

YULLI RIBEIRO MAPELLI, ANDRÉA COELHO LARANJA E CRISTINA ENGEL DE ALVAREZ

## Avaliação de desempenho entre as tipologias de aberturas zenital e lateral no quesito iluminação natural de ambientes internos

*Performance evaluation between the typologies of zenith and lateral openings in the area of indoor lighting*

Avaliação de desempenho entre as tipologias de aberturas zenital e lateral no quesito iluminação natural de ambientes internos

*Performance evaluation between the typologies of zenith and lateral openings in the area of indoor lighting*

#### **Yulli Ribeiro Mapelli**

Graduanda de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade Brasileira Multivix Vitória. Bolsista de Iniciação Científica pela Universidade Federal do Espírito Santo. Monitora de Conforto Ambiental III, com ênfase em acústica da Faculdade Brasileira Multivix Vitória. Membro do Laboratório de Planejamento e Projetos-LPP (UFES), trabalhando na área de conforto lumínico de ambientes internos e de mobilidade urbana na cidade de Vitória-ES.

*Undergraduate Student of Architecture and Urbanism of the Brazilian Faculty Multivix Vitória. Scholarship of Scientific Initiation by the Federal University of Espírito Santo. She supports the academic discipline Environmental Comfort III, with emphasis on acoustics, of the Brazilian Faculty Multivix Vitória. Member of the Laboratory of Planning and Projects-LPP (UFES), working in the area of light comfort of internal environments and urban mobility in the city of Vitória-ES.*

**yullirmapelli@gmail.com**

#### **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, iluminação natural e ergonomia.

*Architect and Urbanist by the Federal University of Espírito Santo (1995), Master's degree in Architecture by the Federal University of Rio de Janeiro (2000) and Ph.D. in Architecture by the Federal University of Rio de Janeiro (2010). Currently, she is Adjunct Professor at the Federal University of Espírito Santo in the Architecture and Urbanism course. Has experience in Architecture and Urbanism, with emphasis on Environmental Comfort, working mainly on the following topics: energy efficiency, bioclimatic architecture, natural lighting and ergonomics.*

**andreacoelholaranja@gmail.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 coordenadora do GT de desenvolvimento sustentável da Associação

Avaliação de desempenho entre as tipologias de aberturas zenital e lateral no quesito iluminação natural de ambientes internos

*Performance evaluation between the typologies of zenith and lateral openings in the area of indoor lighting*

Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, colaboradora - Universidad de Oviedo, professor associado III da Universidade Federal do Espírito Santo e co-guia no curso de doutorado em arquitetura - Universidad del Bío-Bío.

*Architect and Urbanist by the University of Vale do Rio dos Sinos (1987), Master's degree in Architecture and Urbanism by the University of São Paulo (1996) and Ph.D. in Architecture and Urbanism by the University of São Paulo (2003). Currently, she is coordinator of the Working Group of sustainable development of the National Association of Built Environment Technology, collaborator - University of Oviedo, associate professor III of the Federal University of Espírito Santo and co-guide in the doctorate in architecture - Bío-Bío University.*

**engelalvarez@hotmail.com**

### Resumo

Esta pesquisa trata da relação entre as tipologias de aberturas zenitais e laterais quando relacionados à iluminação natural de ambientes internos. A iluminação natural é tema que deve ser tratado de forma cuidadosa em projetos e está vinculada diretamente às aberturas das construções. O objetivo desta pesquisa foi analisar a disponibilidade de luz natural em ambiente interno de uso comercial proveniente de abertura lateral quando comparada ao ganho lumínico proporcionado por aberturas zenitais. Na metodologia o processo de obtenção de dados envolveu simulações com o software TropLux de um ambiente pré-determinado da cidade de Vitória-ES (LAT 20° 19' S), sendo este testado nos tipos de céus padrões 3 (encoberto), 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro) da CIE (International Commission on Illumination) nas orientações Norte, Sul, Leste e Oeste. Foram feitas avaliações da disponibilidade de iluminação natural do ambiente interno sendo observados os valores de iluminância e a uniformidade. Para tanto foram utilizados três modelos de aberturas zenitais – dômus, shed e lanternim –, acrescido de um modelo de abertura lateral, tipo janela. As análises das iluminâncias do ambiente interno foram comparadas aos intervalos de valores das UDIs (Useful Daylight Illuminances) e a uniformidade foi analisada por meio de comparação aos dados sugeridos pela ABNT. No que se refere aos percentuais de horas das UDIs, as análises foram feitas para todos os dias do ano, em dez horários do dia, de 8:00 às 17:00 horas. No que se refere à uniformidade esta foi analisada no dia 21 de cada mês do ano (janeiro a dezembro) nos horários de 10h00 e 14h00, conforme sugere a NBR 15215-4 (ABNT, 2005). O resultado das simulações para os percentuais de horas das UDIs, mostra que no caso da adoção de aberturas zenitais em locais com características de Céu 3 (encoberto), esta deve ser preferencialmente dômus; já para locais com características de Céu 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro), estas devem ser do tipo lanternim ou shed. No quesito uniformidade, em locais com característica de céu 3 (encoberto), as aberturas do tipo lanternim e shed contribuirão de maneira mais eficiente para ambientes internos com menor contraste de iluminância ao longo dos meses do ano, quando comparadas às outras tipologias de aberturas. Para os Céus 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro) somente com o Lanternim que se obtém os melhores resultados de uniformidade, acima do mínimo estabelecido pela NBR ISO/CIE 8995-1:2013. No que se refere as curvas isolux, Céu 7 (parcialmente encoberto), orientação Norte, os resultados da simulação confirmam a eficiência do tipo Lanternim ao resultar em valores desejados de iluminância durante o ano e boa distribuição de luz no compartimento. Para tanto, conforme esperado, concluiu-se que a tipologia de abertura lateral não é tão vantajosa quanto à necessidade de uniformidade do ambiente interno, portanto será com as aberturas zenitais que o ambiente interno apresentará os melhores resultados no quesito uniformidade, garantindo menores contrastes lumínicos no ambiente interno.

**Palavras-chave:** Abertura Zenital. Iluminação Natural. Conforto Lumínico.

### Abstract

*This research was created using a relation between the typologies of zenithal openings and architects when connected to indoor natural lighting. Natural lighting must be treated carefully in projects and is directly linked to the openings of buildings. The objective was to evaluate the availability of natural light in a domestic environment of proven commercial use of lateral when compared to the light gain provided by zenith apertures. The methodology of the TropLux TropLux software simulation process of a pre-determined environment of the city of Vitória-ES (LAT 20 ° 19 'S), being tested in the sky standards of standards 3 (overcast), 7 (partly cloudy) and 12 (of course) the CIE (International Lighting Commission) in the North, South, East and West orientations. Evaluations of the natural light availability of the internal environment were made observing the values of illuminance and uniformity. For the models of three models of openings, the side and side version of the flashlight is composed of lateral opening models, window type. The internal ambient illumination*

## Avaliação de desempenho entre as tipologias de aberturas zenital e lateral no quesito iluminação natural de ambientes internos

*Performance evaluation between the typologies of zenith and lateral openings in the area of indoor lighting*

was compared to the UDI intervals, and the uniformity was analyzed by comparing the information suggested by ABNT. With regard to the percentages of IDUs, the analyzes were done for all days of the year, in ten times of the day, from 8:00 am to 5:00 p.m. On days 10, 00 and 14:00, as indicated in NBR 15215-4 (ABNT, 2005). The result of the simulations for the percentages of IDUs, shows the case of the adoption of openings in the locations with the characteristics of Heaven 3 (overcast), this should be preferentially *dômus*; You must make the settings of Sky 7 (partly cloudy) and 12 (of course), these should be lanternim or shed type. In terms of uniformity, in places with the character of the cloud 3 (overtuned), the openings of lanternain and shed contributor to the upper house in the middle have anted the illumination of the upper year of an year, when compared to the other typologies of openings. For Heavens 7 (partly cloudy) and 12 (clear) only with Lanternim, which obtained the results of uniformity results, above the minimum, established by NBR ISO / CIE 8995-1: 2013. For single combinations, Sky 7 (partly cloudy), North orientation, the results of the operation confirm the efficiency of the Lantern type in reverse in the desired values of illuminance during the year and the distribution of light in the compartment. The uniformity of lateral cut is not as advantageous as the uniformity of the internal environment, the zenith opening being that the internal environment does not present uniformity, guaranteeing less light contrasts not internal environment.

**Keywords:** Zenit Openness. Natural lighting. Light Comfort.

## Introdução

O uso de aberturas nas edificações proporciona ao ambiente interno interação com o meio externo, além de permitir que a iluminação natural contribua com a redução do consumo energético com iluminação artificial. Entretanto, o uso deste recurso deve ser feito de forma cuidadosa, visto ser desejável a otimização do desempenho lumínico sem acarretar em ganho térmico à edificação. Com algumas estratégias, é possível obter um maior controle da incidência solar, evitando contrastes e ofuscamentos (FROTA, 2004; TORRES, ADELINO, 2013). Este fato ressalta a importância do estudo da edificação de acordo com as características climáticas da sua localidade, dentre elas as características relativas à iluminação e insolação. Michael e Heracleous (2017) confirmam esta hipótese quando afirmam que sem os níveis de iluminação adequados os indivíduos não podem realizar suas tarefas de forma eficaz e confortável. Kwon e Lim (2017) garantem ainda que as características físicas e os padrões de vida humanos variam de acordo com a mudança da quantidade de luz.

O fato é que a iluminação natural é tema que deve ser tratado de forma cuidadosa em projetos e está vinculada diretamente às aberturas das construções. Para tanto, estas aberturas devem ser bem dimensionadas e localizadas, a fim de garantir eficiente desempenho lumínico ao ambiente. Segundo Li e Lam, 2003 a, b e Ochoa et al., 2012 a iluminância recebida por uma edificação varia de acordo com a dimensão, posição e orientação das aberturas. Littlefair (1992) e Chow et al. (2013) completam que o uso da luz do dia dentro de um ambiente melhora o conforto do ocupante e proporciona melhor saúde física, além de contribuir com a qualidade lumínica e eficiência energética. Em contrapartida, Al-Obaidi et al. (2017) relatam dados apresentados pelo Departamento de Energia dos EUA (2012) o qual indicam que 62% do setor residencial mundial ainda utilizam de modo ineficiente a arquitetura em prol de garantir iluminação natural adequada ao ambiente interno, ressaltando a carência de projetos que garantem qualidade lumínica em edificações de todo o planeta.

Dentre as possibilidades de utilização de aberturas para a iluminação no ambiente interno podem ser citadas as aberturas laterais e zenitais. As aberturas laterais (janelas) contribuem com a iluminação do ambiente interno, porém ocasionando grandes contrastes de iluminância. Estes contrastes decorrem de a luz ser proveniente de apenas uma lateral, com muita luminosidade perto da abertura e grande decaimento da iluminação ao longo da profundidade do ambiente, provocando desuniformidade no ambiente interno (CASTANHEIRA, 2012). Por outro lado, apresenta-se a abertura zenital como possibilidade de iluminação do ambiente de forma mais homogênea. A iluminação de ambientes internos proporcionada por aberturas zenitais pode ser considerada uma das fontes mais eficientes de luminosidade, visto que a distribuição da luz é realizada de maneira mais uniforme quando comparada às aberturas laterais. Lamberts et al. (2011) reforçam que a estratégia mais eficiente que garante conforto visual e qualidade lumínica ao ambiente é a iluminação fornecida por meio de abertura zenital, visto que o plano de trabalho se dá, prioritariamente, no plano horizontal. Moore (1991) confirma que a luz que chega perpendicular ao plano de trabalho contribui com um maior nível de iluminação do que a luz que chega oblíqua a este plano. Além disso, deve ser ressaltado que o modelo de expansão urbana, muitas vezes, leva ao bloqueio ou inviabilidade das tradicionais aberturas laterais, ou mesmo ao fechamento voluntário – através de cortinas internas, por exemplo – quando se quer preservar a privacidade do ambiente interior.

Por outro lado, apresentam-se as regulamentações edilícias como instrumento legal que mostram procedimentos relativos à construção, impactando diretamente no conforto de seus usuários e no desempenho da edificação. Os Códigos de Obras brasileiros regulam, dentre outros, as dimensões e áreas mínimas e máximas de compartimentos e aberturas.

No que se refere aos Códigos de Obras das capitais da região Sudeste brasileira, estes vinculam a área de abertura em função da área do piso. O Código de Obras de Belo Horizonte-MG e Rio de Janeiro-RJ preveem para salas comerciais e escritórios área mínima para o vão de iluminação e ventilação de 1/6 (16% aproximadamente) da área do piso do compartimento. No caso de São Paulo-SP este valor reduz para 15%. Para o Código de Obras de Belo Horizonte não há definição se esta abertura deva ser zenital ou lateral. Por fim, o Código de Obras da cidade de Vitória (ES) indica que as aberturas laterais dos ambientes de uso prolongado devem corresponder a 1/8 (um oitavo) da área do compartimento, equivalente a um percentual de 12,5% da área do piso, havendo a possibilidade de redução desta área em 30% (trinta por cento) quando se tratar de abertura zenital (VITÓRIA, 1998). Desta forma os Códigos de Obras das capitais da região Sudeste brasileira somente estabelecem áreas mínimas para a abertura em função da área do compartimento. Questiona-se, porém, se estas medidas de áreas mínimas proporcionam ao ambiente interno iluminação adequada à área de trabalho.

Este estudo, de caráter exploratório, partindo do princípio que a iluminação zenital confere ao ambiente interno maior uniformidade lumínica e quantidade de iluminação natural, vem investigar o comportamento da iluminação natural proveniente de aberturas zenitais tomando como dados as limitações de dimensões e áreas mínimas indicadas pelos códigos de obras. Parte-se do pressuposto que o correto dimensionamento dessas aberturas pode garantir disponibilidade de iluminação natural adequada ao ambiente interno, além de contribuir com a redução do uso da iluminação artificial.

## Metodologia

Neste estudo a análise da iluminação natural se deu por meio da simulação computacional com o *software* TropLux 6.07, destacando-se que o TropLux é um programa recomendado pelo RTQ-R (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais) (BRASIL, 2012).

O *software* TropLux possibilita a análise lumínica no ambiente interno, sendo possível a inserção das características do ambiente por meio de coordenadas. Também como dado de entrada para as simulações estão a localização do ambiente, a refletância das superfícies internas e externas, a orientação das aberturas, os horários e dias das simulações, os tipos de céus a serem analisados e a definição da distribuição dos pontos de medição dentro do ambiente.

Nas simulações, como padrão de ambiente interno comercial, adotou-se modelo de ambiente já investigado em estudos realizados por Bernabé (2012), Santos (2012), Casagrande (2013), Lamberts, Ghisi e Ramos (2006). Desta forma o ambiente interno analisado possui 6m x 5m x 2,7m, respectivamente comprimento, largura e pé direito, em observação ao estudo bibliográfico realizado. Com relação à altura dos pontos de medição nas simulações, adotou-se um malha de simulação a uma altura de 75cm do piso.

No que se refere aos modelos de análise das aberturas foram utilizados três modelos zenitais – dômus, lanternim e shed – e como modelo de abertura lateral, o tipo janela convencional. As dimensões das aberturas foram definidas com base na fenestração mínima exigida pelo Código de Obras da Cidade de Vitória (VITÓRIA, 1998). Este

Avaliação de desempenho entre as tipologias de aberturas zenital e lateral no quesito iluminação natural de ambientes internos

*Performance evaluation between the typologies of zenith and lateral openings in the area of indoor lighting*

descreve que para compartimentos de uso prolongado a abertura lateral deve ter no mínimo 1/8 da área do piso do compartimento, podendo ser esta substituída por aberturas zenitais desde que reduzidas em 30% da área das laterais. Portanto, seguindo os padrões mínimos estabelecidos pelo Código de Obras, a abertura lateral possui área de 3,75 m<sup>2</sup> e as zenitais possuem área de abertura de 2,63m<sup>2</sup>, conforme Figura [1].

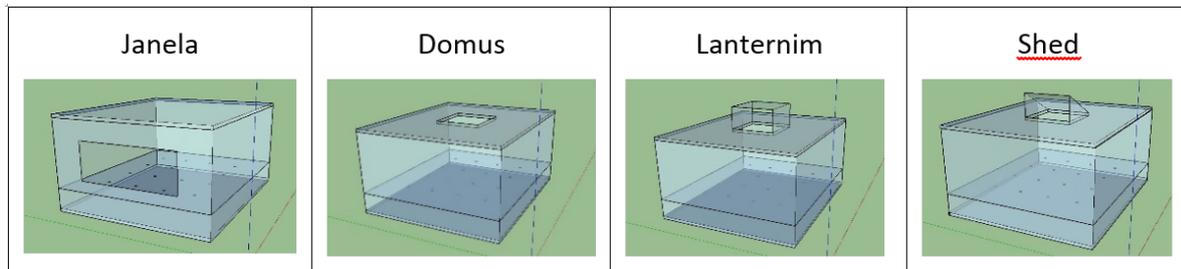


FIGURA 1- Tipologias de aberturas analisadas em relação ao ambiente interno.

Fonte: as autoras, 2018.

A malha de pontos para avaliação da iluminação do ambiente interno foi definida de acordo com a NBR 15215-4 (ABNT, 2004), que detalha a quantidade de pontos locados no ambiente para medir a iluminância ideal em planos de trabalho. Para determinar o número mínimo de pontos necessários para verificação do nível de iluminação natural com erro inferior a 10%, o índice do local (K) foi determinado conforme a Equação[1] a seguir, e Tabela [1].

$$K = \frac{C \cdot L}{H_m \cdot (C + L)}$$

L = largura do ambiente, em metros;

C = comprimento do ambiente, em metros;

H<sub>m</sub> = distância vertical, em metros, entre a superfície de trabalho e o início da fonte de luz, em metros.

$$K = 6 \cdot 5 / 1,95 \cdot (6+5)$$

$$K = 1,39$$

EQUAÇÃO 1- Cálculo para determinação do índice

Fonte: ABNT, 2004.

Onde:

Tabela 2 - Quantidade mínima de pontos a serem medidos

K	Nº de Pontos
K < 1	9
1 ≤ K < 2	16
2 ≤ K < 3	25
K ≥ 3	36

Fonte: CIBSE [1984]

TABELA 1- Quantidade de pontos a serem medidos.

Fonte: ABNT, 2004.

Considerando o exposto, foram locados 16 pontos em uma malha ortogonal horizontal dentro deste ambiente, conforme Figura [2].

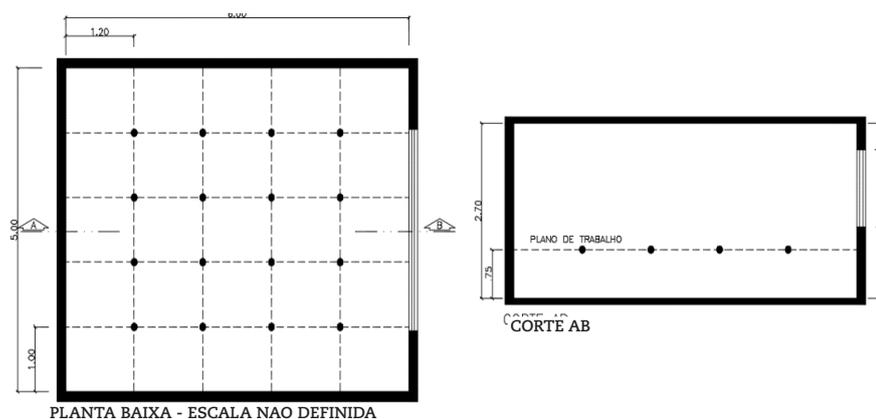


FIGURA 2 - Planta baixa e Corte AB esquemáticos do ambiente interno com abertura lateral.

Fonte: as autoras, 2018.

Foram utilizados os céus padrões da CIE (*International Commission on Illumination*), adotando para esta análise o céu 3 (encoberto), céu 7 (parcialmente nublado) e o céu 12 (claro), sendo respectivamente os valores mínimo, intermediário e máximo da média anual dos valores de iluminação interna (LARANJA, 2010). As refletâncias internas adotadas foram: piso = 0,5, parede = 0,8, teto = 0,9; e as externas foram piso = 0,2 e edificações obstruidoras = 0,5.

Nas simulações foram analisados os percentuais de horas das UDIs (*Useful Daylight Illuminances*), a uniformidade e a distribuição da iluminação das curvas isolux. No que se refere aos percentuais de horas das UDIs, propostos por Nabil e Mardaljevic (2006), as análises foram feitas para todos os dias do ano, em dez horários do dia, de 8h00 às 17h00, nas orientações Norte, Sul, Leste e Oeste.

No que se refere à uniformidade esta foi analisada no dia 21 de cada mês do ano (janeiro a dezembro) nos horários de 10h00 e 14h00, conforme sugere a NBR 15215-4 (ABNT, 2005), nas orientações Norte, Sul, Leste e Oeste. Para as curvas isolux a distribuição de luminosidade foi analisada no dia 21 de dezembro, às 10h00, orientação Norte, céu 7 (parcialmente encoberto).

## Análise dos Resultados

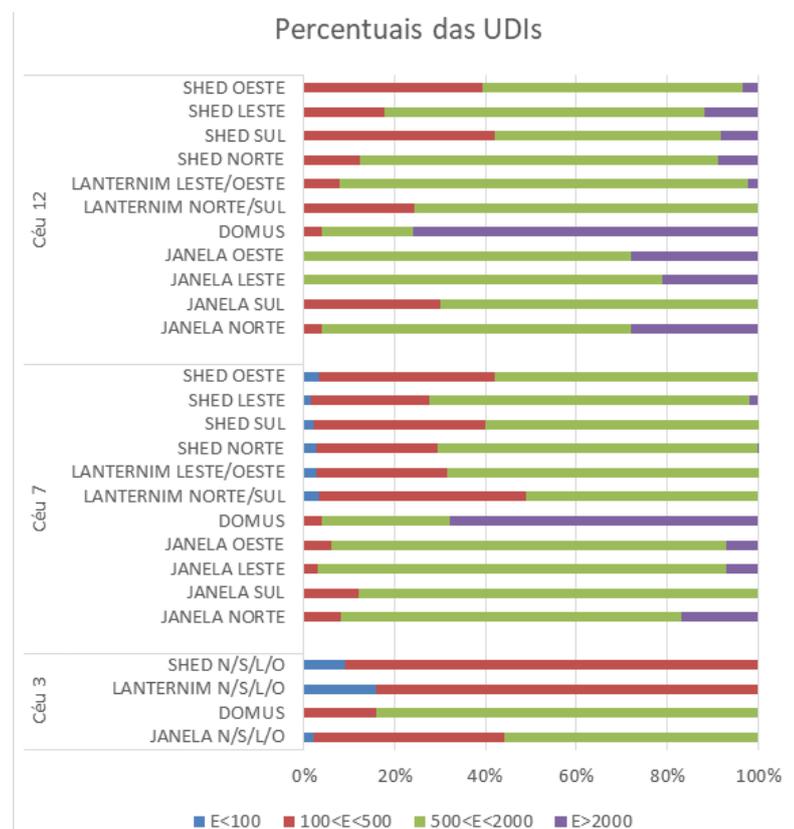
### Percentuais das UDIs

De acordo com Gráfico [1], no Céu 3 (encoberto) observa-se que será com o dômus e em seguida com a janela que se obterão os maiores percentuais de iluminância no intervalo de 500 a 2.000 lx (suficiente), respectivamente com cerca de 80% e de 60% das horas do dia, permitindo desta forma, um grande aproveitamento da iluminação natural no ambiente interno. Para todas as tipologias não haverá desconforto visual em função de iluminância excessiva. No caso do lanternim e shed o intervalo entre 100 e 500 lx (suficiente com necessidade de iluminação complementar) é bastante expressivo. Desta forma, ambientes iluminados com estas aberturas irão requerer, em todos os horários do dia, de complementação com a iluminação artificial, sendo isto mais evidente para o lanternim. Pode-se concluir que ambientes localizados em cidades com predominância característica de céu 3 (encoberto) podem ter sua abertura lateral substituída por aberturas zenitais, devendo estas, de preferência, ser do tipo dômus.

No Céu 7 (parcialmente encoberto) observa-se que será com a janela Sul e em seguida com os sheds e lanternins que serão obtidos os maiores percentuais de iluminância no intervalo de 500 a 2.000 lx (suficiente), respectivamente com cerca 90% das horas do dia para as janelas e de 50 a 70% para os sheds e lanternins. Nota-se, porém, que

no que se refere às aberturas zenitais, a melhor performance se deu para lanternim Leste/Oeste, shed Norte e shed Leste, permitindo desta forma um grande aproveitamento da iluminação natural no ambiente interno. Vale ressaltar que as janelas voltadas para as demais orientações apresentaram percentual de iluminância superior a 2.000 lx (excessivo). No caso do dômus, este percentual é ainda mais expressivo, visto que mais de 60% das horas do dia o ambiente apresenta níveis de iluminância excessiva. Assim, as aberturas do tipo janela e dômus ocasionarão desconforto visual para o ambiente interno em função de ofuscamentos, devendo necessariamente estar ambas associadas a dispositivos de proteção solar. Conclui-se, portanto, que ambientes localizados em cidades com predominância característica de céu 7 (parcialmente nublado) podem ter sua abertura lateral substituída por aberturas zenitais, devendo estas serem lanternim ou shed.

No Céu 12 (claro) observa-se que, assim como no Céu 7 (parcialmente encoberto), será com a janela sul e em seguida com os lanternims e sheds que se obterão os maiores percentuais de iluminância no intervalo de 500 a 2.000 lx (suficiente), respectivamente com cerca 90% das horas do dia para as janelas e de 60 a 90% para os lanternims e sheds. Nota-se, porém, que no que se refere às aberturas zenitais, a melhor performance se deu para lanternim em todas as orientações, shed Leste e shed Oeste, permitindo um grande aproveitamento da iluminação natural no ambiente interno. Vale ressaltar que a janela posicionada para as demais orientações bem como o dômus apresentaram percentual de iluminância superior a 2.000 lx (excessivo), ocasionando desconforto visual para o ambiente interno em função de ofuscamentos, devendo necessariamente estarem ambos vinculados a dispositivos de proteção solar. Pode-se afirmar que ambientes localizados em cidades com predominância de característica de céu 12 (claro) podem ter sua abertura lateral substituída por aberturas zenitais, devendo esta ser do tipo lanternim ou shed.



**GRÁFICO 1 - Percentuais das UDIs no ambiente interno, para o Céu 3, 7 e 12, em função da variação das tipologias de aberturas.**

Fonte: as autoras, 2018.

O Quadro [1] apresenta a síntese dos resultados das simulações com indicações que representam os resultados positivos, intermediários e negativos com relação à associação do tipo de abertura, orientação e tipologia predominante de céu.

	Céu 3				Céu 7				Céu 12			
	Norte	Sul	Leste	Oeste	Norte	Sul	Leste	Oeste	Norte	Sul	Leste	Oeste
Janela	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Intermediário	Positivo	Intermediário	Intermediário	Negativo	Positivo	Negativo	Negativo
Domus	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Lanternim	Intermediário	Intermediário	Intermediário	Intermediário	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
Shed	Intermediário	Intermediário	Intermediário	Intermediário	Positivo	Positivo	Intermediário	Positivo	Intermediário	Intermediário	Intermediário	Intermediário

■ Positivo      ■ Intermediário      ■ Negativo

QUADRO 1 - Síntese dos resultados.

Fonte: As autoras, 2018.

## Uniformidade

Para o Céu 3 (encoberto) de acordo com o Gráfico [2], os resultados referentes à uniformidade de distribuição da luz no ambiente interno para todo o ano e para todas as orientações nos horários de 10h00 foram: para janelas = 0,25; para abertura zenital tipo domus = 0,42; para shed = 0,55 e para lanternim = 0,8. Observa-se que o lanternim e o shed, são os que proporcionam resultados de uniformidade em conformidade com a NBR ISO/CIE 8995-1:2013, com valores superiores a 0,5. Logo, edificações em cidades com característica de predominância do céu 3 (encoberto), ao empregarem aberturas como lanternim e shed contribuirão para ambientes internos com menor contraste de iluminância ao longo dos meses do ano.

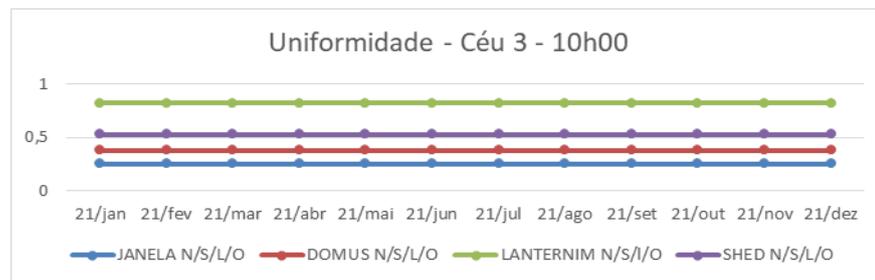


GRÁFICO 2 - Uniformidade no ambiente interno para Céu 3 no horário de 10h00.

Fonte: as autoras, 2018.

Para o Céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro) o Gráfico 3 destaca a melhor uniformidade, para todos os meses, decorrente de ambientes iluminados por lanternins, demonstrando poucos contrastes da iluminação. Nota-se, porém, que em situações de maior altura solar, apesar do lanternim propiciar proteção contra os raios solares diretos, contribuindo na maior uniformidade, este acaba influenciando na redução da iluminação do ambiente interno. Já em horários de menor altura solar o lanternim

não consegue proteger o ambiente interno da radiação solar direta. Neste caso observa-se que as paredes internas contribuirão para reflexão e distribuição da iluminação natural neste ambiente, conforme exemplifica a Figura 3.

Para os sheds a uniformidade no ambiente interno permanece na faixa entre 0,3 e 0,5 no decorrer do ano, não atingindo os níveis de uniformidade em conformidade com a NBR ISO/CIE 8995-1:2013. Destaca-se, porém, a elevação do nível de uniformidade no mês de junho ocorrida para o shed Oeste, provavelmente decorrente da ausência da radiação solar direta, visto que a simulação foi realizada para o período da manhã. A partir deste resultado é possível afirmar que sheds orientados para Oeste ocasionarão aumento da uniformidade nos períodos da manhã em função da ausência da radiação solar direta. No caso dos sheds orientados para Leste, estes ocasionarão maior uniformidade no horário da tarde. É válido ressaltar na análise da disponibilidade da iluminação no ambiente interno, que devem ser observados ambos os valores, de uniformidade e de iluminância, visto que uma maior uniformidade está vinculada a um menor contraste na iluminação, a qual poderá ser decorrente de "baixos valores de iluminância" em todo o ambiente, dificultando a realização das atividades no ambiente interno [Figura 4].

Já no caso dos dômus, em função do maior acesso da radiação solar direta pelo zênite, constata-se reduzida uniformidade ao longo dos meses, inferior a 0,5, conforme recomendado pela NBR ISO/CIE 8995-1:2013, o que denota ambiente com altos contrastes de iluminação [Figura 5].

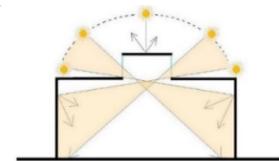
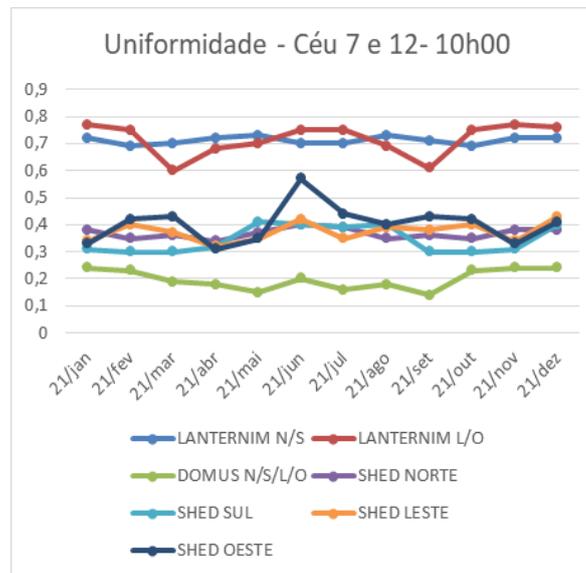


Figura 3- Lanternim.

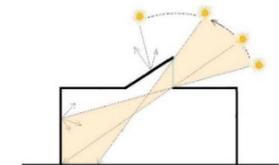


Figura 4- Shed.

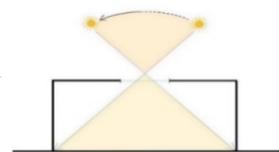


Figura 5- Dômus.

GRÁFICO 3- Uniformidade no ambiente interno para Céu 7 e Céu 12 às 10h00 – Aberturas Zenitais

Fonte: as autoras, 2018.

Para as janelas [Gráfico 4] a uniformidade no ambiente interno permanece baixa no decorrer do ano, não atingindo os níveis de uniformidade recomendados pela NBR ISO/CIE 8995-1:2013. Esta situação era prevista, considerando que a entrada de luz ocorre apenas por uma lateral, com altos valores de iluminâncias próximo da abertura e grande decaimento da iluminância ao longo do ambiente. Destaca-se que no caso da janela Leste, o resultado demonstrou uma reduzida uniformidade entre os meses

de maio e julho, como também já era previsto, em função da alta radiação solar direta e pelo horário da simulação (período da manhã). Também as janelas orientadas para Oeste terão aumento da uniformidade nos períodos da manhã em função da ausência da radiação solar direta. Janelas orientadas para Leste terão uma maior uniformidade prevista para o horário da tarde. Em Janelas Norte a considerável redução da uniformidade entre os meses de abril e agosto ocorre em função da presença da radiação solar direta decorrente da menor altura solar nestes meses, acarretando o acesso direto dos raios solares ao espaço interno. Nos horários de maior altura solar reduz-se o acesso da radiação solar direta, conforme representado nas Figuras 5 e 6.

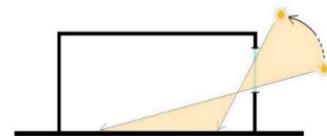
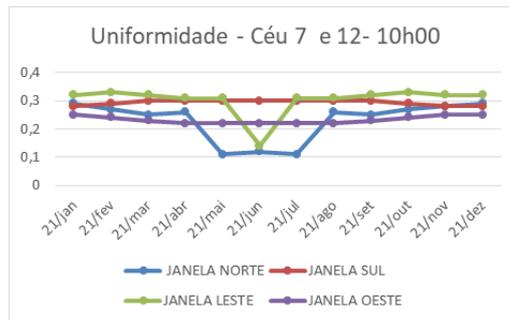


Figura 5- Janela 10h00.



Figura 6- Janela 12h00.

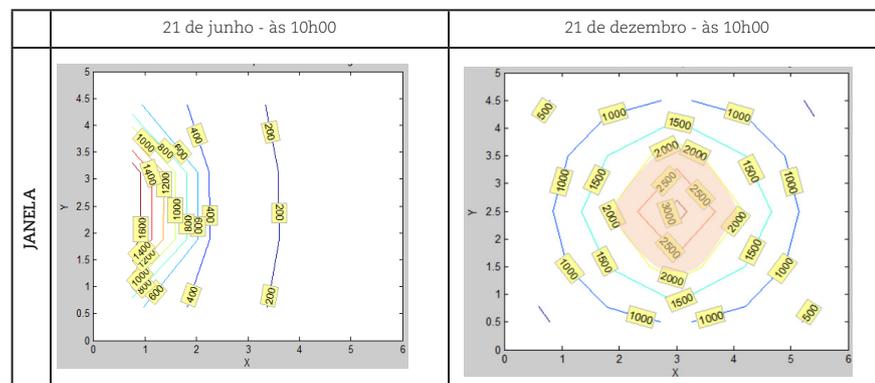
GRÁFICO 4- Uniformidade no ambiente interno para Céu 7 e Céu 12 às 10h00 – Abertura Lateral

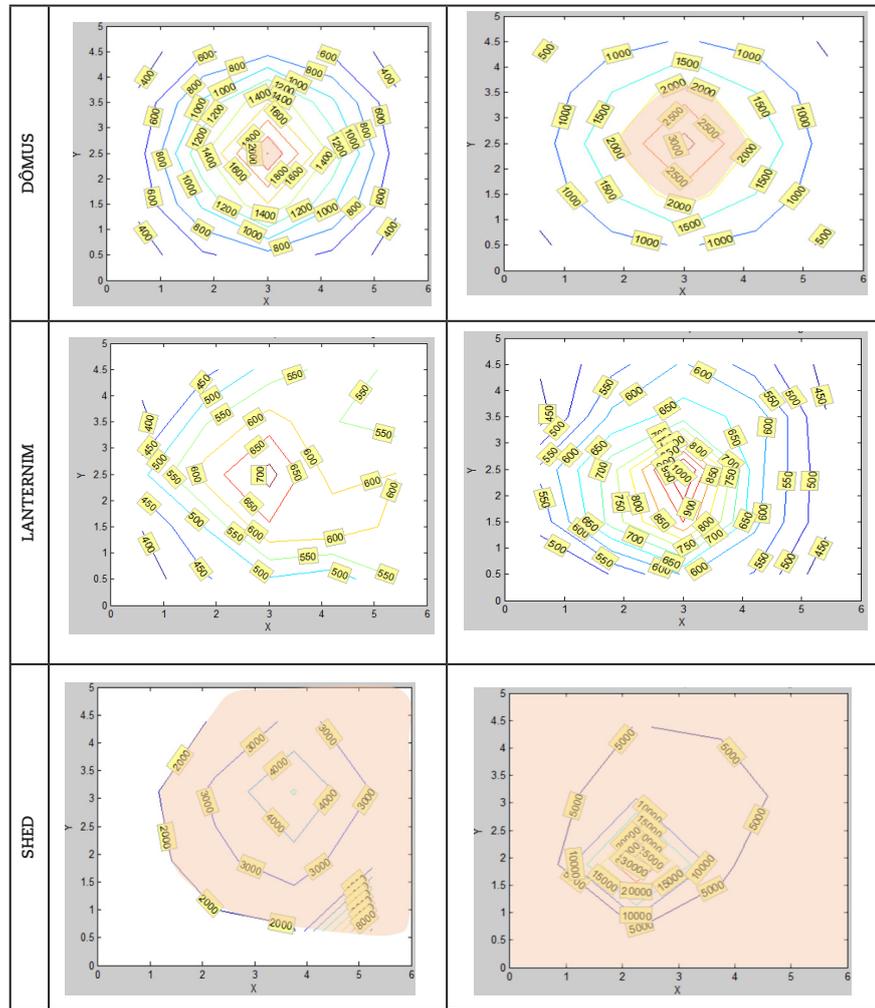
Fonte: as autoras, 2018.

**Curvas IsoLux**

No que se refere às curvas isolux, para o céu 7, orientação Norte, conforme Quadro [2], observa-se que, como já esperado, as janelas acarretam uma concentração da iluminação apenas em uma das laterais.

Dentre as aberturas zenitais, destaca-se a maior eficiência do lanternim, que apresentou valores de iluminância distribuídos de maneira uniforme no ambiente interno, apresentando ausência de grandes contrastes. Vale ressaltar que nas demais aberturas zenitais – shed e dômus –, constatou-se a presença de partes dos compartimentos com iluminação excessiva (acima de 2.000lx), conforme define as manchas apresentadas sobre os gráficos.

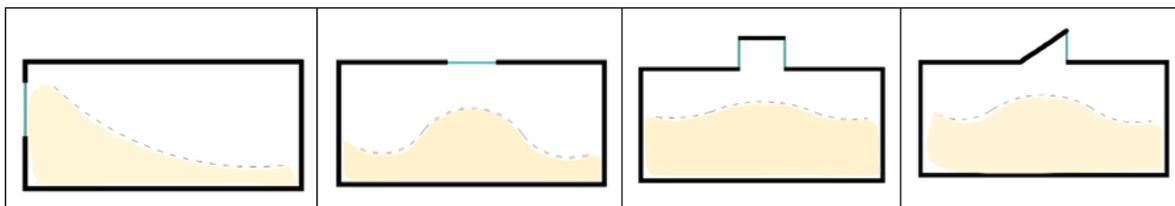




QUADRO 2- Curvas isolux em planta baixa esquemática do ambiente interno, ressaltando-se as áreas com valores acima de 2000 lux

Fonte: as autoras, 2018.

Pode-se afirmar que as aberturas zenitais apresentam iluminação melhor distribuída no interior do compartimento, confirmando as referências adotadas na pesquisa e que descrevem as aberturas zenitais como tipologias que proporcionam iluminação mais uniforme ao ambiente interno. O Quadro 3 exemplifica, de forma esquemática, o comportamento da iluminação natural no compartimento interno influenciada pela variação das tipologias de aberturas.



QUADRO 3- Corte esquemático apresentando o comportamento da luz no ambiente interno influenciada pela variação da tipologia de abertura.

Fonte: as autoras, 2018.

Ressalta-se a eficiência da abertura zenital do tipo lanternim em aumentar a uniformidade da iluminação do ambiente interno, bem como a necessidade da inserção de dispositivos controladores da luminosidade no caso de *dômus* e *shed*, podendo tais dispositivos serem instalados dentro do ambiente – como brises ou plataformas de luz, por exemplo – auxiliando na reflexão da luz no ambiente interno.

## Considerações Finais

O propósito deste estudo foi analisar a disponibilidade de iluminação natural em ambiente de uso comercial, variando-se para isto, os modelos de aberturas zenitais. O estudo baseou-se em metodologia onde foram realizadas simulações computacionais envolvendo três tipologias de aberturas zenitais – lanternim, *dômus* e *shed* –, bem como a análise da iluminação também proveniente de abertura lateral convencional do tipo janela.

Conforme previsto, as aberturas zenitais se mostraram mais eficientes ao proporcionar níveis mais adequados de iluminância e maior uniformidade ao ambiente interno. Como principais conclusões destaca-se a maior capacidade do lanternim em manter a uniformidade de acordo com o preconizado na NBR ISO/CIE 8995-1:2013.

No que se refere às análises dos percentuais das UDIs, as melhores performances se deram para as janelas, lanternim e *shed*. Vale ressaltar que a abertura lateral orientada para Norte, Leste e Oeste, nos céus 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro), apresentaram iluminâncias excessivas (acima de 2.000lx). Em caso de substituição de aberturas laterais por aberturas zenitais em locais com características de Céu 3 (encoberto), esta deve ser do tipo *dômus*; já para locais com características de Céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), estas devem ser lanternim ou *shed*.

No quesito uniformidade, edificações em cidades com característica predominante de céu 3 (encoberto), a adoção de aberturas como lanternim e *shed* contribui para ambientes internos com menor contraste de iluminância ao longo dos meses do ano em relação às demais tipologias de aberturas consideradas nesta pesquisa. Para os céus 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro) será somente com o lanternim que se obtém os melhores resultados de uniformidade, acima do mínimo estabelecido pela NBR ISO/CIE 8995-1:2013. As outras tipologias de aberturas – janela, *dômus* e *shed* – apresentaram reduzidos valores de uniformidade, abaixo do estabelecido pela norma. Vale observar que no caso dos *dômus* e janelas, onde a uniformidade resultante foi baixa, inferior a 0,5, o uso de dispositivos sombreadores podem reduzir a incidência solar direta e contribuir para o aumento da uniformidade no ambiente interno.

No que se refere as curvas isolux, Céu 7 (parcialmente nublado), orientação Norte, destaca-se a ocorrência de iluminação excessiva (acima de 2.000lx) para todas as tipologias de aberturas, exceto lanternim, em algum período do ano. Os resultados da simulação confirmam a eficiência do lanternim quando apresentam valores desejados de iluminância durante o ano e boa distribuição de luz no compartimento.

Para tanto, conforme esperado, conclui-se que a tipologia de abertura lateral não é tão vantajosa quanto se necessita de maior uniformidade de iluminação no ambiente interno. Será com as aberturas zenitais que o ambiente interno apresentará os melhores resultados no quesito uniformidade, garantindo menores contrastes de iluminação. Cabe ressaltar, ainda, que esta pesquisa é exploratória e válida para o ambiente específico aqui estudado. Não foram considerados nesta pesquisa diferentes configurações urbanas, bem como variações das características internas do ambiente como as re-

fletâncias das superfícies internas, proporções do ambiente e tipos variados de vidro. No entanto, os resultados demonstram que as aberturas zenitais são pouco exploradas na arquitetura, embora nas configurações urbanas atuais a abertura lateral nem sempre seja possível ou desejável. Ressalta-se, ainda, que os resultados obtidos são um incentivo para a continuidade dos estudos em soluções mais complexas, como por exemplo, os dutos solares.

## Referências

AL-OBAIDI, Karam M.; MUNAAIM, M. A. C.; ISMAIL, M. A.; RAHMAN, A. M. A. **Designing an integrated daylighting system for deep-plan spaces in Malaysia low-rise buildings**. *Solar Energy* 149 (2017) p. 85-101.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15215-4: Iluminação Natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de Medição**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro, 2013.

BERNABÉ, A. C. A. **A influência da envoltória no consumo de energia em edifícios comerciais artificialmente climatizados na cidade de Vitória-ES**. 130p. Dissertação de Mestrado. UFES. Vitória, 2012.

BRASIL. Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012, **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais**. Rio de Janeiro, 2012. Acesso em: 20 dez. 2017.

CASAGRANDE, B. G. **Cenários climáticos futuros: diagnóstico prospectivo do desempenho termoenergético de edifícios comerciais no Brasil para o século XXI**. 135p. Dissertação de Mestrado. UFES. Vitória, 2013.

CASTANHEIRA, L. M. **Estudo da influência da luz natural na qualidade da iluminação e na eficiência energética**. 2012. 162f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Nova Lisboa, Lisboa, 2012.

CHOW, S.K.H., LI, D.H.W., LEE, E.W.M., LAM, J.C., 2013. **Analysis and prediction of daylighting and energy performance in atrium spaces using daylight-linked lighting controls**. *Appl. Energy* 112, 1016–1024.

FROTA, A. B. **Geometria da insolação**. São Paulo: GEROS, 2004. 289 p. 2004.

KWON, Sook-Youn; LIM, Joe-Hyun. **Multi-objective contexto-adaptive natural lighting system**. *Energy and Buildings* 144 (2017) 61–73. 2017. <<http://www.elsevier.com/locate/enbuild>>.

LAMBERTS, R.; GHISI, R.; RAMOS, G. **Impactos da adequação climática sobre a eficiência energética e o conforto térmico de edifícios de escritórios no Brasil**. 49p. Florianópolis: LABEEE, 2006.

LAMBERTS, Roberto; LIMA, Ana Beatriz; PEREIRA, Fernando R.; VERSAGE, Rogério. **A influência de diferentes aberturas zenitais na distribuição da luz natural e na redução do consumo de energia elétrica**. XI Encontro nacional de Conforto no Ambiente Construído. Búzios – RJ – 2011.

LI, D.H.W., LAM, J.C., 2003a. **An analysis of lighting energy savings and switching frequency for a daylight corridor under various indoor design illuminance levels.** Appl. Energy 76, 363–378.

LI, D.H.W., LAM, J.C., 2003b. **An investigation of daylighting performance and energy saving in a daylight corridor.** Energy Build. 35 (4), 365–373.

LITTLEFAIR, P.J., 1992. **Modeling daylight illuminances in building environmental performance analysis.** J. Illum. Eng. Soc. 21, 25–34.

MICHAEL, Aimilios; HERACLEOUS, Chryso. **Assessment of natural lighting performance and visual comfort of educational architecture in Southern Europe: The case of typical educational school premises in Cyprus.** Energy and Buildings 140. 443-457. 2017. <<http://www.elsevier.com/locate/enbuild>>.

MOORE, Fuller. **Concepts and practice of architectural daylighting.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

SANTOS, L. S. **Requisitos de iluminação natural nos sistemas de avaliação de edifícios e impactos energéticos em edificações comerciais no Brasil.** Dissertação de mestrado. UFES. Vitória, 2012.

TORRES, D.; ADELINO, T. A **influência das dimensões de aberturas na distribuição da luz natural em dormitórios com base nos parâmetros do (RTQ-R): estudo realizado na cidade de Maceió, AL.** In: ENCONTRO NACIONAL DO CONFORO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8, 2013, Brasília. Anais ENCAC-ELACAC, 2013.

VITÓRIA. Lei n°. 4821, de 30 de dezembro de 1998. **Código de Edificações do Município de Vitória.** Vitória, 1998.

**DATA DE SUBMISSÃO DO ARTIGO: 08/08/2018 APROVAÇÃO: 20/11/2018**

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

A responsabilidade da correção normativa e gramatical do texto é de inteira responsabilidade do autor. As opiniões pessoais emitidas pelos autores dos artigos são de sua exclusiva responsabilidade, tendo cabido aos pareceristas julgar o mérito e a qualidade das temáticas abordadas. Todos os artigos possuem imagens cujos direitos de publicidade e veiculação estão sob responsabilidade de gerência do autor, salvo 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 de forma *online* a todos os pesquisadores interessados, os artigos devem ser sempre referenciados adequadamente, de modo a não infringir com a Lei de Direitos Autorais.