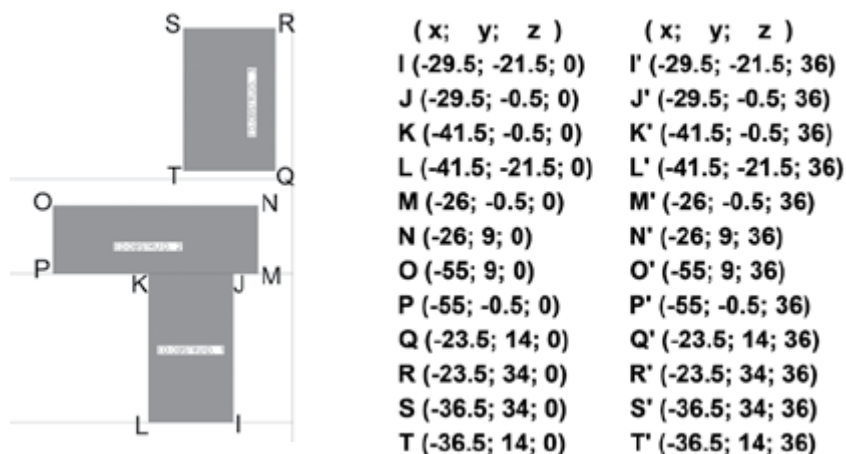
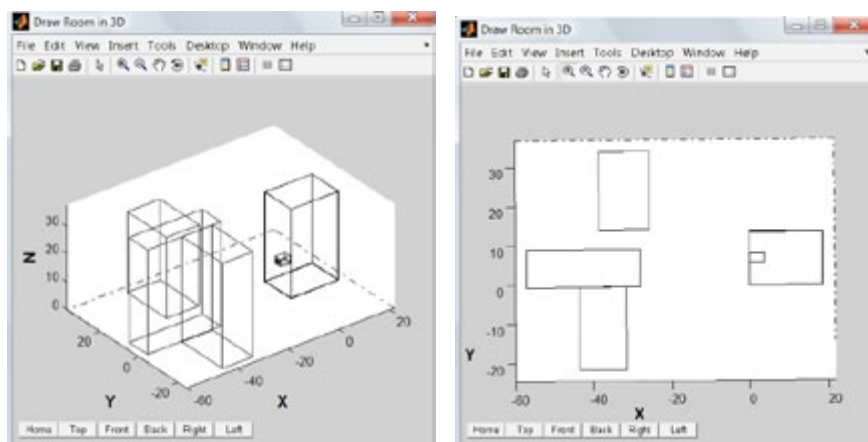
No que se refere à via, foi adotado o valor de 18 m (rua + passeio) para o dimensionamento da largura, de acordo com o preconizado pelo Plano Diretor Urbano de Vitória (VITÓRIA, 2006), no que se refere à tipologia para via “Local Principal”.

Figura 2

Acima, imagens em 3D e vista superior das edificações obstruidoras e ambiente interno analisado, geradas pelo TropLux.

Abaixo, imagem das edificações obstruidoras com as coordenadas utilizadas no TropLux.

Fonte: Autores.



No que se concerne 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 de reflexão das superfícies externas verticais (edificações obstruidoras) e horizontais (vias), objetivando a maior proximidade com a realidade típica dos ambientes externos. Desta forma, para os 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, considerando a regulamentação vigente, pode ser asfalto, concreto, bloco intertravado ou paralelepípedo, adotando-se assim, nestas superfícies horizontais, a refletância de 20%. Assim, as refletâncias externas adotadas foram: fechamentos verticais opacos do entorno (edificações obstruidoras) = 0,4; superfícies horizontais (solo) = 0,2.

### Análises de resultados

Os resultados das simulações permitiram, para cada um dos pontos ao longo do comprimento do ambiente, a análise dos valores de iluminância interna que se enquadram nos valores da NBR 5413/82, bem como nas UDI. Objetivou-se verificar, em cada ponto, na extensão da profundidade do ambiente, se a variação na orientação das aberturas contribuiu para alterações no valor da iluminância.

## Resultados

Considerando a metodologia estabelecida, os resultados foram definidos a partir da análise do comportamento da iluminância interna de acordo com os valores preconizados na NBR 5413/82 e nas UDI.

### 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).

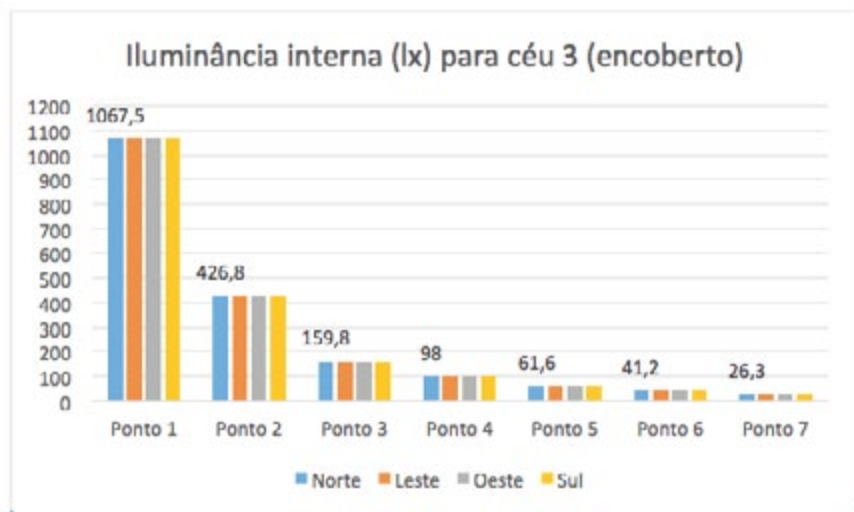
Para o céu 3 (encoberto) apresentam-se os valores das iluminâncias ponto a ponto obtidos a partir das simulações [3]. Observa-se que, apesar dos valores de iluminância serem diferenciados a cada ponto, há um comportamento semelhante destes valores independente das diferentes orientações. Desta forma, para essa situação específica de céu, a orientação da abertura não contribui para a alteração nos valores de iluminância.

Quanto às UDI, somente na profundidade de 0,5 m (ponto 1) encontram-se valores de iluminância que satisfazem o intervalo de valores suficiente ( $500 \leq UDI < 2000$  lx). A partir deste ponto, até a profundidade de 2,0 m (ponto 4) os valores de iluminância satisfazem o intervalo de valores suficiente, mas que necessita de iluminação complementar ( $100 \leq UDI < 500$  lx). A partir da profundidade de 2,0 m (ponto 4), os valores de iluminância caracterizam-se como insuficientes, onde o ambiente sempre necessitará de iluminação artificial para suas atividades.

Gráfico 3

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

Fonte: Autores



Para o céu 3 (encoberto) a orientação das aberturas não faz variar os percentuais de horas suficientes. Somente até a profundidade de 2,0 m (ponto 4) há percentuais de horas de iluminância que satisfazem a NBR 5413/82 (ABNT, 1992).

Gráfico 4

Percentual de horas dentro do intervalo de valores suficiente das UDI, em função da orientação da abertura para a condição de céu 3 (encoberto).

Fonte: Autores

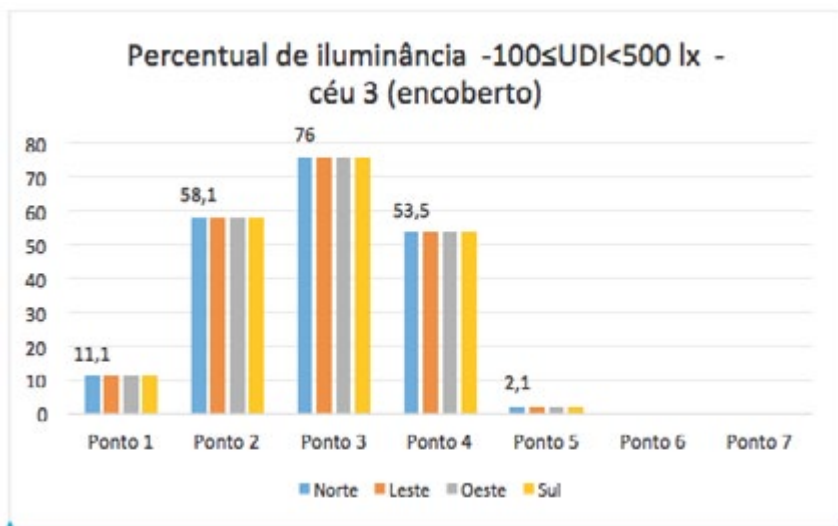
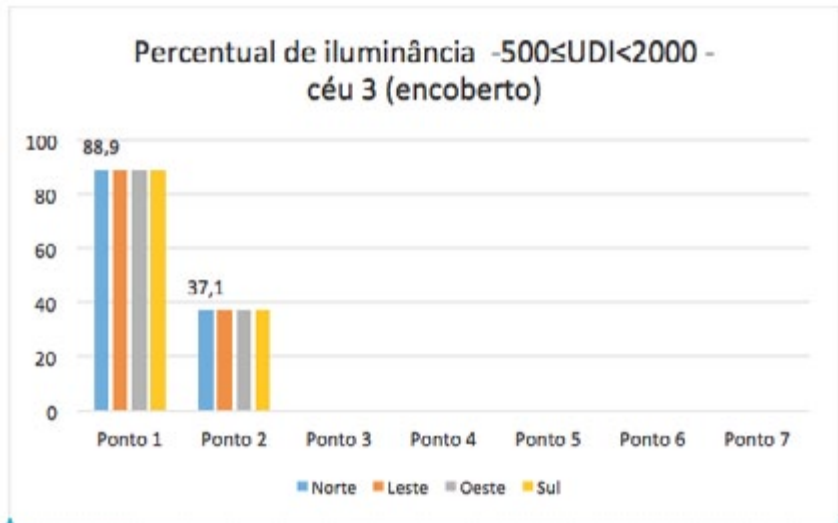


Gráfico 5

Percentual de horas dentro do intervalo de valores suficiente das UDI, com necessidade de iluminação complementar, em função da orientação da abertura para a condição de céu 3 (encoberto).

Fonte: Autores



Para o céu 3, observa-se que para todas as orientações das aberturas, as maiores reduções percentuais da iluminância ocorrem até a profundidade de 1,5 m (ponto 3) [6]. A partir daí nota-se, de forma similar para todas as orientações, um decréscimo no percentual de redução da iluminância.

Tabela 6

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

Fonte: Autores

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), para a orientação Sul, os menores valores de iluminância ocorrem até a profundidade de 1,0 m (ponto 2) [7]. 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, à 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, quando se compara diferentes orientações de abertura. Pode-se afirmar, a partir da 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.

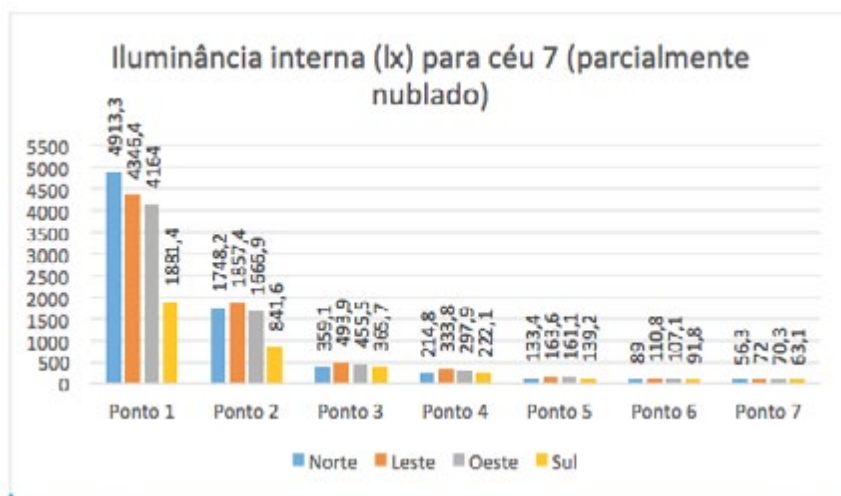
No que diz respeito às UDI, para a orientação Sul, somente até a profundidade de 1,0 m (ponto 2) encontram-se os valores de iluminância satisfazendo o intervalo de valores suficiente ( $500 \leq UDI < 2000$  lx). Para a orientação Norte, esta situação só ocorre na profundidade de 1,0 m (ponto 2). Para a orientação Leste e Oeste somente a profundidade de 1,0 m (ponto 2) satisfaz este intervalo de valores. A partir daí, até a profundidade de 3,0 m (ponto 6), para todas as orientações, os valores de iluminância encontram-se no intervalo de valores suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar ( $100 \leq UDI < 500$  lx).

Destaca-se para este céu, nas orientações Norte, Leste e Oeste, alto nível de contraste entre o ponto mais próximo da abertura e o ponto mais distante da abertura. Apresentam-se valores de iluminância que se encontram no intervalo excessivo de iluminação, profundidade de 0,5 m (ponto 1), o qual necessitará de proteção solar na abertura. Bem como a partir da profundidade de 3,0 m (ponto 6), apresentam-se valores de iluminância caracterizados como insuficientes, no qual o ambiente sempre necessitará de iluminação artificial para suas atividades.

Gráfico 7

Valor da média anual de iluminância interna em função da orientação da abertura para a condição de céu 7 (parcialmente nublado).

Fonte: Autores



Para o céu 7 (parcialmente nublado), somente na profundidade de 0,5 m (ponto 1) os percentuais de horas suficiente apresentam-se diferenciados em relação à orientação, com maiores percentuais na orientação Leste e Sul [8]. No que se refere ao intervalo suficiente ( $100 \leq UDI < 500$  lx), que necessita de iluminação complementar, apenas nas profundidades 1,5 m (ponto 3), 2,0 m (ponto 4) e 2,5 m (ponto 5) a orientação da abertura não causa variações percentuais de horas no intervalo. Em todas a profundidade do ambiente há percentuais de horas que satisfazem a NBR 5413/82 (ABNT, 1992).

Gráfico 8

Percentual de horas dentro do intervalo de valores suficiente das UDI, em função da orientação da abertura para a condição de céu 7 (parcialmente nublado).

Fonte: Autores

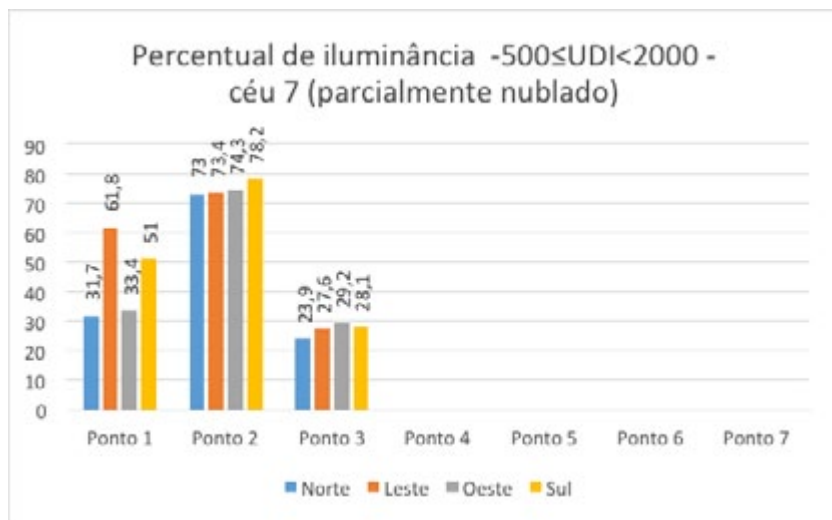
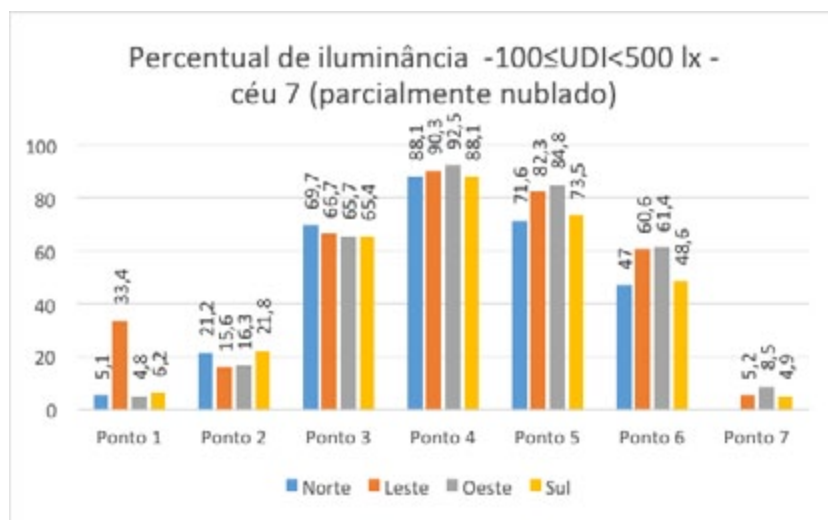


Gráfico 9

Percentual de horas dentro do intervalo de valores suficiente das UDI, com necessidade de iluminação complementar, em função da orientação da abertura para a condição de céu 7 (parcialmente nublado).

Fonte: Autores



Para a condição de céu 7 (parcialmente nublado), observa-se 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 [10]. 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 10

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

Fonte: Autores

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), 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 entre si [11]. 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 Sul gerou os menores valores 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 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 (ponto 3).

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 desta passa a ter cada vez menor influência na iluminância. No que diz respeito à disponibilidade de iluminação natural do ambiente interno, até a profundidade de 2,5 m (ponto 5) na orientação Norte e Sul, os valores de iluminância satisfazem a NBR 5413/82 (ABNT, 1992). Na orientação Leste e Oeste esta profundidade passa para 1,5 m (ponto 3).

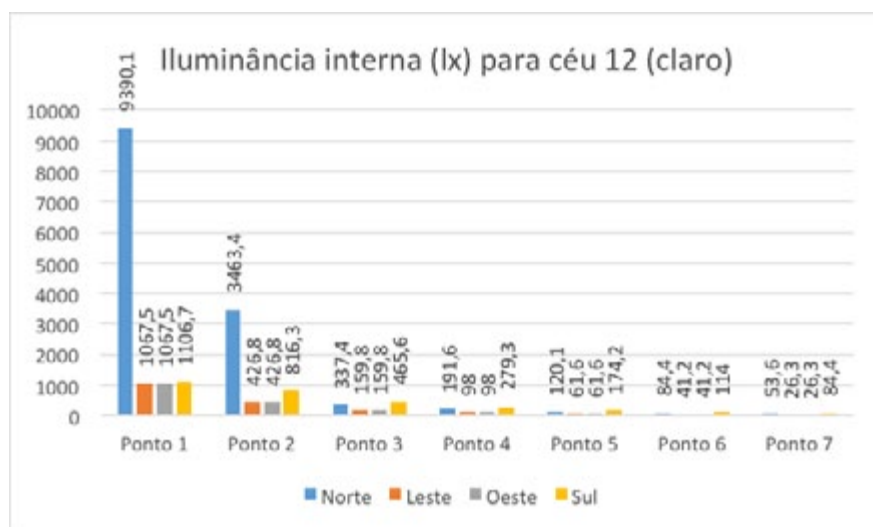
No que diz respeito às UDI, para a orientação Leste e Oeste, somente na profundidade de 0,5 m (ponto 1), encontram-se os valores de iluminância satisfazendo o intervalo suficiente de valores ( $500 \leq UDI < 2000$  lx). A partir daí, até a profundidade de 2,0 m (ponto 4), os valores de Iluminância passam a satisfazer o intervalo suficiente de valores, mas que necessita de iluminação complementar ( $100 \leq UDI < 500$  lx). Para a Orientação Sul, o intervalo de valores suficiente das UDI ( $500 \leq UDI < 2000$  lx) é satisfeito até a profundidade de aproximadamente 1,5 m (ponto 3). Por fim, no que se refere à orientação Norte, da profundidade de 1,5 m (ponto 3) até a profundida de 2,5 m (ponto 5) os valores de iluminância não satisfazem o intervalo suficiente de valores das UDI ( $500 \leq UDI < 2000$  lx).

Destaca-se, para este céu, na orientação Norte, alto nível de contraste entre o ponto mais próximo da abertura e o ponto mais distante da abertura. Apresenta-se o ponto mais próximo da abertura (ponto 1) com iluminação caracterizada como excessiva, necessitando esta abertura de proteção solar. Bem como a partir da profundidade de 3,0 m (ponto 6), apresentam-se valores de iluminância caracterizados como insuficientes, no qual o ambiente sempre necessitará de iluminação artificial para suas atividades. Este último fato também é constatado nas orientações Leste e Oeste, a partir da profundidade de 2,5 m (ponto 5), e na orientação Sul apenas na profundidade de 3,5 m (ponto 7).

Gráfico 11

Valor da média anual de iluminância interna em função da orientação da abertura para a condição de céu 12 (claro).

Fonte: Autores



Para o céu 12 (claro), as profundidades que vão até 2,0 m (ponto 4) são as mais favorecidas com a iluminação natural nos dois intervalos suficientes, com exceção apenas para orientação Norte [12] e [13].

Gráfico 12

Percentual de horas dentro do intervalo de valores suficiente das UDI, em função da orientação da abertura para a condição de céu 12 (claro).

Fonte: Autores

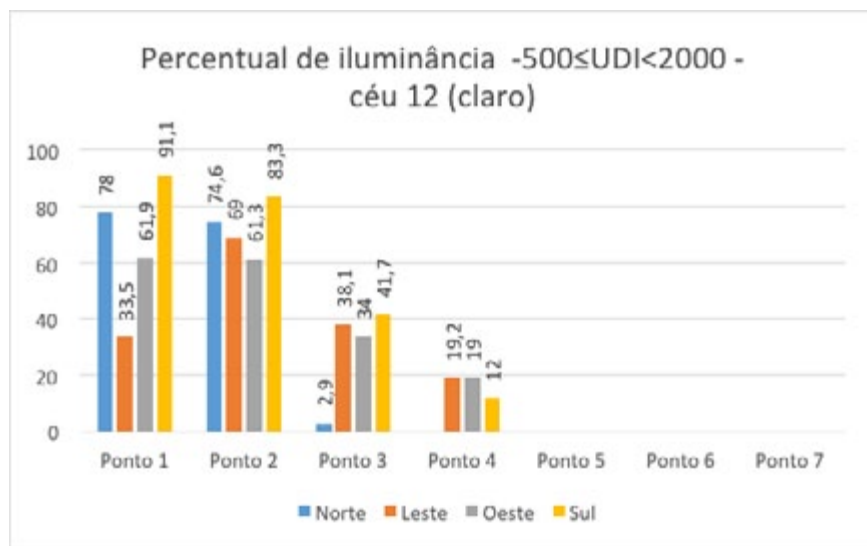
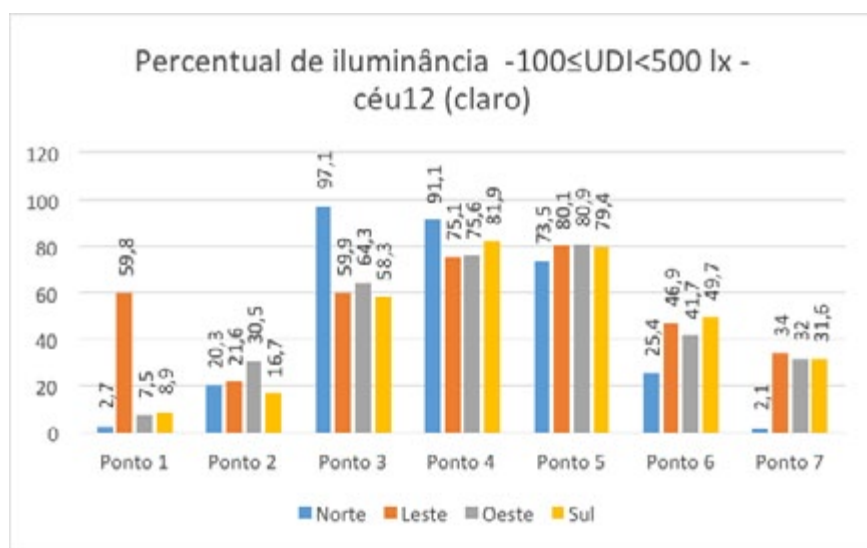


Gráfico 13

Percentual de horas dentro do intervalo de valores suficiente das UDI, com necessidade de iluminação complementar, em função da orientação da abertura para a condição de céu 12 (claro).

Fonte: Autores



Para o céu 12 (claro), observa-se 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 [14]. 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 14

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

Fonte: Autores

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%

## Considerações Finais

Na simulação computacional, 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.

As pesquisas que tratam do limite de profundidade dos compartimentos mostram que a profundidade deve ter o seu valor máximo entre 1,5 e 2,5 vezes a altura da abertura, como forma de garantir um melhor aproveitamento da iluminação natural.

No que diz respeito às regulamentações edilícias, nota-se uma inadequação quanto ao tratamento dado à profundidade do ambiente interno, comprometendo tais ambientes quanto ao acesso à iluminação natural. Há grande diversidade na forma de tratamento da profundidade do ambiente e, conseqüentemente, da distribuição da iluminação natural, sendo que, em 48% das capitais analisadas, os códigos não fazem nenhuma menção relacionada à profundidade do ambiente.

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.

Para a continuidade da pesquisa, sugerem-se novas simulações a partir das variáveis propostas, visando o refinamento da identificação dos fatores que comprometem a disponibilidade da iluminação natural no ambiente interno, tais como: as características da geometria urbana, a altura das edificações, a largura de vias, o afastamento lateral entre edificações, refletância das superfícies externas, dentre outros. Pode-se, ainda, aprimorar os resultados da investigação a partir de variações dimensionais e de características do ambiente analisado, sendo ainda desejável estabelecer novas correlações de análise também a partir do incremento de outras variáveis não consideradas nesta pesquisa.

## Referências

ALBUQUERQUE, M; AMORIM, C.N.D. Iluminação natural: indicações de profundidade-limite de ambientes para iluminação natural no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais - RTQ-R. **Ambiente Construído**. 2012, vol.12, n.2, pp. 37-57. ISSN 1678-8621.

AMORIM, C. N. D. Diagrama Morfológico Parte I: instrumento de análise de projeto ambiental com uso de luz natural. **Paranoá Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, Brasília, DF, n. 3, P. 57-76, 2007.

BAHIA, S. R. et al. **Modelo para elaboração de código de obras e edificações**. Rio de Janeiro: IBAM/DUMA, 1997.

BARBOSA, Cláudia Verônica Torres. **Percepção da iluminação no espaço da arquitetura: preferências humanas em ambientes de trabalho**. 2011. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-02022012-094105/>>. Acesso em: 2013-03-19.

CABÚS, R. C. **TropLux, versão 6: Guia do Usuário**, Maceió: Grilu, 2012

CIE – COMMISSION INTERNATIONALE L'ACLAIRAGE. Spatial distribution of daylight – CIE standard general sky. Publication CIE S 011/E:n2003. Viena, Áustria, 2003.

IBAM/PROCEL. BAHIA, S. Modelo para elaboração de código de obras e edificações. Rio de Janeiro, 1997

IWASHITA, J. Estudo da iluminação natural em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo – Estudo de casos. In: **ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO**, 5., 1999, Fortaleza. Anais... Fortaleza: ANTAC, 1999.

Autor ; CABUS, R. ; ALVAREZ, C. E. ; CORREIA, L. G. . **Análise das relações entre a geometria urbana e a orientação das aberturas na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno**. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo (PUCMG), v. 20, p. 151-167, 2013.

Autor; ALVAREZ, C. E. ; MATARANGAS, K. P. . **Análise da influência da orientação das aberturas na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno na extensão de sua profundidade**. Labor & Engenho, v. 7, p. 89-99, 2013 a.

Autor. **Parâmetros urbanos e a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno**. 2010. 285f. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Rio de Janeiro.

MARSH, A. A computational approach to regulatory compliance. In: **BUILDING SIMULATION**; 9., 2005.

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

OAKLEY, G.; RIFFAT, S. B.; SHAO, L. Daylight performance of lightpipes. **Solar Energy**, v. 69, n. 2, p. 89-98, 2000.

O'CONNOR, J.; LEE, E.; RUBINSTEIN, F.; SELKOWITZ, S. **Tips for daylight with windows: The integrated approach**. Lawrence Berkeley National Laboratory, 1997.

RATTI, C.; BAKER, N.; STEEMERS, K. Energy consumption and urban texture. **Energy and buildings**, V.37, p. 762-776, 2005.

REINHART, C. F. A simulation-based review of the ubiquitous window-head-height to daylight zone depth rule-of-thumb. In: **INTERNATIONAL BUILDING SIMULATIONS CONFERENCE**, 9., Montreal, Canada, 2005. Proceedings... Montreal: IBPSA, 2005, p. 1011-1018.

RTQ-R - **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br>> Acesso em: 06 março 2013.

#### **RESPONSABILIDADE INDIVIDUAL E DIREITOS AUTORAIS**

A correção normativa e gramatical do texto é de inteira responsabilidade do autor. Todos os artigos possuem imagens cujos direitos de publicidade e veiculação estão sob gerência dos idealizadores, salvaguardado o direito de veiculação de imagens públicas com mais de 70 anos de divulgação, isentas de reivindicação de direitos de acordo com art. 44 da Lei do Direito Autoral/1998: “O prazo de proteção aos direitos patrimoniais sobre obras audiovisuais e fotográficas será de setenta anos, a contar de 1º de janeiro do ano subsequente ao de sua divulgação”.

O CADERNOS PROARQ (issn 1679-7604) é um periódico científico sem fins lucrativos que tem o objetivo de contribuir com a construção do conhecimento nas áreas de arquitetura e urbanismo e afins, constituindo-se uma fonte de pesquisa acadêmica. Por não serem vendidos e permanecerem disponíveis online para todos os pesquisadores que se interessarem em difundir seus trabalhos, os artigos devem ser sempre referenciados adequadamente - de modo a não infringir com a Lei de Direitos Autorais.