XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

DESEMPENHO LUMÍNICO DE JANELAS IDÊNTICAS EM CIDADES DISTINTAS

Karla Cristina de Freitas Jorge Abrahão (1); Ana Júlia Maia Mairink (2); Géssica Mara Rodrigues (3); Ramiro Felix da Silva Junior (4); Bárbara Carolina Soares Fortes (5); Stéphanie Karoline Torres França de Morais (6); Ana Carolina Oliveira Veloso (7); Roberta Vieira Gonçalves de Souza (8)

(1) Mestre, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação do PACPS*, UFMG, kjabrahao@hotmail.com
(2) Arquiteta, UFMG, anajuliamaiamairink@gmail.com
(3) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação do PACPS*, UFMG, gessica_mr@yahoo.com.br
(4) Graduando em Arquitetura e Urbanismo, UFMG, felix.ramiro@outlook.com
(5) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação do PACPS*, UFMG, barbaracsfortes@gmail.com
(6) Arquiteta, UFMG, stephanetorres@hotmail.com
(7) Doutora, Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação do PACPS*, UFMG, acoveloso@gmail.com
(8) Doutora, Professora no Departamento de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo e PACPS*, Laboratório de Conforto Ambiental e de Eficiência Energética (LABCON), UFMG, roberta@arq.ufmg.br
* Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 30130-140, Minas Gerais, Brasil.

RESUMO

Esta pesquisa é motivada pela proposta do Prêmio Projeteee de Arquitetura Bioclimática com recorte no contexto do desempenho de iluminação natural dos sistemas de janelas laterais. A proposta é preencher a lacuna para a situação de replicagem de um modelo de unidade residencial em diferentes cidades. O principal objetivo foi analisar a autonomia de luz natural segundo os critérios do RTQ-R e avaliar o impacto sobre a admissão de luz natural em condições de adaptação de um mesmo modelo para duas cidades a fim de direcionar e auxiliar projetistas. O trabalho analisou a autonomia de luz natural em ambientes de sala e quarto de um modelo residencial unifamiliar de pavimento único, desenvolvido para atender a tipologia do Programa Minha Casa Minha Vida para as cidades de Curitiba e Goiânia, no contexto do prêmio. Determinaram-se quatro sistemas distintos de janelas laterais, incluindo uma prateleira de luz, e três tipologias de beirais resultando em 84 modelos de avaliação. Utilizou-se o programa Daysim 3.1b para a simulação computacional e arquivos climáticos da base INMET. Os resultados mostraram que atender aos parâmetros mínimos reguladores municipais foi suficiente para atendimento ao RTQ-R. Contudo, os sistemas idênticos apresentaram resultados diferentes entre as cidades. Os modelos desenvolvidos com beirais e prateleira de luz na cidade de Curitiba levaram à redução do percentual de autonomia de luz natural enquanto os mesmos modelos para a cidade de Goiânia não apresentaram alteração significativa do desempenho lumínico. As conclusões apresentam análises direcionadas aos projetistas para a concepção de sistemas de iluminação para as duas cidades e advertem sobre o fato de repetir soluções de projeto sem mensurar a efetividade do desempenho lumínico de cada sistema projetado para cada localidade.
Palavras-chave: luz natural, autonomia de luz natural, desempenho lumínico, simulação computacional, RTQ-R.

ABSTRACT

This study is motivated by the proposal of Projeteee Prize for Bioclimatic Architecture focusing on the context of the daylight analysis of lateral window systems. The propose is to fill the gap about a replication of a residential unit model in different cities. The main objective was to analyze the daylight autonomy according to the RTQ-R requirements and to evaluate the impact on daylight admission under conditions of adaptation the same model for two cities in order to direct and assist designers. The work analyzed the daylight autonomy in living and bedroom of a single-story residential unit developed to meet the *Minha Casa Minha Vida* Brazilian program for the cities of Curitiba and Goiânia, in the context of the award. Four distinct side window systems, including a light shelf, and three eaves typologies were determined resulting in 84 evaluation models.

The Daysim 3.1b software was used for the computational simulation and climate files of the INMET database. The results showed that meeting the minimum municipal regulatory parameters was enough to attend the RTQ-R. However, identical residential models showed different results between cities. The models developed with eaves and lightshelf in the city of Curitiba led to the reduction of the percentage of daylight autonomy while the same models for the city of Goiânia did not present significant alteration of performance. The conclusions present analyzes for the design of daylighting systems for the two cities and warn about the procedure of repeating design solutions without measuring the effectiveness of the daylight performance of each system designed for each locality.
Keywords: daylight, daylight autonomy, daylighting performance, daylighting simulation, RTQ-R.

1. INTRODUÇÃO

A admissão de luz natural adequada em ambientes internos oferece no mínimo dois benefícios: primeiramente, uma melhoria da sensação de bem-estar aos usuários, e segundo uma oportunidade para economizar energia pela redução do uso de iluminação artificial (CHPS e NWEEA, 2006). O uso de luz natural no ambiente é adequado quando as condições de conforto e segurança visual são compatíveis à realização de tarefas de forma precisa e sem criar fadiga visual. Incorporar adequadamente os sistemas de luz natural ao projeto arquitetônico desde a etapa inicial é fundamental para que haja conformidade junto às normativas bem como uma integração aos sistemas de iluminação artificial (SANTOS, 2015).

O montante de luz natural aceitável no interior de um ambiente será função do sistema de janela, das características do ambiente, da presença de elementos de sombreamento, da localização do edifício, dentre outros. A altitude e a latitude, bem como parâmetros geográficos do local do edifício, predispõem a influência do clima e da trajetória solar afetando a intensidade da radiação e a duração do dia. Já a orientação geográfica da janela, a presença e/ou ausência de elementos de proteção, a refletividade das superfícies internas do ambiente e a configuração morfológica do entorno são parâmetros capazes de auxiliar no controle de luz natural no ambiente.

Ao longo dos anos, algumas métricas e procedimentos de cálculos para avaliação da iluminação natural foram desenvolvidos com o desafio de aferir o desempenho do projeto de sistemas de iluminação natural. A autonomia anual de luz natural ou *Annual Daylight Autonomy* (DA) é um procedimento de cálculo que quantifica a saturação anual de luz natural em um ambiente, oriundo do parâmetro Daylight Autonomy, que foi originalmente proposto em 1989 pela *Association Suisse des Electriciens* e desenvolvido e melhorado no período 2001-2004 por Christoph Reinhart. O procedimento DA permite avaliar as condições de admissão de luz natural a partir de um valor determinado de iluminância, em percentuais de horas anuais de ocupação, através de uma malha de pontos com sensores em um plano de trabalho horizontal. O cálculo de autonomia de luz natural é um método dinâmico, pois considera a disponibilidade de luz natural hora a hora durante um determinado intervalo de tempo (GURLICH et al, 2018).

No Brasil, a avaliação de luz natural em ambientes residenciais é regulamentada através de três sistemas institucionais: as normativas urbanas municipais; o Regulamento do Nível de Eficiência Energética para Edifícios Residenciais – RTQ-R (INMETRO, 2012); a norma brasileira NBR 15.575-2013: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais (ABNT, 2013). Os regulamentos municipais, de forma geral, estabelecem obrigatoriedade do cumprimento de uma área mínima de vão de janela através da relação entre a razão da área de piso e um fator, como critério de atendimento a salubridade e um bom desempenho de iluminação e ventilação naturais. O RTQ-R é um instrumento institucional para promover a eficiência energética e etiquetar o nível de eficiência em edifícios habitacionais. Foi publicado pelo Governo Federal em 2010 e revisado em 2012 como parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE. A avaliação da iluminação natural participa do RTQ-R através de Bonificação que permite adicionar até 1 ponto à pontuação total do edifício. A iluminação natural pode contribuir com até 0,30 pontos, uma equivalência de 30% dos pontos totais da bonificação ou, visto de outra forma, uma equivalência de 5% de um total de 6 pontos máximos possíveis no programa. Neste regulamento, a efetividade dos sistemas de iluminação natural pode ser avaliada por simulação computacional através do seguinte critério: o edifício deve oferecer o mínimo de 60 lux de iluminância para 70% das horas anuais em pelo menos 70% da área do piso do ambiente de permanência prolongada (INMETRO, 2012). Já a NBR 15.575-2013: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais (ABNT, 2013) estabelece critérios de desempenho dos sistemas de janelas para o cumprimento de níveis mínimos de iluminância de 60 lux para ambientes de permanência prolongada nas habitações. A avaliação da autonomia de luz natural é exigida pela NBR 15.575-2013 para as datas 23 de abril e 23 de outubro para os horários 9:30h e 15:30h (ABNT, 2013).

Os índices mínimos de iluminância interna de 60 lux exigidos pelo regulamento RTQ-R (INMETRO, 2012) e pela norma NBR 15.575-2013 (ABNT, 2013) tratam do desempenho mínimo da admissão de luz

natural nos ambientes residenciais, porém não consideram especificidades de atividades, e possivelmente consideram o acionamento da iluminação artificial como complemento ao atendimento das necessidades de conforto visual (POLI e ZORZI, 2014). De outro lado, Mardaljevic et al (2011) consideram que o acionamento de luz artificial tende a ocorrer em ambientes residenciais quando a iluminância interna do ambiente apresenta-se inferior a 300 lux.

Em 2017 foi publicado o concurso "Prêmio Projeteee de Arquitetura Bioclimática" pelo Ministério do Meio Ambiente para instigar estudantes e profissionais de arquitetura a propor estratégias, soluções e técnicas construtivas para diferentes zonas bioclimáticas, agregando benefícios relativos ao conforto térmico e visual ao projeto que deveria ser elaborado para atender a categoria de interesse social faixa 2 do Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), programa habitacional do Governo Federal. Adicionalmente, o concurso visava a replicagem do modelo proposto para cidades diferentes, critério o qual foi observado uma lacuna na literatura que pudesse dar direção e auxílio aos projetistas.

Sendo assim, esse trabalho se propôs analisar o desempenho da iluminação natural de sistemas de janelas laterais de dois ambientes de um modelo de unidade residencial unifamiliar de pavimento único inserido em duas cidades diferentes. As análises utilizaram o procedimento da Autonomia de Luz Natural para avaliar os requisitos do RTQ-R. O modelo de unidade residencial foi determinado e projetado, considerando-se uma implantação nos terrenos do Prêmio Projeteee (BRASIL, 2017) e replicado para as cidades de Curitiba (PR) e Goiânia (GO).

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é analisar o desempenho da iluminação natural de sistemas idênticos de janelas laterais de um modelo de unidade residencial, replicado em duas cidades diferentes, respectivamente, Curitiba (PR) e Goiânia (GO), através do procedimento da Autonomia de Luz Natural para apresentar direção e auxílio aos projetistas no contexto da replicagem do modelo. O modelo de unidade residencial foi determinado e projetado para a implantação nos terrenos do Prêmio Projeteee (BRASIL, 2017).

3. MÉTODO

3.1. Características climáticas do modelo

O desenvolvimento de um modelo de unidade residencial unifamiliar para a análise desse trabalho partiu da premissa de atender à tipologia do Programa MCMV em terreno urbano conforme as diretrizes urbanísticas (edificações urbanas sustentáveis, econômicas e com baixo impacto ambiental) lançadas para o Prêmio Projeteee localizados em duas cidades: Curitiba (PR) e Goiânia (GO). Nesse sentido, seria intuitivo analisar se um mesmo modelo habitacional poderia ser replicado nas duas cidades e verificar o impacto da adoção de sistemas de janelas idênticos no que concerne à iluminação natural, além da análise das variadas orientações e de tipologias de beirais.

O atual Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZB), definido pela NBR 15.220:2003-Parte 3, propõe a divisão territórial em oito zonas agrupadas por similaridades climáticas, com a finalidade de favorecer a otimização do desempenho térmico das edificações em cada uma das regiões. Curitiba, capital do estado do Paraná, está localizada na região Sul sendo classificada como ZB1. Goiânia, capital do estado de Goiás localizado na região Centro-Oeste, sendo classificada como ZB6. A Tabela 1 apresenta um resumo das caraterísticas das cidades de Curitiba e Goiânia enquanto a Figura 1 apresenta suas cartas solares com a demarcação da trajetória solar, dos horários e de orientações geográficas.

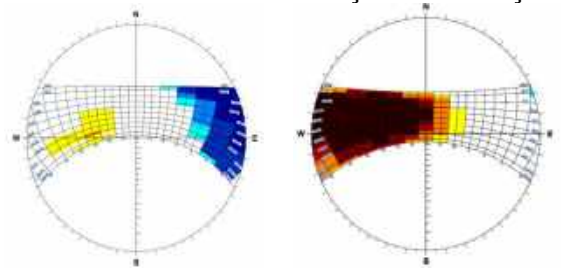
Tabela 1: Região geográfica, Zona Bioclimática, Latitude, Longitude, Altitude, Fuso horário, temperatura média anual (° C), Pluviosidade média anual (mm) e Classificação climática de Koppen-Geiger[6] para as cidades de Curitiba (PR) e Goiânia (GO)

	Curitiba (PR)	**Goiânia (GO)**
Região	**Sul**	**Centro-Oeste**
Zona Bioclimática	ZB1	ZB6
Latitude	-25.43	-15.37
Longitude	-49.27	-48.78
Altitude (m)	924.0	770.0
Fuso horário	-3	-3
Temperatura média anual (° C)	17.1	23.1
Pluviosidade média anual (mm)	1390	1414
Classificação climática de Koppen-Geiger[1]	Cfb	aw

[1] A classificação climática de Koppen-Geiger Cfb refere-se a clima temperado úmido com verão temperado e aw refere-se à clima tropical com estação seca de Inverno (PEEL, FINLAYSON e MACMAHON, 2007).

Fonte: Autores a partir de: ABNT (2003); INMETRO (2012); LABEEE (2017); CLIMATE-DATA (2019).

Na Figura 1 as cores em tons amarelados indicam os meses, horários e orientações com necessidade de introdução de sistemas de proteção solar enquanto os tons avermelhados indicam extrema importância desses sistemas; os tons azuis indicam necessidade de insolação na edificação (PBE-EDIFICA, s/d).



Curitiba Goiânia

Figura 1: Carta Solar de Curitiba (PR) e Goiânia (GO). Fonte: PBE-EDIFICA, s/d.

3.2. Características urbanísticas do modelo

O modelo residencial foi desenvolvido nesse trabalho utilizando-se as dimensões de lote recorrente no edital do Prêmio Projeteee correspondendo à 10,38 m x 30,80 m para Curitiba e 12,0 m x 25,0 m para Goiânia (BRASIL, 2017) (Figura 2). Esse modelo resultou em uma planta retangular com dimensões de 8,40 m x 6,45 m. O projeto modelo desenvolvido é relativamente pequeno em relação à dimensão longitudinal dos terrenos resultando em inúmeras maneiras de posicionar a edificação nesse eixo. Logo foram desconsiderados os muros divisórios e elementos construídos dos terrenos vizinhos na realização das simulações computacionais.

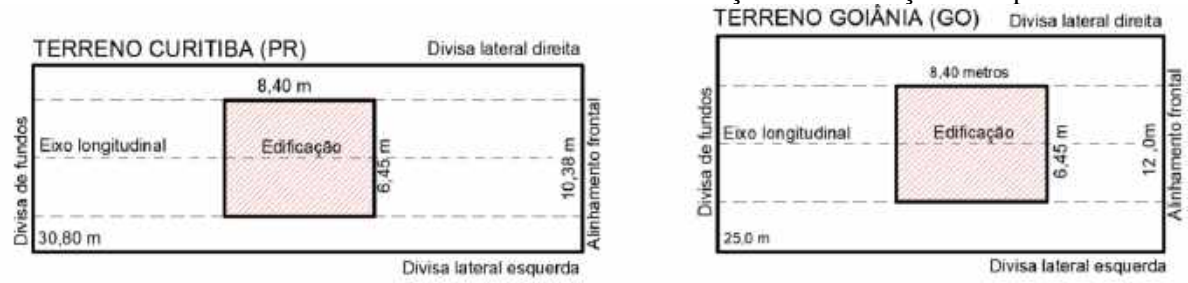


Figura 2: Implantação típica do modelo do projeto no terreno de Curitiba e Goiânia, respectivamente.

3.3. Ambientes analisados e características projetuais da edificação modelo

Os ambientes analisados foram sala e quarto, caracterizados como ambientes de permanência prolongada. As dimensões da sala correspondem a 4,25 m x 2,80 m, resultando em 11,90 m². Para a análise do quarto, escolheu-se aquele com menor dimensão, visto que, os direcionamentos projetuais conclusivos desse trabalho podem ser aplicados ao quarto de maior dimensão, desde que apresente mesma orientação do sistema de janela. Para o quarto analisado determinaram-se as dimensões 3,10 m x 2,55 m, resultando em 7,91 m². Ambos ambientes foram determinados com pé-direito de 2,80 metros (Figura 3).



Figura 3: Projeto modelo da unidade residencial com destaque em hachura dos ambientes analisados, sala e quarto.

Determinou-se janelas idênticas para as cidades de Curitiba (PR) e Goiânia (GO) através da dimensão mínima atendendo condições do programa MCMV e aos códigos de obras dos municípios que estabelecem para seus edifícios habitacionais uma área mínima para vão de ventilação e iluminação de compartimentos de permanência prolongada, abertos diretamente para o exterior, conforme apresenta a Tabela 2 (PMC, 1953; PMG, 1975). As janelas foram centralizadas na dimensão da parede com áreas correspondentes à área livre de passagem de luz natural, descontadas as áreas de esquadrias. Foram determinadas para a janela da sala as dimensões: largura de 1,70 m, altura de 1,20 m e peitoril de 1,00 m, correspondendo a 2,04 m² de janela e equivalente à 17,14% da área do piso, ou seja, pouco maior que a fração de 1/6 (16,66%) da área do piso. Para a janela do quarto foram determinadas as dimensões: largura de 1,10 m, altura de 1,20 m e peitoril de 1,00 m, correspondendo 1,32 m² de janela e equivalente à 16,70% da área do piso (Tabela 3).

Tabela 2: Área mínima de vãos de ventilação e iluminação natural para dormitórios e salas nos municípios de Curitiba e Goiânia.

	Curitiba (PR)	**Goiânia (GO)**
Legislação Municipal	Lei 699/1953	Lei 5062/1975
Iluminação de Salas	1/8 da área do piso	1/8 da área do piso
Iluminação de Quartos	1/6 da área do piso	1/8 da área do piso

Fonte: Autores a partir de: PMC (1953); PMG (1975)

3.3.1 Sistema de iluminação natural e orientação

Para os sistemas de janelas foram considerados quatro modelos, respectivamente, J1, J2 J3 e J4 com características apresentadas na Tabela 3, sendo desconsideradas as áreas de esquadrias e quaisquer elementos de controle instalados internamente no ambiente como cortinas e persianas.

Tabela 3: Tabela de esquadrias: Ambiente, Janela, Largura, Altura, Peitoril, Verga e Sistema

	J1	**J2**	**J3**	**J4**
Ambiente	Sala	Sala	Quarto	Quarto
Largura (cm)	170	170	110	110
Altura (cm)	120	120	120	120
Peitoril (cm)	100	100	100	100
Verga (cm)	60	60	60	60
Sistema	2 folhas de correr	2 folhas de correr	2 folhas de correr	2 folhas de correr
Vedação	Vidro(*)	Vidro (*)	Vidro (*)	Vidro e veneziana (**)
Prateleira de luz	Não	Sim	Não	Não

Nota: * vidro incolor 4 mm; ** veneziana metálica

A Figura 4 apresenta, através de cortes esquemáticos, as características definidas das versões de janelas e beirais analisadas no projeto modelo. A janela J2 foi determinada a partir da variação da janela J1 localizada na sala, inserindo-se um dispositivo de prateleira de luz. A prateleira foi determinada por uma superfície horizontal paralela ao peitoril da janela à 190 cm do piso e projetante 40 cm internamente e externamente, permitindo a entrada de luz de forma refletida na parte superior da prateleira além de reter a incidência de luz solar direta através do sombreamento pela parte inferior. As prateleiras de luz se apresentam como possibilidade de direcionamento da luz natural para a homogeneização da luz disponível no interior do ambiente, desta maneira, leva a luz natural para as partes mais distantes das janelas (BERARDI e ANARAKI, 2018; VILLALBA *et al*., 2018; TABADKAN *et al*., 2018). No entanto, esse sistema necessita estar posicionado acima do nível dos olhos dos usuários para evitar ofuscamento (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). A janela J4 foi determinada como uma versão da janela J3 tendo a introdução de uma folha de correr em veneziana cega.

Em relação aos sistemas externos de proteção do tipo beiral foram considerados três modelos: sem beiral; com beiral de comprimento 40 cm; com beiral de comprimento 80 cm, e identificados respectivamente por B0, B40 e B80. Outros elementos externos acoplados às fachadas como toldos e brises foram desconsiderados. As simulações foram desenvolvidas nas orientações Norte, Leste e Oeste para a cidade de Curitiba, e Norte, Sul, Leste e Oeste para a cidade de Goiânia. Logo, foram determinados 36 modelos para a cidade de Curitiba e 48 modelos para a cidade de Goiânia, totalizando 84 modelos para avaliação da admissão da luz natural (Tabela 4).

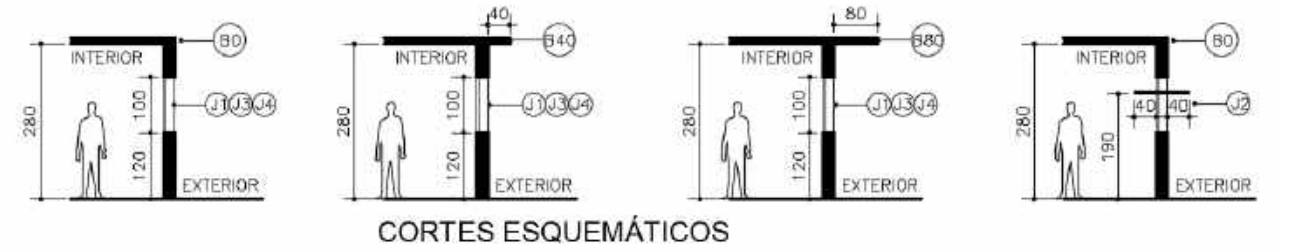


Figura 4: Corte esquemático das versões de janelas e beirais determinados para análise no modelo do projeto

3.3.2 Nomenclatura dos modelos

No sentido de facilitar a compreensão, a nomenclatura dos modelos foi determinada a partir do seguinte formato: "Ambiente_Janela_Orientação_Beiral". Exemplificando: Modelo "Q_J1_N_B40" é um modelo do Quarto com janela J1 orientada para Norte e Beiral de 40 cm; Modelo "S_J2_S_B0" é um modelo da Sala com janela J2 orientada para o Sul e Beiral 0 cm (sem beiral).

Tabela 4: Modelo das janelas e beirais, e orientação geográfica para os ambientes analisados das cidades de Curitiba e de Goiânia.

Curitiba	J	Orientação	Beirais	Análises	Goiânia	J	Orientação	Beirais	Análises
Sala	J1	N, L, O	B0, B40, B80	9	Sala	J1	N, S, L, O	B0, B40, B80	12
Sala	J2	N, L, O	B0, B40, B80	9	Sala	J2	N, S, L, O	B0, B40, B80	12
Quarto	J3	N, L, O	B0, B40, B80	9	Quarto	J3	N, S, L, O	B0, B40, B80	12
Quarto	J4	N, L, O	B0, B40, B80	9	Quarto	J4	N, S, L, O	B0, B40, B80	12
Total de simulações - Curitiba				**36**	**Total de simulações – Goiânia**				**48**

3.4. Modelagem, Software de simulação e dados de entrada

A modelagem foi realizada no programa SketchUp v. 8.0. Utilizou-se o programa de simulação computacional Daysim 3.1b para a verificação do desempenho da iluminação natural de forma dinâmica para o período de um ano. Em relação à seleção do arquivo climático seria recomendável a utilização dos arquivos SWERA[2] por conter pouco desvio em relação à radiação solar e apresentar dados detalhados de nebulosidade, opacidade do céu, visibilidade e altura de céu (FONSECA, FERNANDES e PEREIRA, 2017). No entanto, devido à inexistência do arquivo SWERA para a cidade de Goiânia, utilizou-se o arquivo climático de 8.760 horas e de mesma base, INMET, para o processamento das simulações para as duas cidades: Curitiba e Goiânia disponíveis no sítio eletrônico do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE, 2017), apesar desses arquivos adotarem valores constantes para nebulosidade, opacidade do céu, visibilidade e altura de céu. Os dados de entrada no programa Daysim 3.1b referentes à Latitude, Longitude, Fuso horário e Altitude, apresentados na Tabela 1, foram retirados da primeira linha dos arquivos climáticos utilizados referente às cidades de Curitiba e Goiânia (LABEEE, 2017).

No programa SketchUp v. 8.0 foi determinada uma malha de pontos com sensores espaçados entre si em 0,3 metros e localizada a 0,75 m do piso. Para a sala foi gerada uma malha com 126 pontos e com 80 pontos para o quarto. De acordo com Capeluto (2003), adotaram-se os coeficientes de refletância de 20% para piso, 80% para o teto e para as faces da prateleira de luz, e 65% para paredes. Para o coeficiente de refletância das superfícies dos beirais, definiu-se o valor de 35%. Adotou-se o coeficiente de transmissividade dos vidros de 85%. Para o procedimento das simulações, adotou-se o horário de avaliação referente ao intervalo de 6:00h – 18:00h, conforme Guedes e Souza (2012).

3.5. Requisitos de análise conforme RTQ-R

A análise do desempenho lumínico, conforme os requisitos do RTQ-R, foi desenvolvida para todos os modelos apresentados na Tabela 4. O processamento da simulação dos modelos através do programa Daysim3.1b gerou resultados de avaliação da Autonomia de Luz Natural sobre a malha de sensores. A análise da abordagem do RTQ-R sobre os resultados foi feita através da leitura em cada ponto de cada modelo, do percentual de horas de atendimento de 60 lux de iluminância para o intervalo de hora determinado. Foram contabilizados os números de pontos de cada ambiente que apresentou resultado igual ou superior a 70% das horas anuais. Dessa forma, utilizou-se da metodologia de Guidi et al. (2017) e considerou-se que cada ponto da malha de sensores equivaleria a uma porcentagem da área do ambiente. Sendo assim, para a sala, o atendimento ao requisito mínimo do RTQ-R de 60 lux em 70% das horas anuais em 70% da área do piso corresponde ao atendimento para 56 pontos dos 80 pontos da malha. Para o quarto, o requisito do RTQ-R corresponde ao atendimento da métrica em 91 pontos dos 130 pontos da malha.

3.6. Análise comparativa entre os modelos J1 e J2 e beirais B0 e B80 para 300 lux

Uma segunda análise foi feita para os resultados gerados pelo programa através da leitura em cada ponto, de cada modelo, do percentual de horas de atendimento a 300 lux de iluminância conforme recomendação de Mardaljevic et al. (2011) e da LM-83 (IESNA, 2012) e para o intervalo de hora determinado, contabilizados o número de pontos de cada ambiente que apresentou resultado igual ou superior a 70% das horas anuais a partir da metodologia de Guidi et at. (2017), logo considerando uma equivalência entre a quantidade de pontos da malha de sensores e a porcentagem da área do ambiente. Nessa análise foi abordada simultaneamente a ausência (beiral B0) e a presença do beiral de 80 cm (B80) apenas para os sistemas de janela J1 e J2 que correspondem ao ambiente de sala.

[2] SWERA - Solar and Wind Energy Resource Assessment

4. RESULTADOS

4.1. Análise segundo o RTQ-R

Os resultados de autonomia de Luz Natural para os sistemas de janelas da sala, J1 e J2 e das janelas J3 e J4 do quarto atenderam ao critério do RTQ-R em todas as orientações, tipologias de janelas e de beirais para ambas as cidades, Curitiba e Goiânia. Os ambientes apresentaram 100% da área da superfície horizontal com iluminância de 60 lux em percentual de horas anuais superior à 70%, mesmo com a presença de beirais e da folha de veneziana da janela J4, que limita em 50% a entrada de luz natural em relação à janela J3. A Figura 5 apresenta um exemplo de resultado de saída do programa Daysim 3.1b exportado para o programa SketchUp v. 8.0 e correspondente à simulação do modelo Q_J4_S_B80 da cidade de Goiânia, com os valores superiores a 70% para os resultados percentuais de horas anuais de autonomia de luz natural de 60 lux, critérios do RTQ-R.

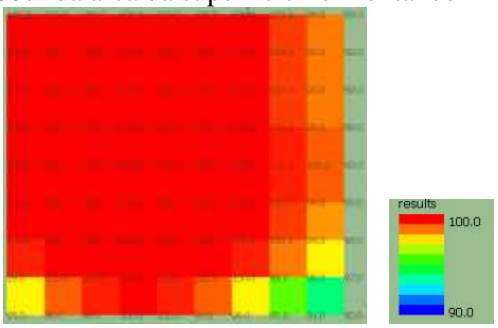


Figura 5: Resultado da simulação de autonomia de luz natural para 60 lux para o modelo Q_J4_S_B80 da cidade de Goiânia

4.2. Análise da Autonomia de Luz Natural para 300 lux de iluminância

A análise da autonomia de luz natural para 300 lux mostrou-se complementar, uma vez que os requisitos para 60 lux foram atendidos em todos os modelos das duas cidades, e assim possibilitando extrair resultados mais específicos para a variação nos sistemas de janelas J1 e J2 nos modelos sem beiral (B0) e com beiral de 80 cm (B80) para todas as orientações.

4.2.1 Análise comparativa das janelas J1 com Beiral B0 e B80

Um resultado comum para as cidades de Curitiba e Goiânia foi que as áreas mais profundas da sala e aquelas laterais e contíguas à parede da janela melhoram o percentual anual de horas de atendimento na situação sem beiral (beiral B0). Na cidade de Curitiba, a introdução do beiral de 80 cm reduziu a autonomia de luz natural na sala nas orientações Leste e Oeste em respetivamente 34% e 9%. Contrariamente, houve ampliação de 17% com a introdução do beiral na orientação Norte (Figura 6). Ou seja, a introdução do beiral em Curitiba na orientação Leste, nas condições do modelo, reduziu a autonomia de luz, diminuindo a efetividade do sistema de janela. Já na orientação Norte, estima-se que a melhoria da autonomia de luz natural com a introdução do beiral se deu através da contribuição por refletividade da superfície inferior do beiral.

A autonomia de luz natural foi superior a 70% da área do piso em Goiânia em todas as orientações nos modelos sem beiral (B0) e com beiral B80. Nessa análise, apesar da introdução do beiral não ter implicado em redução da efetividade do sistema da janela, estima-se que esse elemento poderia contribuir para a redução das taxas anuais de exposição de luz solar direta e consequentemente reduzir a carga térmica admitida no ambiente nessa cidade de clima quente.

4.2.2 Análise comparativa das janelas J2 (com prateleira de luz) com e sem beiral:

Na cidade de Curitiba, os modelos J2_B0 (J2 sem beiral) apresentaram uma média de 28% de autonomia de luz natural. Com a introdução do beiral de 80 cm nessa janela, ou seja, com o modelo J2_B80 os percentuais médios de autonomia de luz natural apresentaram reduções insignificantes nas orientações Norte e Oeste, respectivamente 8% e 10% e se mantiveram inalterados para a orientação Leste (Figura 7). Os resultados indicaram que para o modelo J2 a introdução de beiral não implicou em perda significativa da efetividade do sistema de prateleira de luz.

Os resultados indicaram que para o modelo J2 a introdução de beiral não implicou em perda significativa da efetividade do sistema de prateleira de luz.

Em Goiânia, apesar da autonomia de luz natural ter sido superior a 70% para as tipologias J2_B0 e J2_B80 em todas as orientações, com a introdução do beiral houve uma redução da uniformidade e do percentual de autonomia de luz natural nas áreas mais profundas do ambiente.

4.2.3 Análise comparativa das janelas J1 e J2 com Beiral B0

Na cidade de Curitiba, o modelo J1_B0 (sem beiral) apresentou uma média de 43% de autonomia de luz natural média para 300 lux enquanto o modelo J2_B0 apresentou a média de 28% (Figura 8). Os resultados mostraram que a introdução da prateleira de luz em modelos sem beiral obstruiu em aproximadamente 15% a admissão

de luz natural, resultado condizente com as análises de inserção de prateleiras de luz de Michel e Laranja (2017).

4.2.4 Análise comparativa das janelas J1 e J2 com Beiral B80

A autonomia de luz natural na cidade de Curitiba para os modelos de janela J1_B80 e J2_B80 mostraram uma redução média de aproximadamente 36% na autonomia de luz natural com a introdução da prateleira de luz (modelo J2), observando-se ainda que em modelos com beirais há um melhor desempenho luminoso dos sistemas de janelas sem prateleira de luz (Figura 9).

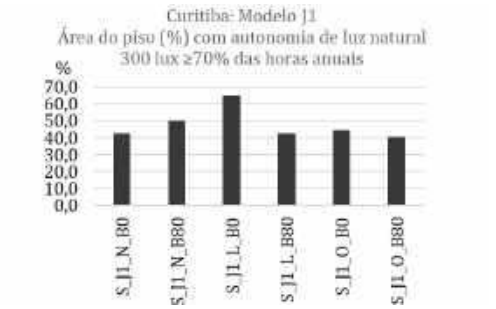


Figura 6: Percentual de área do piso com autonomia de luz natural (300 lux) para a Cidade de Curitiba para os modelos J1_B0 e J1_B80 nas orientações Norte, Leste e Oeste.



Figura 7: Percentual de área do piso com autonomia de luz natural (300 lux) para a Cidade de Curitiba para os modelos J2_B0 e J2_B80 nas orientações Norte, Leste e Oeste.

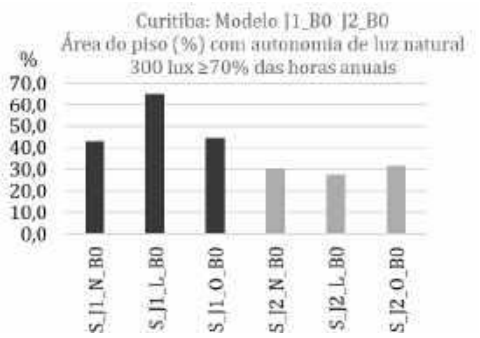


Figura 8: Percentual de área do piso com autonomia de luz natural (300 lux) para a Cidade de Curitiba para os modelos J1_B0 e J2_B0 nas orientações Norte, Leste e Oeste.

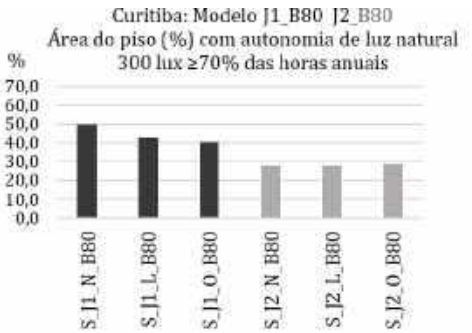


Figura 9: Percentual de área do piso com autonomia de luz natural (300 lux) para a Cidade de Curitiba para os modelos J1_B80 e J2_B80 nas orientações Norte, Leste e Oeste.

4.3. Resultados comparativos entre Curitiba e Goiânia

Nessa etapa foram avaliados os sistemas de janelas J1 e J2 para as diversas orientações com as variações de beiral B0 (sem beiral) e B80 (beiral de 80 cm). Observou-se que a autonomia de luz natural para sistemas idênticos em mesma orientação apresentou resultados diferenciados para as duas cidades, apesar de ambos modelos atender ao critério do RTQ-R para um nível de iluminância de 60 lux (Figura 10). Os resultados mostraram melhor desempenho dos sistemas projetados para a cidade de Goiânia, que apresentaram 100% de atendimento da área da superfície para o tempo igual ou superior à 73% das horas anuais. Para a cidade de Curitiba, nenhum dos modelos em nenhuma das orientações alcançou a autonomia avaliada, indicando que os modelos idênticos dos sistemas de janelas implementados em cidades diferentes não apresentam os mesmos resultados de desempenho lumínico, reforçando as considerações de Poli e Zorzi (2014) uma vez que diferentes regiões e/ou cidades apresentam distintas disponibilidades de luz natural.

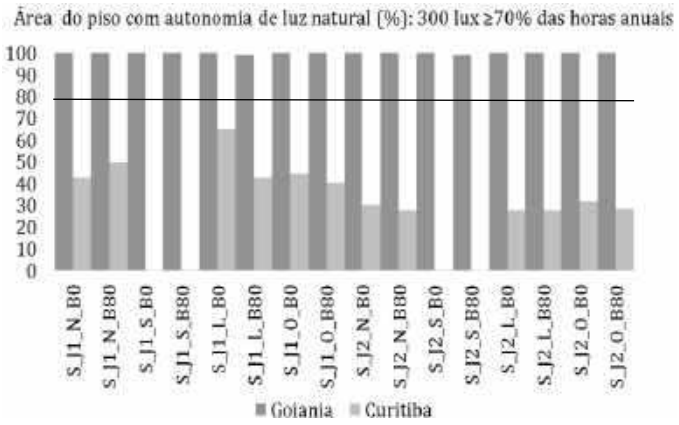


Figura 10: Percentual da área de piso da sala com autonomia de luz natural para 300 lux em tempo igual ou superior à 70% das horas anuais entre salas com janelas J1 e J2, beirais B0 e B80, para Norte, Leste e Oeste, para Goiânia e Curitiba, e para Sul para Goiânia.

Nota: Conforme explica a seção 3.3.1 não foi analisada a autonomia de luz natural para a orientação Sul na cidade de Curitiba

5. CONCLUSÕES

Nesse trabalho foram desenvolvidas 84 simulações computacionais de desempenho lumínico com variáveis de beirais, tipos de janelas e orientações para modelos residenciais idênticos analisados para duas cidades: Curitiba (PR) ZB1 e Goiânia (GO) ZB6, no contexto do Prêmio Projeteee de Arquitetura Bioclimática. A principal conclusão do trabalho foi de que projetar janelas idênticas e replicar o modelo do projeto para cidades distintas resulta em diferentes níveis de autonomia de luz natural, prevendo impactos diferenciados no conforto dos usuários. Nessa situação, os sistemas idênticos levam ao ambiente, ora uma excessiva, ou ora uma restrita admissão de luz natural. A replicagem dos sistemas de janelas idênticos para cidades distintas deve considerar efeitos diversos das condições do céu em cada orientação de cada cidade, bem como do próprio modelo, como a presença ou ausência de beirais. Adicionalmente, os modelos idênticos poderiam dispor de recursos nos sistemas de janelas, tal como a presença ou a ausência de prateleiras de luz para melhorar o desempenho lumínico no ambiente. Considera-se relevante a realização das análises para avaliação do desempenho lumínico dos sistemas de janelas nesses casos de replicagem para cidades distintas para assegurar que haja correspondência e coerência do desempenho requerido ao desempenho resultante. Nesse sentido, adverte-se ao fato de repetir soluções de projeto sem mensurar a efetividade do desempenho de cada sistema projetado para cada localidade.

Na primeira análise foi verificado que atender aos regulamentos municipais para a determinação de área mínima de janela levou ao cumprimento dos critérios do RTQ-R. De forma inesperada, esse atendimento também foi alcançado por um dos sistemas de janela, determinado nesse estudo, que apresentou obstrução de 50% pela presença de veneziana.

Na segunda análise, ampliando-se o critério do nível de iluminância para 300 lux, houveram diferenças relevantes nos resultados, devendo ser levado em consideração que para o desenvolvimento de projetos os sistemas de iluminação lateral devem ser desenvolvidos e diferenciados para cada uma das cidades: Curitiba e Goiânia. Na cidade de Curitiba, as janelas orientadas para Leste em modelos sem beirais apresentam maior autonomia de luz natural em relação aos modelos com beiral. Na orientação Norte, a introdução de beiral apresentou melhoria de 17% do desempenho lumínico. A introdução de sistemas de prateleiras de luz apresentou redução de 15% na admissão de luz natural, e redução de 36% quando associadas à presença de beirais, considerando-se relevante a realização da modelagem da análise de autonomia de luz quando da utilização desse elemento para essa cidade. Apesar da prateleira de luz ter contribuído com a ampliação da uniformidade da luz natural no ambiente, também atuou como obstrutora da luz natural em todas as orientações. Na cidade de Goiânia houve facilidade de atendimento da autonomia de luz natural em todos os sistemas de janela o que pode representar índices elevados de exposição anual de luz solar direta com efeitos sobre o ganho de carga térmica no ambiente. Nesse sentido, apresentar sistemas de iluminação natural com soluções de proteção solar poderia ser benéfico em uma análise térmica sem prejudicar a iluminação natural.

Como limitação dos resultados, acredita-se que o desempenho das janelas com prateleira de luz pode ter sido potencialmente reduzido pelo fato da utilização do arquivo climático dos arquivos INMET, que adota valores constantes para nebulosidade, opacidade do céu, visibilidade e altura de céu. Compreender as variáveis dos arquivos climáticos antes da seleção dos mesmos é relevante para demarcar as limitações de resultados de simulação de admissão de luz natural.

Os resultados do trabalho limitam-se às análises dos modelos propostos, que não incluíram análise da interferência do entorno imediato. Sugere-se que os sistemas aqui analisados sejam simulados em outras cidades a fim de refinar o impacto da repetição de modelos em diferentes localidades. Recomenda-se adicionalmente, a simulação para análise da exposição anual à insolação, complementar à autonomia de luz natural para que se possa dimensionar de maneira mais adequada o efeito das prateleiras de luz sobre a qualidade da iluminação natural nos ambientes estudados, especialmente em climas quentes como o de Goiânia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas e Norma Brasileira (ABNT). **NBR 15.220:2003** - Parte 3 – Desempenho Térmico de Edificações. Zoneamento Bioclimático Brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 15575-1:** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 60 p.

BERARDI, U.; ANARAKI, H.K. **The benefits of light shelves over the daylight illuminance in office buildings in Toronto**. Indoor and Built Environmental, vol.27 (2), 2018. https://doi.org/10.1177/1420326X16673413

BRASIL – Ministério do Meio Ambiente. **Prêmio Projeteee Regulamento**. Brasília, DF. 11p. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/1o-premio-projeteee-de-arquitetura-bioclimatica-e-lancado-no-gbc-em-sao-paulo/>. Acesso em: 05 nov. 2017.

CAPELUTO, I. Guedi. **The impact of urban layout and external obstructions on the potencial use of daylighting.** In: The 20th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Santiago, Chile, 2003.

CLIMATEDATA. **Clima.** Disponível em: < https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil-114/>. Acesso em: 05 nov. 2017.

Collaborative for High Performance School (CHPS); The Northwest Energy Efficiency Alliance (NWEEA). **Daylighting metric development using daylight autonomy calculations in the sensor placement optimization tool. Development report and case studies**. Colorado, EUA, 2006.

FONSECA, R.W; FERNANDES, F.F.A; PEREIRA, F.O.R. **Zoneamento bioclimático referente à iluminação natural para o território brasileiro.** In: XIV ENCAC / XV ENLACAC, 2017, Balneário Camboriu. Anais... Balneário Camboriu: 2017. p.1889-1898.

GOIASNOAR**. Dispõe sobre dados geográficos de Goiânia.** Disponível em: <http://www.apolo11.com/latlon.php?uf=go& cityid=9>. Acesso em: 13 nov. 2017.

GUEDES, A. F. ; SOUZA, R. V. G. **Análise da iluminação natural a partir do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Residenciais**. In: ENTAC 2012 - XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012, Juiz de Fora. ENTAC: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo: Tec Art Editora Ltda., 2012. v. 1. p. 1-10.

GUIDI, C.R; ABRAHÃO, K.C.F.J; VELOSO, A.C.O; SOUZA, R.V.G.S. **Influência da topografia na admissão da luz natural em edifícios residenciais: Estudo de caso em Belo Horizonte**. In: XIV ENCAC / XV ENLACAC, 2017, Balneário Camboriu. Anais… Balneário Camboriu: 2017. p. 1770-1779.

GURLICH, D.; REBER, A.; BIESINGER, A; EICKER, U. **Daylight performance of a translucent textile membrane roof with thermal insulation**. Building, 2018, 8(9), 118. Disponível em: < https://doi.org/10.3390/buildings8090118>. Acesso em: 10 jul.2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade – RTQ para o nível de eficiência energética de edificações residenciais (RTQ-R**). Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/regulamentos>. Acesso em: 21 ago. 2016.

IESNA, Illuminating Engineering Society of North America. **IES LM 83-12: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE).** New York, 2012.

LABEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Arquivos climáticos**. Disponível em:< http://www.labeee.ufsc.br/downloads>. Acesso em: set. 2017.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na Arquitetura**. 3. ed. Florianópolis: ELETROBRAS/PROCEL, 2014

MARDALJEVIC, J; ANDERSEN, M; ROY, N.; CHRISTOFFERSEN, J. **Daylighting metrics for residential buildings.** In: 27th Session of the Comission Internationale de l'Eclairage CIE, Sun City, South Africa, 2011.

MICHEL, M.V.; LARANJA, A.C. **Verificação do desempenho da prateleira de luz em escritório de cidade de baixa latitude**. In: XIV ENCAC / XV ENLACAC, 2017, Balneário Camboriu. Anais... Balneário Camboriu: 2017. p.1790-1799

PBE-EDIFICA. PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM. **Dispõe sobre a carta solar de Curitiba e Goiânia**. s/d. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/Anexo1RTQ-R.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2017

PEEL, M.C., FINLAYSON, T.A., MACMAHON, T.A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union, 2007,11 (5), pp.1633-1644. hal-00305098.

POLI, C.M.B; ZORZI, L.M. **Desempenho lumínico segundo NBR 15575-1:2013, Danish Building Regulations 2010 e European Standart prEN 15251**. Diállogos & Saberes, Mandaguari, v.10, n.1, p.95-113, 2014.

Prefeitura Municipal de Curitiba (PMC). **Dispõe sobre dados geográficos de Curitiba**. **2017a**.Disponível em: <http://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/perfil-da-cidade-de-curitiba/174>. Acesso em: 13 nov. 2017.

_____. Prefeitura Municipal de Curitiba. **Lei Municipal No 699/1953: Código de Posturas e Obras, Seção I: Iluminação e Ventilação. Curitiba, 1953.** Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/pr/c/curitiba/lei-ordinaria/1953>. Acesso em: 01 dez. 2017.

Prefeitura Municipal de Goiânia (PMG). **Lei Municipal 5.062/1975: Código de Edificações para o município de Goiânia, Capítulo IV – Ventilação e Iluminação, Seção III – Dimensões das Aberturas. Goiânia, 1975**. Disponível em: < www.goiania.go.gov.br/.../Código%20de%20Edificações%20-%20Lei%205062.doc>. Acesso em: 01 dez. 2017.

SANTOS, António José. **A Função da Luz Natural no Edificado**. Ingenium, Lisboa, n. 147, p.44-45, Maio/Junho 2015. Bimestral. Disponível em: <file:///C:/Users/Binha/SkyDrive/Documentos/Mestrado/UFMG/Análise lumínica e térmica em projeto arquitetônico/Trabalho Final/ingenium147_portal_188723457655b63f54b2d48-pdf.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2017.

TABADKANI, A.; BANIHASHEMI, S.; HOSSEINI, M.R. **Daylighting and visual comfort of oriental sun responsive skins: a parametric analysis**. Building Simulation, vol. 11(4), 2018. HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S12273-018-0433-0.

VILLALBA, A.; MONTEOLIVA, J.M.; RODRIGUEZ, R. **A dynamic performance analysis of passive sunlight control strategies in a neonatal intensive care unit**. Lighting Research and Technology, vol.50 (2), 2018. https://doi.org/10.1177/1477153516656225

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com os apoios: da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 Bolsa 2016/709078; do CNPq por bolsas de produtividade em desenvolvimento tecnológico e de pós-doutorado; da FAPEMIG pelo Programa Bolsa a Iniciação Científica e Tecnológica Institucional (PIBIC).