

Inserção da iluminação natural na avaliação de desempenho energético de edificações comerciais, de serviços e públicas

Géssica Mara Rodrigues

Mestranda do Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais; Graduada Arquiteta e Urbanista (UFMG).
gessica_mr@yahoo.com.br

Cláudia Rocha Guidi

Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais; Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável (UFMG); Graduada Arquiteta e Urbanista (UFMG).
claudiarguidi@gmail.com

Helder Gattoni Medeiros

Mestrando do Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais; Graduado Engenheiro Mecânico (UFMG).
heldergattoni@gmail.com

Charles Rodrigues Andrade Filho

Graduando do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Minas Gerais.
charlesr.andradefilho@gmail.com

Ana Carolina Oliveira Veloso

Pós-doutoranda do Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais; Doutora em Engenharia Mecânica (UFMG); Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável (UFMG); Graduada Arquiteta e Urbanista (UFMG).
acoveloso@gmail.com

Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Professora na Universidade Federal de Minas Gerais; Doutora em Engenharia Civil (UFSC).
roberta@arq.ufmg.br

Eixo: Tecnologias e sustentabilidade na produção da cidade sul-americana contemporânea

1. INTRODUÇÃO

Em 2018, as edificações consumiram 42,8% da energia elétrica gerada no país segundo o Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2018) fazendo com que a conservação e o uso racional de energia elétrica em edifícios sejam de grande relevância. Visto que uma parcela desse consumo de energia elétrica se dá pelo uso de iluminação artificial, o uso da iluminação natural pode contribuir com a redução do consumo de energia elétrica das edificações e a sua integração com luz artificial vem ganhando maior destaque (FONSECA; PEREIRA, 2017). Quando há o uso da iluminação natural nas edificações, a economia de energia elétrica é gerada através da redução tanto do requerimento de luz artificial quanto do ganho de calor interno. Segundo Fonseca (2015), pesquisas mostram o percentual de economia do sistema de iluminação artificial varia entre 20% e 80% e entre 12% e 52% para o consumo final de edificações condicionadas artificialmente quando associada à iluminação natural.

Com o objetivo de estabelecer parâmetros para definição do nível de eficiência energética de um edifício, foi criado em 2009 o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) como parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE-Edifica). Seu intuito final é fornecer a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que analisa o desempenho da envoltória, da iluminação e do condicionamento de ar através dos métodos prescritivos ou de simulação computacional. A atual versão da ENCE não apresenta diretamente o consumo energético da edificação, mas apresenta um indicador adimensional que está relacionado ao consumo, que é denominado como Indicador de Consumo (IC). A classificação da edificação varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente) (BRASIL, 2010).

No entanto, não se considera que a contribuição de economia de energia elétrica proporcionada pela iluminação natural seja contabilizada de modo eficaz nessa avaliação, sendo analisada apenas como pré-requisito para a obtenção dos níveis A e B no sistema de iluminação artificial. Tal pré-requisito estabelece que ambientes que tenham aberturas voltadas para área externa ou átrio (descoberto ou com cobertura translúcida) “devem possuir um controle instalado, manual ou automático, para o acionamento independente da fileira de

luminárias mais próxima à abertura, de forma a propiciar o aproveitamento da luz natural disponível” (BRASIL, 2010).

Como forma de quantificar a economia de energia elétrica gerada pela iluminação natural no sistema de etiquetagem brasileiro, uma nova proposta de avaliação está sendo estudada pelo Laboratório de Conforto Ambiental (LABCON) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). É de interesse dos pesquisadores da área de iluminação natural envolvidos de inserir essa abordagem juntamente à Instrução Normativa Inmetro para Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (INI-C), que é uma proposta de aperfeiçoamento do RTQ-C que se encontra em consulta pública. De acordo com a nova proposta, a avaliação do desempenho da edificação quanto ao aproveitamento da luz natural desenvolvido pelos pesquisadores vinculados ao LABCON-UFSC, visando o uso racional de energia, poderá ser feita de duas maneiras: a primeira na redução do consumo de energia primária da edificação por meio da diminuição do uso do sistema de iluminação artificial, e consequentemente, da carga térmica de refrigeração da envoltória, atribuídos à instalação de dispositivos de controle do sistema de iluminação, em função da luz natural; e a segunda na consideração do potencial para o aproveitamento da luz natural promovido pela envoltória (FONSECA, 2018).

Visto que a tal proposta ainda está em fase de estudo, este trabalho se propõe a verificar sua exequibilidade. Assim será possível contribuir para o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), sendo importante esta análise a fim de que, quando chegar ao mercado, o método não apresente falhas ou lacunas, buscando a ampliação da aplicabilidade da avaliação de desempenho de edificações.

1.1. Iluminação natural e eficiência energética

Uma definição para a iluminação natural que condiz com o que se espera de projetos que aproveitem dessa fonte de luz nos dias de hoje foi proposta por Reinhart e Wienold (2011): um espaço que é fundamentalmente iluminado pela luz do dia deve também associar elevada satisfação dos ocupantes, considerando conforto visual e térmico com baixo consumo energético para iluminação artificial, aquecimento e resfriamento.

De acordo com Heschong (2012), o uso da iluminação natural pode reduzir de 25 a 50% o consumo energético na maior parte dos edifícios comerciais, incluindo os novos e os

existentes. Em estudo realizado por Alves (2017) para avaliar o potencial de economia de energia de edifícios de escritórios na cidade de Belo Horizonte, concluiu-se que, dentre as ações direcionadas à redução dos gastos energéticos, aquelas relacionadas com iluminação natural e artificial foram as iniciativas de melhor custo-efetivo. No estudo realizado, a economia de energia atingiu 32% após as simulações de *retrofit* nos sistemas de iluminação artificial e 41% após as simulações de *retrofit* nos sistemas de iluminação artificial associados a estratégias de maximização do uso da iluminação natural.

Conforme apresentado por Ferreira e Souza (2009), a iluminação natural em si não resulta em economia direta de energia, a economia ocorre devido à redução do requerimento de iluminação artificial, seja através da integração entre os sistemas de luz natural e artificial ou através de sistemas de controle da iluminação artificial.

1.2. Medidas para avaliação da iluminação natural

A métrica mais comum em iluminação natural é o Fator de Luz Diurna (FLD), definido como a relação entre a iluminância interna de um ponto no interior do ambiente e a iluminância horizontal externa desobstruída sob o céu nublado padrão CIE – Comissão Internacional de Iluminação (ABNT, 2003).

No entanto, com o advento da simulação computacional algumas métricas e procedimentos de cálculos para a avaliação da iluminação natural mais sofisticados foram desenvolvidos ao longo dos anos. A Autonomia de Luz Natural (ALN) é um procedimento de cálculo que quantifica a saturação de luz natural em um ambiente. ALN corresponde à percentagem de horas (do ambiente ocupado) em que a iluminância no plano de trabalho atinge um valor previamente determinado, possibilitando uma autonomia da iluminação natural em relação à luz artificial. 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 (REINHART; MORRISON, 2003).

Já a Autonomia de Luz Natural Espacial (ALN_E) é o percentual da área da edificação em que determinada iluminância é alcançada ou ultrapassada, em um percentual do período de ocupação, ao longo do ano, considerando-se apenas a iluminação natural (HESCHONG, 2012).

1.3. Proposta de metodologia para avaliação da iluminação natural

Pela metodologia proposta para o INI-C, deve-se avaliar qual a área da edificação que possui autonomia da luz natural. Para isso, a área edificada deve possuir iluminância mínima de 300 lux em pelo menos 50% das horas de ocupação da edificação em que há luz natural. O período a ser considerado para o qual a luz natural é disponível deve ser das 8h às 18h, durante os 365 dias do ano. A área da edificação que possui tal autonomia de luz natural, denominada Autonomia da Luz Natural Espacial (ALN_E 300lx,50%), pode ser obtida através de três métodos elaborados por Fonseca (2018), sendo o primeiro método simplificado, o segundo método que pode ser obtido de forma simplificada ou simulação computacional e o terceiro apenas por simulação computacional, apresentados a seguir.

i) **Método Ultra-simples**, também chamado método das fontes de luz – baseia-se apenas em dados relativos às fontes de luz, ou seja, das aberturas para iluminação, desconsiderando informações climáticas, de localização da edificação bem como de dispositivos de sombreamento das aberturas ou de entorno. Resulta em zonas primárias de luz natural que são áreas próximas a cada abertura vertical e são definidas em planta. A profundidade da zona corresponde à altura da verga de janela e a largura da zona é dada pela soma da largura do plano translúcido da janela com a metade da altura da verga de janela para cada lado. A área de iluminação natural proporcionada por zenitais também é considerada, sendo a zona de iluminação zenital a área delimitada pelo perímetro imediatamente abaixo da abertura com cada aresta somada à medida de 0,7 vezes a altura média do teto para cada direção.

ii) **Método simplificado**, também chamado de método de iluminação difusa espacial – consiste em 3 passos, sendo o primeiro calcular o Fator de Luz Diurna (FLD) dos ambientes para uma malha de pontos no plano de referência. A malha deverá ser contínua, locada a 0,75m do piso, as células deverão ser preferencialmente quadradas, aceitando razão entre comprimento e largura entre 0,5 e 2. A quantidade mínima de pontos pode ser calculada conforme equação 1 ou obtida através da Tabela 1. Malhas mais densas são permitidas e recomendadas.

$$p = 0,2 \times 5^{\log_{10}(d)} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

p – maior dimensão de cada célula da malha (m).

d – maior dimensão do plano de referência (m) se razão entre maior e menor dimensão for <2;
menor dimensão do plano de referência (m) se razão entre maior e menor dimensão for ≥ 2.

Maior dimensão do plano d (m)	Maior distância entre pontos p (m)	Número mínimo de pontos na malha
0,4	0,15	3
0,6	0,20	3
1,0	0,20	5
2,0	0,30	6
5,0	0,60	8
10,0	1,00	10
25,0	2,00	12
50,0	3,00	17
100,0	5,00	30

Tabela 1: Número de pontos recomendados para malha. Fonte: Fonseca (2018)

No método ii, o FLD pode ser obtido por métodos gráficos e analíticos, dentre eles o método DCRL descrito na NBR 15.215-3 (ABNT, 2005), transferidores BRE (HOPKINS et al, 1975; ROBBINS, 1986) e o Diagrama de Pleijel (TURNER, 1971; HOPKINSON et al, 1975; ROBBINS, 1986), ou computacionais, desde que considerem como base de cálculo as três componentes do fluxo luminoso, a componente celeste, a refletida externa e a refletida interna. Deve-se considerar a influência de obstruções do entorno para o cálculo. O segundo passo é obter o Fator de Luz Diurna alvo (FLD_{alvo}) que corresponde a um valor que garanta a Autonomia da Luz Natural para a iluminância mínima de 300 lux em 50% do período de ocupação considerado com luz natural disponível. O FLD_{alvo} pode ser calculado para uma cidade específica conforme método descrito na CEN TC 169 WG 11 (CEN, 2017) ou obtido pela Tabela 2. O território nacional foi dividido em duas zonas conforme mostra a Tabela 1 e também é apresentada a seguir (FIGURA 1).

Zona de disponibilidade de luz difusa	Iluminância Horizontal Difusa mediana (lx)	FLD _{alvo} para exceder 300lx
Zona 1	21452	1,4%
Zona 2	25036	1,2%

Tabela 2: FLD_{alvo} por zona. Fonte: Pereira et.al (2015)

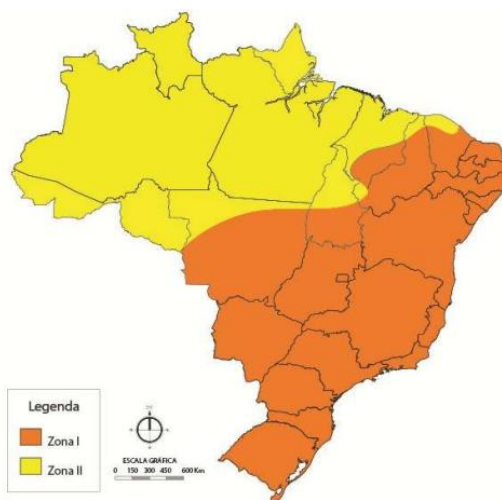


Figura 1: Mapa do zoneamento de luz natural de iluminâncias difusas horizontais. Fonte: Pereira et.al (2015)

E o terceiro passo consiste no cálculo da área da edificação para a qual os valores de FLD dos pontos dos planos analisados superam ou se igualam ao valor do FLD_{alvo} conforme equação 2.

$$ALN_{E,300lx,50\%} = \frac{[\sum_{i=1}^n (a_{pt > FLD_{alvo}})] \times 100}{AU} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$ALN_{E,300lx,50\%}$ – Autonomia da Luz Natural Espacial para 300lx em 50% das horas de ocupação em que há luz do dia (% da área útil)

$A_{pt > FLD_{alvo}}$ – área dos pontos em que o FLD_{alvo} é atingido ou superado

AU – área útil da edificação ou da parcela avaliada da edificação.

iii) **Método de simulação** apresenta resultados mais precisos quanto ao alcance da área iluminada naturalmente e considera a iluminação de forma global, contemplando tanto a contribuição da luz difusa, quanto à da luz direta. Por isso, deve-se considerar que todas as aberturas laterais, de ambientes cuja atividade visual exija controle de ofuscamento, possuam persianas ou cortinas. A luz solar direta, a partir de persianas que sejam operadas para tal consiga obter níveis superiores a 1000lux, por no máximo 250 horas por ano, em até 2% da área. Primeiramente, deve-se simular a Exposição Anual à Luz Solar Direta (ASE) para identificar as horas que as persianas ou cortinas deverão ser fechadas, para posteriormente simular a $ALN_{E,300lx,50\%}$. Para tal podem ser usados arquivos climáticos do tipo INMET,

SWERA, TMY ou TRY. O modelo deve levar em conta as obstruções externas. Quando se tiver as refletâncias das superfícies, devem-se adotar os seguintes índices conforme Tabela 3:

Superfície	Refletância (%)
Piso	20
Parede	50
Teto	70
Superfície externa vertical	40
Superfície externa horizontal	10

Tabela 3: Índices de refletâncias. Fonte: Fonseca (2018)

O período de ocupação a ser considerado para a simulação deve ser de 8h às 18h, durante todos os dias do ano. Também neste método deve ser feita uma malha de pontos, conforme o estabelecido no método ii.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem por objetivo a verificação da exequibilidade dos métodos de cálculo propostos para a inserção da iluminação natural para a avaliação do desempenho energético na nova Instrução Normativa Inmetro para Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) que busca o aperfeiçoamento do Regulamento Técnico da Qualidade de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).

3. MÉTODO

A metodologia visou a aplicação dos métodos prescritivos e de simulação computacional desenvolvidos para inserção da iluminação natural no INI-C para avaliação de desempenho de edificações comerciais, de serviços e públicas. Para isso foi definido um ambiente modelo localizado na cidade de Belo Horizonte, que possui latitude -19,81 e longitude -43,95.

Para verificar a influência de alguns parâmetros em cada um dos métodos e analisar como estes parâmetros podem influenciar no resultado, foram utilizados 16 modelos a partir deste ambiente. Os parâmetros combinados foram:

- Orientação do ambiente (N, L, O, S);
- Ambiente modelado com entorno (CE) ou sem entorno (SE) e
- 2 modelos de janela de mesma área (J1 e J2).

3.1. Características do ambiente e nomenclatura

O modelo consiste em uma sala com dimensões 5,0 m x 3,0 m resultando em uma área de 15,0 m². O ambiente foi determinado com pé direito de 2,8 m e possui área aproximada de vão para iluminação e ventilação de 2,5 m² (FIGURAS 2 e 3). Tal valor foi determinado a partir do Código de Obras do município de Belo Horizonte que estabelece para os edifícios não residenciais uma área mínima para vão de ventilação e iluminação, abertos diretamente para o exterior, correspondente a 1/6 da área do piso (BELO HORIZONTE, 2009).

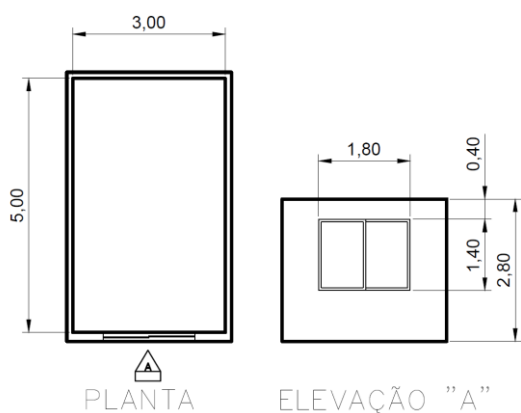


Figura 2: Ambiente modelo com janela J1
Fonte: Autores

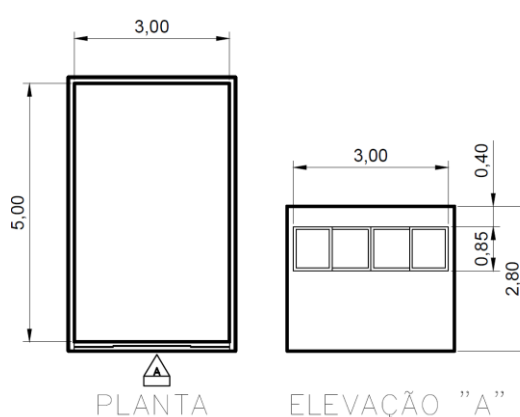


Figura 3: Ambiente modelo com janela J2
Fonte: Autores

Para o presente estudo foram definidos dois modelos de janela, J1 e J2 e foram desconsiderados os elementos referentes às parcelas de esquadrias, bem como quaisquer elementos de controle instalados internamente no ambiente como cortinas e persianas (TABELA 4).

	J1	J2
Largura (m)	1,80	3,00
Altura (m)	1,40	0,85
Peitoril (m)	1,00	1,55
Verga (m)	0,40	0,40
Vidro	$\tau=0,88$	$\tau=0,88$

Nota: * vidro incolor espessura 4 mm.

Tabela 4: Tabela de esquadrias: Janela, Largura, Altura, Peitoril e Verga. Fonte: Autores

O entorno analisado apresenta-se a 5,0 metros de distância do ambiente com altura de 9,0 metros, conforme apresentado na Figura 4.

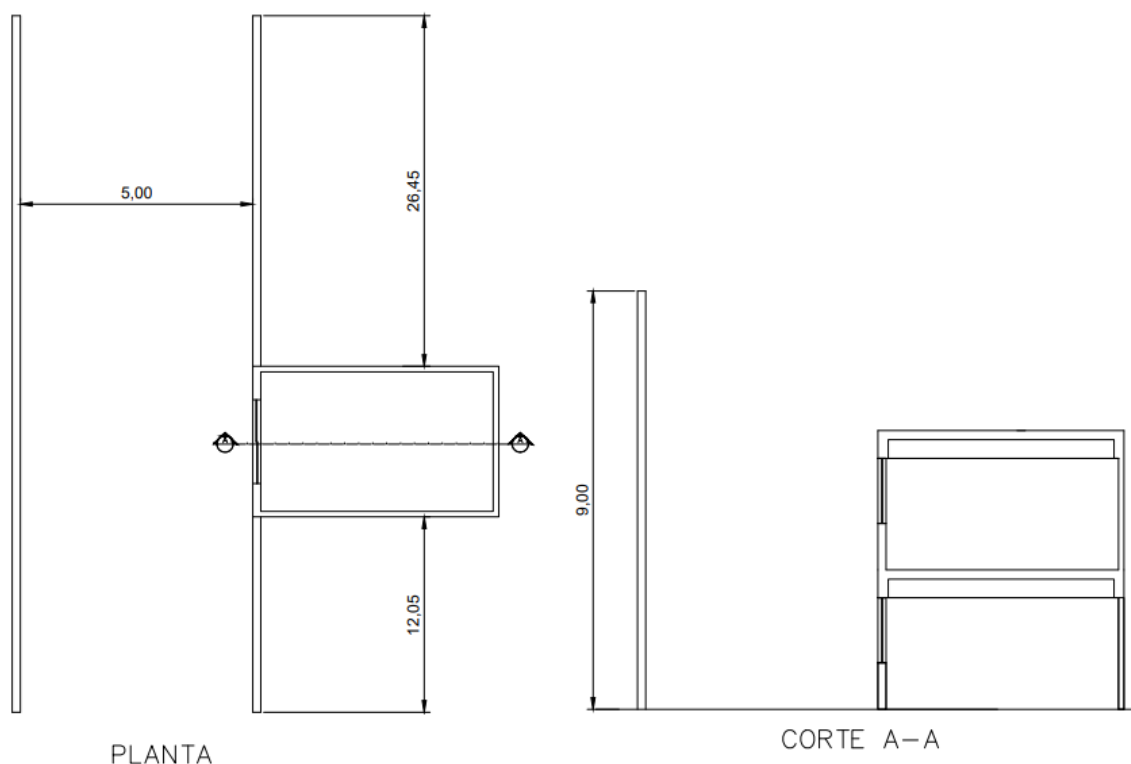


Figura 4: Entorno do modelo. Fonte: Autores

Para facilitar a leitura, cada ambiente analisado apresenta em sua nomenclatura a abreviação do nome de cada variável, conforme a descrição: tipo de janela-orientação-entorno. Exemplificando, o ambiente J1-N-CE é um ambiente cujo modelo de janela é do tipo J1 com orientação da janela para o Norte e possui obstrução do entorno.

3.2. Modelagem, software de simulação e dados de entrada

A partir da definição do ambiente analisado, bem como suas variações, foram elaborados os modelos tridimensionais no programa SketchUp v. 8.0. Para a simulação computacional foi utilizado o programa Daysim 3.1-2012 (REINHART, 2012). Estes modelos foram utilizados para a aplicação dos métodos simplificado (ii) e de simulação (iii). O arquivo climático utilizado foi o INMET de 8.760 horas da cidade de Belo Horizonte (LABEEE, 2019).

Por se tratar de um ambiente modelo, as refletâncias das superfícies, tanto internas quanto externas, seguiram o definido por Fonseca (2018), conforme Tabela 3.

3.3. Aplicação do método ultra-simples (i)

A zona primária de iluminação natural foi obtida a partir da altura da verga e largura da janela. Para este método foi realizado apenas um cálculo, pois o mesmo desconsidera orientação e entorno, e as duas geometrias de janela proposta não alteram o resultado, conforme pode ser visto nas Figuras 5 e 6.

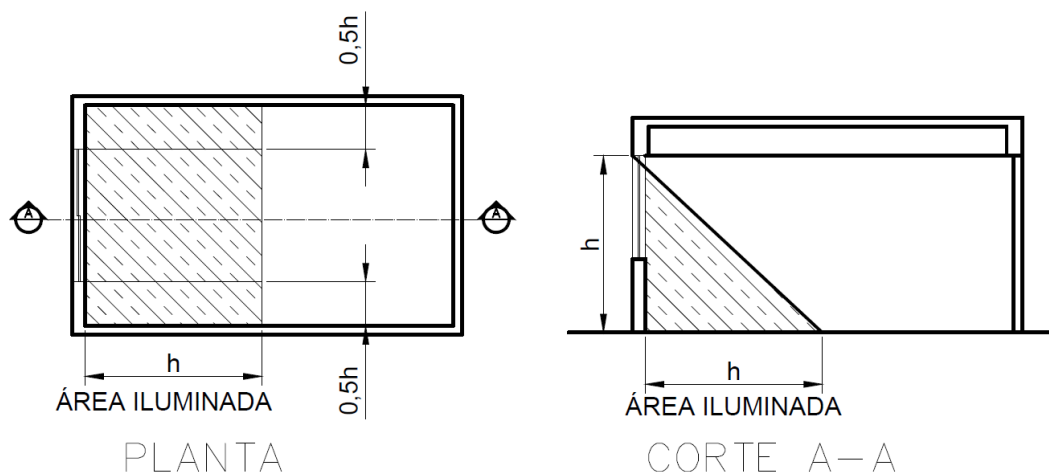


Figura 5: Zona primária de iluminação para a janela J1 - método ultra-simples. Fonte: Autores

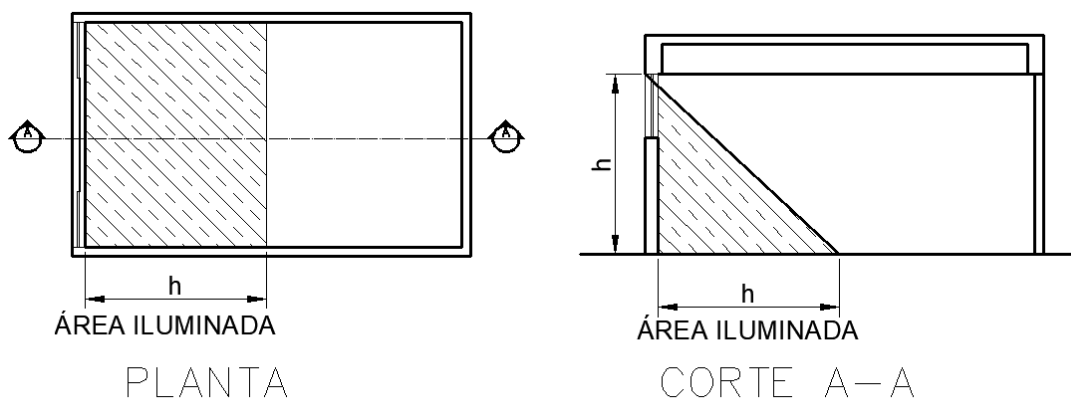


Figura 6: Zona primária de iluminação para a janela J2 - método ultra-simples. Fonte: Autores

Onde:

h – Altura da verga

3.4. Aplicação do método simplificado (ii)

Para o cálculo do FLD foi utilizado o programa de simulação computacional Daysim 3.1-2012 (REINHART, 2012) visto que as outras formas de cálculo através de métodos gráficos e analíticos elevariam o tempo na aplicação do método. Conforme Tabela 1, o número mínimo

recomendado para a malha do modelo é de 8 pontos. Entretanto, utilizou-se um total de 38 pontos para os ambientes com janelas localizadas nas fachadas Norte, Leste e Oeste e 45 pontos para os ambientes localizados na fachada Sul. Isto se deve ao *plug-in su2d* para *SketchUp* que realiza a malha de pontos.

Após a simulação computacional, os resultados em formato *.daylitgh_factor.DA* são os que apresentam os valores em porcentagem do FLD ponto a ponto da malha. Como Belo Horizonte está localizada na Zona de Iluminação Natural 1, conforme Figura 1, o valor do FLD_{alvo} é de 1,4% para poder atingir ou exceder o valor de 300 lux conforme a Tabela 2. Ao abrir os resultados em uma planilha no Excel, foi possível identificar quais pontos da malha apresentaram o FLD_{alvo} igual ou acima de 1,4%. Para encontrar o $ALN_{E, 300lx, 50\%}$, foi utilizada a equação 2.

3.5. Aplicação do método de simulação (iii)

Para o cálculo da ALN foi utilizado o programa de simulação computacional Daysim 3.1-2012 (REINHART, 2012). O número de pontos seguiu o descrito no subitem acima. Para a simulação computacional, foi ativado o *Dynamic shading device model (simple)* de forma a inserir o usuário ativo nos resultados. Conforme a IES LM 83-12 (THE DAYLIGHT METRICS COMMITTEE, 2012), esta configuração do programa considera que o usuário ativo irá atuar no uso das cortinas ou persianas conforme critérios adotados para luz solar direta (ambiente exposto a no máximo 250 horas por ano em 2% da área com iluminância de 1000 lux). Foram considerados o valor de iluminância de 300 lux em um intervalo horário de 8h às 18h.

Após a simulação computacional, os resultados em formato *.DA_max.active.DA* apresentam os valores em porcentagem da ALN ponto a ponto da malha. Ao abrir os resultados em uma planilha no Excel, foi possível identificar quais pontos da malha apresentaram valores de ALN iguais ou superiores a 50% das horas simuladas. Para encontrar o $ALN_{E, 300lx, 50\%}$, considerou-se, de forma simplificada, que cada ponto da malha equivaleria a uma porcentagem proporcional à área do ambiente.

3.6. Classificação para os níveis de Autonomia de Iluminação Natural

O RTQ-C apresenta uma classificação das edificações que varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente)(BRASIL, 2010). Da mesma forma, foi determinada pelos autores uma

métrica para facilitar a visualização da eficiência no aproveitamento da luz natural pela edificação. A classificação ficou definida conforme Tabela 5.

Autonomia de Luz Natural	Classificação	Cor referenciada
$ALN_E \geq 80\%$	A	Verde Escuro
$60\% \leq ALN_E < 80\%$	B	Verde Claro
$40\% \leq ALN_E < 60\%$	C	Amarelo
$20\% \leq ALN_E < 40\%$	D	Laranja
$ALN_E < 20\%$	E	Vermelho

Tabela 5: Classificação conforme Autonomia de Luz Natural Espacial (ALN_E). Fonte: Autores

4. RESULTADOS

Para melhor visualização e comparação dos resultados, foi elaborada uma tabela com os valores percentuais da $ALN_{E, 300lx, 50\%}$ obtidos através dos três métodos de cálculo: (i) método ultra-simples, (ii) método simplificado e (iii) método de simulação. Também foram marcados os valores considerando a escala de cores para a etiqueta estabelecida pelo RTQ-C, conforme Tabela 6.

modelo	(i)	(ii)	(iii)
J1-N-SE	48%	63%	61%
J1-S-SE	48%	58%	71%
J1-L-SE	48%	63%	32%
J1-O-SE	48%	63%	74%
J2-N-SE	48%	71%	76%
J2-S-SE	48%	56%	84%
J2-L-SE	48%	74%	34%
J2-O-SE	48%	71%	84%
J1-N-CE	48%	26%	26%
J1-S-CE	48%	20%	38%
J1-L-CE	48%	26%	13%
J1-O-CE	48%	26%	34%
J2-N-CE	48%	34%	29%
J2-S-CE	48%	22%	33%
J2-L-CE	48%	26%	37%
J2-O-CE	48%	26%	45%

(i) método ultra-simples
(ii) método simplificado
(iii) método de simulação

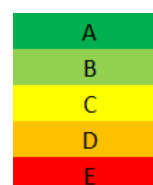


Tabela 6: Valores percentuais da $ALN_{E, 300lx, 50\%}$ obtidos através dos três métodos de cálculo. Fonte: Autores

O objetivo de se ter três métodos de cálculo é a possibilidade de aplicação por quaisquer profissionais com níveis de conhecimento diversos, desde métodos mais simples quanto mais complexos. Desta forma, o método (i) deveria possuir piores resultados que o método (ii) e este para o método (iii), pois, entende-se que não haveria motivo de se querer aplicar um método mais complexo se o mais simples apresentasse melhores resultados.

De acordo com a Tabela 6, nota-se que o **método ultra-simples (i)**, apresentou o mesmo resultado independente das variáveis. Nas figuras 5 e 6 é possível perceber que para os dois ambientes modelo, com janela J1 e J2, o resultado será o mesmo, pois os dois possuem o mesmo h (2,4m). Em ambas as janelas, J1 e J2, a largura é totalmente ocupada pela zona da área iluminada. Portanto, compreendeu-se que nem o formato e nem a orientação da janela, bem como a presença ou não da obstrução do entorno foram considerados para este método de cálculo. Ele, de fato, apresentou-se de aplicação simples e descomplicada, de modo que não é necessário um conhecimento profundo de ferramentas computacionais nem de outros meios de cálculos de iluminação natural. Neste método, todos os ambientes apresentaram classificação C.

Para o **método simplificado (ii)**, percebeu-se que houve uma variação nos resultados, demonstrando que as variáveis possuem influência para a disponibilidade de luz natural. Em ambientes sem entorno, os resultados foram superiores aos do método (i). No entanto, percebeu-se uma grande influência do entorno fazendo com que os resultados fossem inferiores aos encontrados no método (i). A classificação dos ambientes com entorno foi D e os sem entorno foi B, exceto para os de orientação Sul que apresentaram classificação C. Para a aplicação deste método foi necessário o uso de uma ferramenta computacional para calcular os valores de FLD. A aplicação deste método é mais complexa que a do primeiro, por incluir a análise do entorno, orientações e malha de pontos, exigindo um conhecimento maior do profissional acerca de iluminação natural e de seus métodos de cálculo. Entretanto, a métrica utilizada (FLD) considera apenas o céu nublado padrão CIE o que limita a representação do que de fato acontece no ambiente luminoso sob o céu típico da cidade analisada.

Os resultados do **método de simulação dinâmica (iii)** apresentaram aumento no percentual de aproveitamento de luz natural em relação aos dois métodos anteriores para os ambientes

sem entorno, exceto para a orientação Leste. Também se ressaltou a influência do entorno neste método, com resultados inferiores aos encontrados no método (i), embora geralmente superiores aos percentuais de aproveitamento obtidos pelo método ii. A classificação dos ambientes com entorno, exceto para J2-O que foi C, foram D. Os ambientes sem entorno apresentaram classificação A e B, com exceção dos orientados para Leste que apresentaram classificação D. Este método foi o que apresentou maior dificuldade de aplicação entre os três por precisar de análise das métricas utilizadas (ALN_E e ASE) que são de assimilação complexa, mas retratam de forma mais adequada a luz natural no ambiente, pois elas consideram o ofuscamento ao trabalhar com ASE e o acionamento de cortinas ou de persianas além de variação do tipo de céu, pois se utiliza de um arquivo climático de 8.760 horas.

Para os resultados encontrados considerando o formato das janelas para o método (ii) e (iii), verificou-se que o formato em “fita”, J2, apresentou resultados ligeiramente superiores que o formato J1. Isso se deve ao fato da janela em fita se estender por toda a largura do ambiente, não gerando áreas de “sombra” nas áreas próximas às bordas das janelas. Quanto à orientação geográfica, pelo método (ii), a fachada Norte apresentou resultados inferiores que as demais fachadas, tanto para os modelos com entorno como os com sem entorno. Já para o método (iii), a fachada que apresentou menores resultados foi a fachada Leste.

5. Conclusões

O trabalho verificou a aplicação da proposta de três métodos de cálculo para a inserção da iluminação natural dentro da nova Instrução Normativa Inmetro (INI-C). Para sua melhor verificação, foi considerado um ambiente como modelo a fim de observar a influência de três variáveis para a iluminação natural interna: formato de janela, orientação geográfica e obstrução do entorno.

Dentre as três variáveis, a que apresentou maior influência para os métodos de cálculo (ii) e (iii) foi a obstrução do entorno. Diante da aplicação dos três métodos em um ambiente modelo localizado na cidade de Belo Horizonte, observou-se que o método ultra-simples (i) superestima valores de ALN_E para ambientes que possuem obstrução do entorno. Recomenda-se uma revisão deste método aplicando-se um fator de redução quando considerado entorno. No caso estudado esta redução deveria ser da ordem de 50%. Também se percebeu que o formato da janela influencia para a disponibilidade de luz natural bem

como a orientação geográfica e que o método (i) não foi capaz de perceber esta influência, pois desconsidera estes dados.

Foi notado que o método simplificado (ii), como aplicado no presente trabalho, possui certa complexidade que talvez não seja interessante sua aplicação, já que se podem alcançar melhores resultados com o método de simulação (iii). No entanto, este método possibilita a utilização em programas de simulação estática de iluminação, que são em geral de uso mais simples que os programas de simulação dinâmica, sendo necessário para tal a comparação do valor de iluminância externa com aquele estabelecido na Tabela 2. Vale ressaltar que este estudo foi desenvolvido para apenas um modelo de ambiente com variação de um entorno para uma cidade. Deve-se expandir este estudo para validar melhores resultados a fim de aprimorar os métodos de cálculo propostos.

Referências:

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15215** – Iluminação natural – Parte 1: Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15215-3** – Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ALVES, T. P. **Energy savings potential of the high-rise office building stock**. A case study of Belo Horizonte, Brazil. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFMG. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2017.

BELO HORIZONTE. **Lei nº 9.725**, de 15 de julho de 2009, institui o Código de Edificações do Município de Belo Horizonte e dá outras providências. Belo Horizonte, MG, 2009.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria nº 372**, 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: www.inmetro.gov.br/legislacao. Acesso em: mai. 2018.

_____. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2018 – Ano base 2017**: Relatório Síntese. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/>. Acesso em: abr. 2019.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – CEN. CEN TC 169 WG 11 – Daylight: Daylight in buildings. European Standards. CEN/TC 169. Date: 2017-07. TC 169 WI 00169068. Secretariat: DIN. 2017

FERREIRA, C.; SOUZA, R. V. G. Investigação sobre o potencial de economia de energia da iluminação natural. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2009, Natal. **Anais...** Natal: ENCAC-ELACAC, 2009.

FONSECA, R. W. **Iluminação Natural e Consumo Energético de Edificações Não Residenciais**: as possibilidades e as limitações da aplicação de redes neurais artificiais. Florianópolis, 2015. 457 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

FONSECA, R. W. **Proposta iluminação natural para o novo método do RTQ C.** [mensagem pessoal]
Mensagem recebida por < robertavgs@ufmg.br > em novembro de 2018.

FONSECA, R. W. da; PEREIRA, F. O. R. Sequência metodológica para a estimativa da iluminação natural e suas implicações em sistemas de avaliação de desempenho de edificações. **Ambiente Construído** (Online). Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 55-68, jan./mar. 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212017000100055&lng=pt&lng=pt. Acesso em: mar. 2019.

HESCHONG, L. Heschong Mahone Group. 2012. **Daylight Metrics**. California Energy Commission. Publication number: CEC-500-2012-053.

LABEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Arquivos climáticos. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads>. Acesso em: abr. 2019.

PEREIRA, F. O. R.; SCHMITT, M.; MORAES, L. N. **Zoneamento luminoso do território brasileiro através de histogramas de frequência acumulada de ocorrência de iluminâncias horizontais difusas externas.** In: XIII ENCAC e IX ELACAC, 2015, Campinas. Anais do XIII ENCAC e IX ELACAC: Conforto, impacto ambiental e saúde: Oportunidades, desafios e responsabilidades. Campinas: ANTAC, 2015. v. único. p. 1-10.

REINHART, C. F. Advanced Daylight Simulation Software: DAYSIM Versão 3.1, 2012. Disponível em: <http://daysim.ning.com/>. Acesso em: out. 2016.

REINHART, C.; MORRISON, M. **The lightswitch wizard** – reliable daylight simulations for initial design investigation. In: Building Simulation. Eindhoven, The Netherlands, 2003. p. 1093-1100. 2003.

REINHART, C. F.; WIENOLD, J. The Daylighting Dashboard: a simulation-based design analysis for daylight spaces. **Building and Environment**, v. 46, n. 2, p. 386-396, 2011.

THE DAYLIGHT METRICS COMMITTEE. Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). New York: Illuminating Engineering Society of North America. ISBN: 978-0-87995-272-3, 2012.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à PROAP/CAPES pelos recursos financeiros aplicados no Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais.