DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL EM TIPOLOGIA RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR: ANÁLISE PELA PROPOSTA DA NOVA NBR 15575-1

Carolina Lemonge Amorim (1); Giovanna Barreto de Souza Machado (2); Luiza Barrio Peixoto (3); Roberta Vieira Gonçalves de Souza (4)
(1) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, carolinalemonge@gmail.com
(2) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, barreto.gsouza@gmail.com
(3) Arquiteta, Mestranda do PPG-ACPS, luizabarrio@gmail.com
(4) Arquiteta, Doutora, robertavgs@ufmg.br, LABCON-EAUFMG - Rua Paraíba, 697, BH/MG.

RESUMO
As normatizações buscam estabelecer níveis de desempenho mínimos à garantia de boas condições de habitabilidade, sendo que, no Brasil, a NBR 15.575:2013 - Norma de Desempenho de Edificações – passou a contemplar, dentre outros itens, a avaliação de desempenho da iluminação natural sendo que a metodologia desse item está em processo de revisão. O presente estudo avaliou, através da realização de simulações baseadas no clima com o *plug-in ClimateStudio* do *software Rhinoceros 3D*, a disponibilidade de luz natural de uma habitação multifamiliar típica inserida no contexto urbano adensado do bairro Buritis em Belo Horizonte de acordo com os novos parâmetros normativos. Foram consideradas variáveis como declividade da malha urbana, orientação e pavimento, além da alteração da refletividade das superfícies e da área de obstrução das aberturas como possíveis soluções. A partir da análise de 80 ambientes, por meio de 72 simulações, verificou-se que nos cenários padrão, 17% dos ambientes não atenderam à iluminância mínima (60 lux), enquanto, em relação à iluminância alvo (200 lux), o não atendimento foi de 40%. Verificou-se que o adensamento do entorno associado à declividade do terreno dificulta a entrada de luz natural nos ambientes localizados nos primeiros pavimentos. Como soluções construtivas foram testadas a adoção de soluções relacionadas à refletividade interna dos ambientes e à redução da obstrução nas aberturas, com resultados positivos. Em face dos códigos de obra e das leis de uso e ocupação do solo vigentes que geram afastamento por vezes pequenos foi testada ainda a avaliação da UH como um todo o que também proporcionou maiores percentuais de atendimento à nova proposta.

Palavras-chave: Disponibilidade de luz natural. NBR 15.575. Ambiente residencial.

ABSTRACT
The norms seek to establish minimum performance levels to ensure good habitability conditions, and in Brazil, NBR 15.575:2013 - Building Performance Standard - began to contemplate, among other items, the evaluation of daylighting performance. The methodology of this item is in the process of being reviewed. The present study evaluated then, through climate-based simulations using the ClimateStudio plug-in of the Rhinoceros 3D software, the daylight availability in a typical multifamily dwelling inserted in the dense urban context of Buritis neighborhood in Belo Horizonte according to the new normative parameters. Variables such as slope of the urban terrain, orientation and pavement level were analyzed. Changes in the reflectivity of the surfaces and in the percentage of the opening's obstruction were considered as possible solutions. From the analysis of 80 environments, through 72 simulations, it was verified that in the standard scenarios, 17% of the environments did not meet the minimum illuminance (60 lux), while, in relation to the target illuminance (200 lux), the non-attendance was of 40%. It was found that the densification of the surroundings associated with the slope of the terrain hinders the entry of natural light in spaces located on the buildings' first floors. The adoption of higher internal reflectivities and a reduction of obstruction in the openings were tested with positive results. In view of the construction codes and the laws of use and occupation of the land in force, which generate sometimes small distances, the evaluation of the UH as a whole was also tested, which also provided higher percentages of attendance to the new proposal.

Keywords: Daylight availability. NBR 15.575. Residential spaces.

1. INTRODUÇÃO

A luz natural é essencial à vida humana interferindo, dentre outros pontos, na saúde e na capacidade de execução de atividades. Em revisão da literatura sobre o tema, Freitas e Laranja (2020) apontam que a ausência de boa iluminação natural é capaz de interferir no humor, concentração, qualidade de sono e até mesmo em níveis de estresse de indivíduos. Dessa forma, a presença da iluminação natural nos ambientes residenciais é considerada importante para garantir qualidade de vida aos ocupantes. A percepção do conforto lumínico é individual, e leva em conta não apenas preferências pessoais com relação a níveis de iluminação mínimos, mas também outras questões como a possibilidade de controle de ofuscamento, o acesso à vista externas de qualidade, a manutenção de iluminação adequada para estímulo ao ciclo circadiano. Tem-se ainda que a iluminação natural e o desempenho térmico das edificações estão intrinsecamente ligados uma vez que as aberturas para iluminação natural permitem maior ou menor entrada de insolação direta nos espaços internos, podendo esta ser desejável nos períodos frios, mas indesejável nos períodos quentes ao longo do ano, podendo ainda sua presença causar aumento de desconforto por ofuscamento. Muito se evoluiu no conhecimento da área de iluminação natural nas últimas décadas e este conhecimento tem sido integrado paulatinamente em normalizações e em sistema de certificação de edifícios.

Neste sentido, diante da necessidade de se estabelecer normas que atendam às exigências dos usuários frente aos sistemas que compõem uma edificação residencial, foi publicada a norma NBR 15.575:2013 "Edificações habitacionais – Desempenho" composta por 6 partes, sendo a iluminação natural abordada no item desempenho lumínico, Parte 1: Requisitos gerais (ABNT, 2013). A norma, conhecida como Norma de Desempenho, recebeu nova versão em 2021 a partir de emenda na área de desempenho térmico (ABNT, 2021), no entanto, a proposta feita em 2013 para o desempenho lumínico segue em vigor até a realização deste estudo. Esta versão de 2013 apresenta dois métodos para a avaliação de desempenho da luz natural: um método de cálculo matemático que é utilizado em empreendimentos em fase de projeto e um método que apresenta a possibilidade de medição *in loco*, de caráter informativo, para empreendimentos já construídos. O primeiro método avalia ambientes de permanência prolongada das unidades habitacionais no período da manhã e da tarde (9h30 e 15h30) em dois dias ao longo do ano - 23 de abril e 23 de outubro - através do algoritmo apresentado na NBR 15215-3 (ABNT, 2023), configurando um método ponto-no-tempo. Considera-se, entretanto, que os resultados encontrados através dessa metodologia não representam o comportamento dos ambientes em relação à iluminação natural ao longo do ano, uma vez que as análises são feitas apenas em dois dias e dois horários.

Ressalta-se que o foco da Norma de Desempenho não é a garantia de conforto ambiental nas áreas de térmica, de iluminação ou de acústica, mas o estabelecimento de condições mínimas de desempenho para as habitações nestas áreas, como o nome da própria norma indica. Considera-se, no entanto, que na área de iluminação natural o avanço trazido pela norma foi inequívoco trazendo pela primeira em uma norma valores de iluminação a serem atendidos quando anteriormente no país apenas os códigos de obra tratavam desta questão e de maneira indireta, indicando uma área mínima de abertura e não um desempenho mínimo em termos de disponibilidade de luz. O método em vigor da NBR 15.575:2013 para avaliação da iluminação natural exige que os ambientes de sala, quartos, cozinha e área de serviço de uma unidade habitacional sejam avaliados em seu ponto central, em dois dias e horários ao longo do ano, obtendo no mínimo 60 lux, de acordo com a Tabela 1 (nível mínimo obrigatório). Neste método há também uma bonificação que prevê a redução de 20% nas exigências dos níveis em ambientes localizados no pavimento térreo ou abaixo da cota da rua, em edifícios multipisos.

Tabela 1 - Níveis de iluminamento natural

Dependência	Iluminamento geral para os níveis de desempenho lux		
	M	I	S
Sala de Estar Dormitório Copa/Cozinha Área de Serviço	≥60	≥90	≥120

Fonte: NBR 15.575/2013.

Com o objetivo de atualizar a metodologia da avaliação de desempenho lumínico, foi proposta uma revisão geral do método em vigor e que modifica pontos importantes como a substituição da avaliação ponto-no-tempo para a avaliação anual e a introdução da avaliação de duas iluminâncias (mínima e alvo) para o atendimento a um desempenho mínimo (GIRALDO et al, 2021; PEREIRA, 2020).

A proposta de revisão da NBR 15.575-1, por sua vez, prevê a avaliação da provisão da iluminação natural de acordo com os critérios de iluminância mínima (requisito mínimo) e de iluminância alvo (classe de desempenho). Esse item se aplica a todos os ambientes privativos de ocupação prolongada, tais como: dormitórios, sala de estar e jantar, cozinha/copa/área de preparação de alimentos, área de serviço, dependência de serviço e escritório/biblioteca. Nesse sentido, são propostos dois métodos para a verificação da iluminação

natural, um simplificado – por meio de ábacos, as quais são usadas para 3 zonas luminosas que dividem o país, e um método de simulação baseado no clima. Para isso, devem ser consideradas as características dos ambientes, as obstruções externas e o clima local, de forma a verificar a adequação e a suficiência da iluminação natural em ambientes de edificações residenciais. Os requisitos estabelecidos pela proposta estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores para provisão de luz natural

Classe de desempenho	Iluminância alvo E_{ALVO} [lx]	Fração alvo da área do ambiente F_{ALVO} [%]	Iluminância mínima $E_{MÍN}$ [%]	Fração mínima do ambiente $F_{MÍN}$ [%]	Fração das horas diurnas F_{HORAS} [%]
Mínima	200	40	60	75	50
Intermediária		55			
Superior		70			

Fonte: Proposta de revisão da NBR.15.575.

A nova metodologia evolui em relação à anterior principalmente no que diz respeito à análise anual das unidades habitacionais. Para tanto, modelos 3D para avaliação devem ser feitos em *softwares* de modelagem capazes de representar todas as características arquitetônicas citadas anteriormente. A análise proposta pela norma foi feita neste trabalho com o *software Rhinoceros*, a partir do *plug-in ClimateStudio*.

A variável descrita anteriormente e exigida na nova metodologia da norma é a *sDA, Spatial Daylight Autonomy*. De acordo com IES LM 83-12, a *sDA* indica o percentual de área analisada em atendimento a um nível mínimo de iluminância durante parte das horas de funcionamento desse ambiente (IES, 2012). Essa variável foi o primeiro parâmetro de iluminação que entendeu a luz no ambiente de forma anual e é baseada no clima (*Climate-based daylight modelling* – CBDM). A simulação atualmente exigida pela NBR 15575:2013 é de análise ponto-no-tempo, e, por isso, entende-se que a nova metodologia proposta avança significativamente. Para avaliar o *sDA* em determinada localização geográfica, é necessária a inserção de dados climáticos no *plug-in* para se obter os resultados pretendidos. Essas informações se encontram em arquivos climáticos compostos de dados horários com condições climáticas locais, incluindo variáveis como temperatura do ar, umidade, velocidade do vento e radiação (LABEEE, 2005).

O entorno da edificação é uma variável de grande impacto quando se busca entender a disponibilidade de luz em um ambiente. Em áreas urbanas, a admissão da luz natural pelos edifícios depende de uma série de variáveis como: o tipo, a orientação geográfica e as dimensões das aberturas; os dispositivos externos de sombreamento, tais como obstruções do entorno edificado e existência de proteções solares; características do ambiente interno, como geometria, dimensões e refletividade das superfícies; a disponibilidade da luz natural em relação às condições atmosféricas; a relação do edifício com os parâmetros institucionais normativos e outros (CINTRA, 2011; FROTA, 2004; MORAES E SCARAZZATO, 2003). Segundo Leder e Pereira (2008), os edifícios inseridos em áreas urbanas apresentam significativa redução de luz natural em seus ambientes internos em função da obstrução do céu devido, principalmente, aos cenários mais densos com ocupação máxima. Em contraposição, Araújo e Cabús (2007) afirmam que, em certas ocasiões, a luz refletida do entorno edificado contribui para o aumento da quantidade de luz no ambiente interno. Santos, Auer e Souza (2017) referendam a importância das configurações dos cânions urbanos no acesso à luz natural. Segundo Beck, Pereira e Scalco (2019) maiores afastamentos e, consequentemente, menores ângulos de obstrução, garantem maiores valores de autonomia de luz natural no interior dos ambientes.

As legislações municipais de uso e ocupação do solo são responsáveis pela configuração urbanística das cidades e afastamentos laterais e de fundo dispostos nesta legislação podem interferir na qualidade da iluminação no interior dos ambientes. Hoppe, Alvarez e Laranja (2015) citam a importância da elaboração de parâmetros urbanísticos que levem em consideração estudos de iluminação natural. Laranja, Gazzaneo e Cabús (2009) verificaram o impacto da malha urbana na disponibilidade de luz do dia através de variação de largura de vias, afastamentos, altimetria de edificações e apontou que as legislações urbanas não levam em consideração o entorno já consolidado para proposição dos parâmetros urbanísticos.

A declividade presente no relevo natural das cidades, respeitada dentro do possível na implantação de empreendimentos, também é uma variável capaz de interferir na iluminância interna dos ambientes. Guidi *et al*. (2018) verificaram distintos níveis de desempenho quando avaliadas unidades em diferentes pavimentos em relação à topografia. As autoras propuseram que a legislação municipal deve ser revisada em situações de maiores declividades.

Além disso, os sistemas utilizados nas aberturas dos ambientes de permanência prolongada podem impactar na disponibilidade de luz natural. Toledo e Cavalcante (2017) discutiram diferentes tipos de abertura considerados em uma tipologia residencial avaliada para NBR 15.575:2013. Foi constatada, dessa forma, a importância de especialistas em consultoria ambiental na fase de projeto para verificar as melhores soluções para que se garanta níveis de iluminância satisfatórios.

Outro ponto que pode interferir no melhor ou pior desempenho de ambientes de permanência prolongada é a escolha correta dos revestimentos internos. Revestimentos com cores mais claras, ou seja, com maiores refletâncias, são capazes de proporcionar ambientes mais claros e impactar positivamente nos níveis de desempenho. Segundo Fonseca, Pereira e Claro (2010), a "geometria do espaço interno, as propriedades das superfícies e a área, a posição e a distribuição das aberturas" determinam a distribuição da luz no espaço e devem ser levadas em consideração no momento da concepção de projetos arquitetônicos.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consistiu na análise da disponibilidade de luz natural em um edifício residencial típico inserido em um contexto urbano adensado em diferentes declividades considerando os parâmetros de iluminação natural estabelecidos pela proposta de revisão da NBR 15.575 e avaliando possíveis soluções construtivas para o atendimento mínimo à proposta da norma.

3. MÉTODO

O trabalho avaliou o desempenho da iluminação natural em um modelo de unidade residencial multifamiliar, considerando os ambientes de permanência prolongada (quartos, sala de estar e cozinha conjugada à área de serviço). A avaliação foi realizada para verificar a autonomia de luz natural *(sDA, Spatial Daylight Autonomy)*, de acordo com a proposta de revisão da norma NBR 15.575, para iluminação natural.

O estudo contou com 06 etapas principais, divididas em definição dos estudos de caso quanto à inserção urbana, quanto às características da edificação e definição de cenários e modelagem, apresentadas na Figura 1 e descritas em maior detalhe nos itens a seguir.

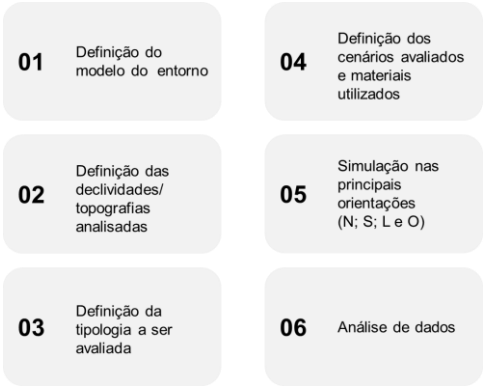


Figura 1 - Etapas de desenvolvimento do trabalho proposto

3.1. Características urbanísticas do modelo do entorno e da edificação analisada

O presente estudo foi realizado para Belo Horizonte, Minas Gerais, cidade sobre a qual, nas últimas décadas, sofreu um crescimento da urbanização sobre a malha topográfica. Esse fato, no contexto do setor residencial, ocorreu especificamente através de edifícios compactos e de múltiplos pavimentos (PMBH, 2007, 2011). Os parâmetros urbanísticos municipais, especificamente afastamentos mínimos laterais e de fundos associados às características topográficas da malha urbana levam a crer que a quantidade de luz natural admitida nos ambientes residenciais, especialmente em andares inferiores, vem sendo reduzida (GUIDI et al., 2018).

O modelo de tecido urbano e de edificação, utilizado neste ensaio, foi desenvolvido por Guidi et al. (2018), a qual, para a elaboração do entorno, tabulou dados fornecidos pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PMBH), tais como mapas e informações técnicas acerca dos projetos de loteamentos e de edificações do Município. A definição do tecido urbano ocorreu a partir da sobreposição dos mapas de bairros, de declividade, de tipologia de uso e ocupação, de zoneamento e de áreas de diretrizes especiais do Município, a qual possibilitou a determinação de regiões com edificações residenciais em topografias acidentadas e em zoneamentos urbanos de alto adensamento.

Nesse sentido, os modelos do edifício e do entorno de análise seguem os parâmetros urbanísticos da Zona de Adensamento Preferencial, conforme estabelecidos pela Lei 7.166/96 - Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo de Belo Horizonte (PMBH, 1996). Para isso, foi definido como objeto de estudo o bairro Buritis, que apresenta "topografia bastante acidentada e ocupação densa" (GUIDI et al., 2018), além de estar predominantemente inserido nesse zoneamento. Sendo assim, como a zona escolhida apresenta alto potencial construtivo, a edificação de análise apresenta elevado percentual de área construída em relação à área do lote.

Tendo isso em vista, o lote utilizado para a implantação do edifício residencial de análise é retangular com 12 metros frontais, paralelo à rua, e 30 metros laterais, resultando em uma área de 360 m², como mostra a Figura 2. Essas dimensões foram estabelecidas a partir do levantamento de lotes presentes no tecido urbano de Belo Horizonte, sendo esse um modelo recorrente. A edificação foi definida com cinco pavimentos a partir do nível da rua, sendo o primeiro de pilotis destinado ao estacionamento de veículos e, os demais pavimentos,

ao uso residencial (Figura 3), contando com duas unidades habitacionais por andar, uma voltada à parte frontal do lote e outra à parte posterior, com uma circulação central.

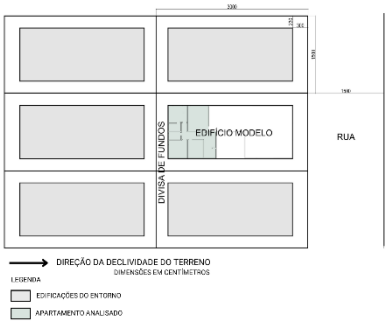


Figura 2 - Planta do lote típico

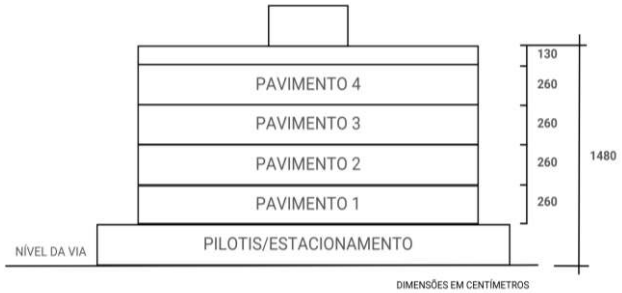


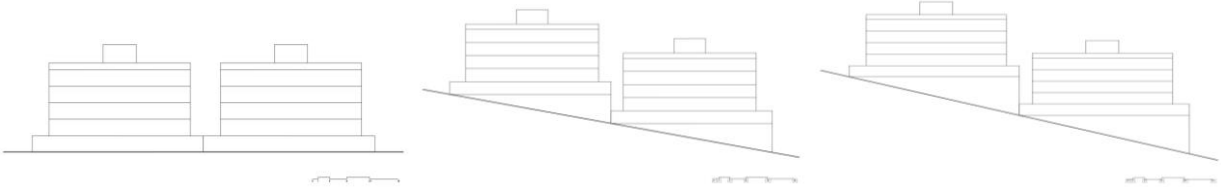
Figura 3 - Corte do prédio

No que se refere aos parâmetros urbanísticos, tanto o entorno quanto o edifício seguem os mesmos parâmetros regulatórios - terreno, altimetria, afastamentos mínimos frontais, laterais e de fundos.

Para as simulações de avaliação de disponibilidade de luz natural foram considerados apenas os apartamentos localizados ao fundo do lote, ou seja, aqueles com maior obstrução pelo entorno. Essa decisão foi tomada a fim de compreender cenários críticos e como eles se comportam perante a nova proposta de metodologia da norma. Sendo assim, foram avaliados os quatro apartamentos posteriores da edificação.

3.2. Características do modelo - topografia

Foram, então, determinados os valores de declividade longitudinal no terreno, de acordo com os índices encontrados por Guidi et al. (2018) no tecido urbano da malha topográfica da cidade de Belo Horizonte. Considerando as características topográficas do bairro estudado, com terrenos acidentados, foram escolhidas as declividades de 20% e de 30%, tendo em vista que, embora haja declividades superiores à 30%, a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte só permite o loteamento dessas áreas com a apresentação de laudo geotécnico que assegure a estabilidade do terreno em questão (PMBH, 1996) – ver Figura 4. Dessa forma, uma vez que constituem um caso extraordinário na malha urbana, os resultados das simulações realizadas para declividade superiores a 30% não foram considerados.



(a) (b) (c)

Figura 4 - Elevação do modelo sem declividade - SD (a); Elevação do modelo com declividade de 20% - CD20 (b); Elevação do modelo com declividade de 30% - CD30 (c)

3.3. Definição do modelo e das características dos cenários analisados

Para a avaliação do desempenho lumínico, foi realizada a elaboração de uma planta tipo, tomando como base, para a definição dos cômodos, os resultados apresentados pelas pesquisas de Guidi et al. (2018) e da Pesquisa de Posses e Hábitos – PPH 2019 (ELETROBRAS, 2019), além dos parâmetros estabelecidas pelo Código de Edificações de Belo Horizonte (PMBH, 2009).

A área total do apartamento foi definida consoante a dados do PPH (2019), em que, dentre uma amostragem de 300 apartamentos, distribuídos pelo território nacional, 70 m² aparece como uma das metragens mais recorrentes desse tipo de tipologia. As dimensões dos ambientes (Figura 5 e Tabela 3), por sua vez, foram estabelecidas a partir do estudo realizado por Guidi et al. (2018) acerca das dimensões médias de quartos e de sala.

A planta possui três quartos, sala, cozinha conjugada à área de serviço e dois banheiros, com área de 73,2 m². Além disso, na cozinha predomina o modelo fechado com abertura através da área de serviço. A área de abertura - ⅙ da área do piso - e o pé-direito de 2,60m foram definidos de acordo com o Código de Edificações de Belo Horizonte (2009). O peitoril, segundo a Instrução Técnica n°08/2017, do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais, é de 1,10m.

Tabela 3 - Área de piso e aberturas dos ambientes do apartamento tipo

Cômodo	Medidas (m)	Área (m²)	Área da janela (m²)
Sala	4,02 x 5,04	20,2	3,37
Quarto suíte	5,65 x 3,40	12,41	2,07
Quarto 1	3,00 x 3,50	10,5	1,75
Quarto 2	3,65 x 3,40	11,37	1,90
Banheiro suíte	2,40 x 1,50	3,60	0,45
Banheiro suíte	2,40 x 1,50	3,60	0,45
Área + Cozinha	2,35 x 4,90	11,51	1,92

Em relação aos sistemas de controle de admissão de luz natural, foram adotadas janelas com venezianas de correr de 3 folhas (2 folhas de veneziana e 1 folha de vidro que permite iluminação em 45% do vão) para os quartos. Esta definição foi feita a partir de levantamento feito via *Google Maps* do bairro em estudo.

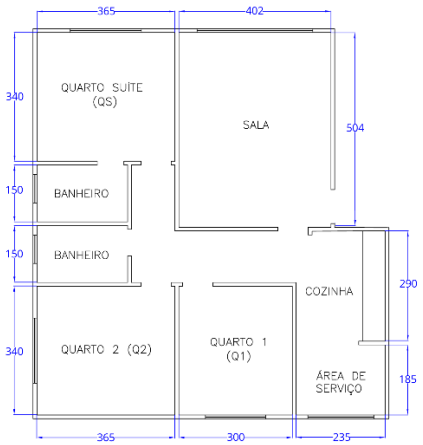


Figura 5 - Planta do apartamento analisado.

3.4. Cenários analisados

Foram consideradas as seguintes variáveis para a simulação e análise do modelo: pavimentos, orientação geográfica e declividade longitudinal do terreno. A priori, os apartamentos foram modelados com os índices de refletividade padrão em seu interior, de acordo com a proposta de revisão da NBR 15.575, a fim de identificar o desempenho das unidades avaliadas.

A partir da primeira análise (modelo padrão), identificou-se quais ambientes não atenderam aos requisitos mínimos da proposta de norma. Foram propostas duas soluções para o modelo (S1 e S2).

- PADRÃO (P): revestimentos internos com refletividade média e presença de veneziana nos quartos;
- SOLUÇÃO 1 (S1): alteração dos revestimentos internos para cores de maior refletividade e presença de veneziana (45% do vão) nos quartos;
- SOLUÇÃO 2 (S2): alteração dos revestimentos internos para cores de maior refletividade e ausência de venezianas nas aberturas (que poderia ser considerada como a abertura permitida por uma veneziana integrada que enrola sobre a abertura ou que corre para fora do vão).

A Tabela 4 apresenta os valores de refletividade propostos em cada cenário, conforme a disponibilidade de materiais no software de simulação.

Assim, foi adotada a seguinte sigla para a nomenclatura dos cenários avaliados: orientação da fachada de fundo do terreno (N, S, L, O) _ soluções (P - padrão; S1 - solução 1; S2 - solução 2) _ declividade (SD - sem declividade; CD20 - com declividade de 20%; CD30 - com declividade de 30%) _ iluminância (60 - 60 lux; 200 - 200 lux). Exemplo: N_P_SD_60

Tabela 4 - Valores de refletividade em cada cenário

	Modelo P	Modelo S1	Modelo S2
Paredes internas	51%	71%	71%
Piso interno	22%	49%	49%
Teto	70%	82%	82%
Piso externo	10%*	10%*	10%*
Vidro	85%	85%	85%
Fator de sujidade	5%	5%	5%
Entorno	38%*	38%*	38%*
Veneziana	sim	sim	não

* Os valores de refletividade para as edificações do entorno e para o piso externo de acordo com CEN (2018).

A métrica de Autonomia de Luz Natural (sDA) foi apresentada a partir de subscritos para a iluminância e o percentual de tempo considerados ($sDA_{60,50\%}$ representa a área na qual se obteve 60 lux durante 50% do tempo, entre 8h -18h ao longo do ano).

3.5. Modelagem, *software* de simulação e dados de entrada

A partir da definição do modelo de entorno (Figuras 6 e 7), da edificação, das características físicas dos ambientes de análise e das aberturas, foram elaborados os elementos tridimensionais no programa *Rhinoceros 6*, sendo esse, também, utilizado para a realização das simulações computacionais através do *plug-in ClimateStudio*.

Foi utilizado o arquivo climático de 8.760 horas da cidade de Belo Horizonte, Carlos Prates (2007-2021), do tipo TMYx. A altura da malha de pontos para a avaliação da Autonomia de luz natural, *sDA,* foi determinada a 0,75m acima do piso, afastada 0,50m das paredes, de acordo com a proposta de revisão da NBR

15.575 para desempenho lumínico. A quantidade de pontos em cada malha, por ambiente, está descrita na Tabela 5.

Tabela 5 - Pontos em cada malha, por ambiente

Cômodo	Malha de pontos
Sala	80
Quarto suíte	56
Quarto 1	42
Quarto 2	49
Área + Cozinha	50

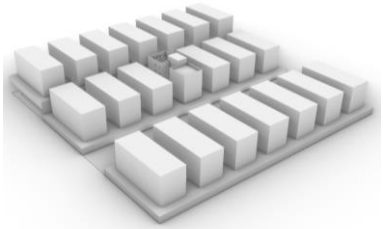


Figura 6 - Modelo – declividade = 20%.

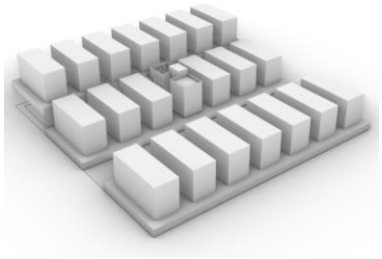


Figura 7 - Modelo-declividade = 30 %.

4. RESULTADOS

O estudo avaliou, de acordo com as novas métricas propostas pela revisão do item de iluminação natural da NBR 15.575, a disponibilidade de luz natural dos ambientes de permanência prolongada de uma edificação residencial multifamiliar localizada no bairro Buritis e inserida em contexto adensado. Em cada cenário (modelo e declividade), foram analisados 80 ambientes no total (4 ambientes em 5 pavimentos e em 4 orientações), tendo como base os valores de suficiência de iluminância mínima (60 lux) e o desempenho de iluminância alvo (200 lux) para 50% do tempo entre 8h e 18h.

A partir das variáveis de cada cenário, foram realizadas 72 simulações, sendo possível constatar que, nos cenários padrão, 17% dos ambientes não atenderam à métrica $sDA_{60,50\%}$ (que deveria atender no mínimo a 75% da área dos ambientes) e 40% dos ambientes analisados não atenderam à $sDA_{200,50\%}$ (que deveria atender a, no mínimo, 40% da área dos ambientes) quando considerados os 4 pavimentos dos modelos. Quando analisado por pavimentos, observou-se que os pavimentos inferiores apresentam os piores resultados, tanto para o atendimento da iluminância mínima (60 lux) quanto para a iluminância alvo (200 lux), conforme pode ser visto na Figura 8.

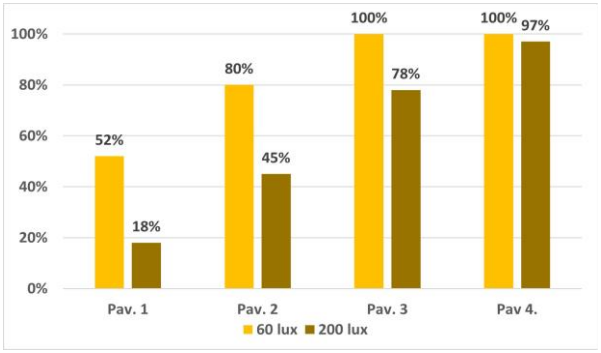


Figura 8 - Percentual de atendimento por pavimento nos cenários SD, D20 e D30.

No primeiro pavimento, a área mínima para a iluminância alvo é atendida por apenas 18% dos ambientes e no segundo pavimento por apenas 45% dos ambientes. Mesmo no 4° pavimento, mais desobstruído, houve ambientes que não atenderam à iluminância alvo. Considera-se que, para uma situação que se aproxima bastante de edificações reais construídas, os requisitos colocados pela proposta de norma limitam excessivamente o atendimento mínimo já que, quando um ambiente não atende à norma, é considerado que a UH como um todo não atende aos requisitos de iluminação natural. Por sua vez, uma unidade que não atenda à norma inviabiliza a construção em sua totalidade.

Os resultados mostraram ainda que a dificuldade de atendimento aumenta quando as edificações estão inseridas em terrenos com maior declive. A Tabela 6 apresenta os resultados para o caso base na declividade do terreno de 30%. Nessa tabela pode-se ver claramente que a maior dificuldade no atendimento está no requisito colocado para a iluminância alvo em todos os pavimentos e orientações e que a partir do 3° pavimento consegue-se atender aos níveis de iluminância mínima em todas as situações analisadas. Verifica-se também que são os ambientes voltados para o fundo do lote aqueles que apresentam menores índices de não atendimento já que são esses ambientes os mais influenciados pela topografia (elevação do entorno). Nota-se que, no 1° pavimento, apenas as salas atendem aos dois requisitos simultaneamente. Isso se dá pela maior área de abertura para iluminação natural desse ambiente, a qual não está bloqueada por veneziana.

Em relação à avaliação de cada cômodo da UH, a cozinha se destacou como ambiente mais crítico com relação ao atendimento dos parâmetros normativos, tanto ao atendimento à iluminância mínima quanto à iluminância alvo, devido principalmente a sua iluminação ocorrer de forma indireta pela área de serviço. Esse tipo de configuração é comumente encontrado na cidade. Novamente os percentuais de área obtidos para o atendimento dos requisitos são menos favoráveis nos pavimentos inferiores e nos terrenos de maior declividade, como ilustrado na Figura 9.

Tabela 6 – Disponibilidade espacial de luz natural para a UH padrão com declividade de 30%.

			APTO 1° andar		DESEMP.	APTO 2° andar		DESEMP.	APTO 3° andar		DESEMP.	APTO 4°andar		DESEMP.
Orientação da testada de fundo do lote		AMBIENTE	60 lux	200 lux		60 lux	200 lux		60 lux	200 lux		60 lux	200 lux	
	OESTE	Q1	90%	21%	NA	98%	26%	NA	98%	40%	MIN	100%	76%	SUP
		Q2	24%	5%	NA	43%	14%	NA	86%	29%	NA	100%	48%	MIN
		QS	35%	6%	NA	52%	15%	NA	94%	31%	NA	100%	48%	MIN
		SA	100%	53%	MIN	100%	78%	SUP	100%	94%	SUP	100%	100%	SUP
		CZ	69%	34%	NA	81%	41%	MIN	97%	44%	MIN	100%	59%	INT
	LESTE	Q1	95%	19%	NA	98%	29%	NA	98%	52%	MIN	100%	95%	SUP
		Q2	36%	5%	NA	67%	17%	NA	98%	26%	NA	100%	48%	MIN
		QS	25%	4%	NA	42%	17%	NA	96%	31%	NA	100%	44%	MIN
		SA	100%	57%	INT	100%	71%	SUP	100%	88%	SUP	100%	100%	SUP
		CZ	72%	34%	NA	88%	38%	NA	100%	44%	MIN	100%	59%	INT
	NORTE	Q1	74%	17%	NA	93%	24%	NA	98%	50%	MIN	100%	88%	SUP
		Q2	26%	5%	NA	40%	14%	NA	79%	21%	NA	100%	38%	NA
		QS	25%	4%	NA	40%	10%	NA	75%	25%	NA	100%	38%	NA
		SA	100%	43%	MIN	100%	63%	INT	100%	90%	SUP	100%	100%	SUP
		CZ	56%	31%	NA	81%	38%	NA	100%	47%	MIN	100%	72%	SUP
	SUL	Q1	88%	19%	NA	95%	36%	NA	100%	57%	INT	100%	83%	SUP
		Q2	55%	12%	NA	60%	19%	NA	95%	33%	NA	100%	52%	MIN
		QS	50%	10%	NA	67%	19%	NA	100%	38%	NA	100%	56%	INT
		SA	100%	49%	MIN	100%	72%	SUP	100%	100%	SUP	100%	100%	SUP
		CZ	63%	34%	NA	88%	44%	MIN	100%	47%	MIN	100%	66%	INT
% de não atendimento			65%	80%		40%	70%		100%	40%		100%	10%	

Dessa forma, tendo em vista que os piores índices de atendimento dos ambientes ocorrem para a iluminância alvo de 200 lux, foram testadas também duas soluções construtivas como estratégias que auxiliem na obtenção dos níveis mínimos. Foi também avaliada a consideração de que os ambientes de cada unidade habitacional pudessem ser avaliados por média ponderada dos resultados e não por cada ambiente individualmente.

No primeiro cenário, modelo padrão e SD, 70% dos ambientes atenderam aos critérios da norma, contrastando com 59% de atendimento no mesmo modelo CD20, enquanto no modelo CD30 encontrou-se 50% de ambientes que atendem à norma.

Em função de cozinhas iluminadas pela área de serviço serem comuns no cenário avaliado, e a partir da consideração de que, em função dos parâmetros urbanísticos, da configuração urbana e das condições de entorno nem sempre ser possível a garantia de uma boal iluminação para todos os cômodos da UH, uma foi verificado o percentual de atendimento aos novos requisitos normativos considerando as 16 unidades habitacionais avaliadas através de médias ponderadas pela área dos cômodos. Dessa forma, obteve-se 75% de atendimento no modelo padrão SD, 75% de atendimento no modelo CD20 e 62% de atendimento no CD30.

No segundo cenário, modelo com solução 1 (Figura 10), de maiores refletâncias internas, também se percebe a mesma lógica de resultados.

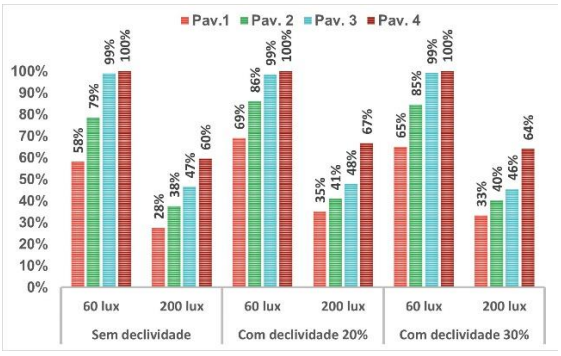


Figura 9 - Média simples do percentual de área de atendimento da cozinha no cenário padrão.

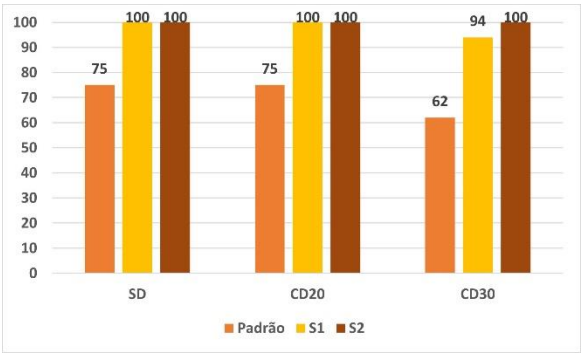


Figura 10 - Média ponderada do percentual de atendimento dos ambientes para a iluminância alvo (200 lux).

Quando avaliadas as unidades habitacionais por média ponderada, todos os apartamentos atendem às métricas exigidas pela norma nos modelos SD e CD20 e no modelo CD30 apenas um apartamento não atende aos requisitos colocados, totalizando 94% de atendimento.

No terceiro e último cenário analisado, modelo com solução 2 (Figura 10), os resultados voltam a seguir os mesmos padrões. Quando avaliados pela média ponderada, todos os ambientes atendem às métricas da proposta de revisão da norma.

Foi possível constatar que propostas de revestimentos internos com maior refletividade e ausência de venezianas nos quartos contribuem para uma melhor avaliação da edificação, bem como colaboram para que haja um melhor desempenho nos pavimentos mais prejudicados pela obstrução do entorno. Não se considera, no entanto, para o padrão construtivo analisado, a retirada das venezianas uma estratégia adequada. Essas poderiam ser substituídas por persianas integradas, que irão reduzir a obstrução do vão para iluminação. Além disso, quando realizada a média dos valores encontrados por apartamentos, e não somente a avaliação cômodo-a-cômodo, a disponibilidade de luz natural se apresenta suficiente para a UH como um todo, principalmente quando combinada à proposta de solução 2.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo analisar os como ambientes internos de unidades habitacionais localizadas em ambientes adensados se comportariam frente aos requisitos normativos propostos pela revisão de iluminação natural da NBR 15.575, apresentados junto ao CB02 da ABNT em 2020, usando os parâmetros construtivos do Bairro Buritis na cidade de Belo Horizonte. Considera-se significativo o avanço proposto pelo método que introduz não só a avaliação anual baseada no clima como se baseia em simulações computacionais, mais precisas em relação ao método gráfico anteriormente adotado.

O estudo realizado, no entanto, aponta que o método, ao ser mais preciso na estimação dos níveis de iluminação e a passar a considerar atendimento do nível mínimo de iluminação de 60 lux em 75%, ou 2/3 da área do ambiente (anteriormente seria avaliado o ponto central que corresponderia aproximadamente à metade do ambiente) e ao introduzir a métrica de iluminância alvo de 200 lux (antes não existente), se tornou de certa maneira restritivo em situações urbanas adensadas quando consideradas aberturas permitidas pelos códigos de obra municipais. Se consideradas as edificações como um todo, analisadas para 4 orientações e 3 declividades de terreno, quando avaliado o modelo padrão, nenhuma atenderia aos requisitos colocados pela proposta de revisão da norma, já que o não atendimento de um ambiente inviabiliza o atendimento da unidade habitacional e, consequentemente, de toda a edificação. Foram então avaliadas duas possíveis alternativas: aumento da refletividade interna dos ambientes e retirada da veneziana nas aberturas. As soluções testadas se mostraram positivas em relação à admissão de luz natural, especialmente nos modelos de maior declividade e nos pavimentos inferiores. Apesar de a combinação de revestimentos com maiores refletâncias e a ausência de elementos opacos nas aberturas ter contribuído significativamente para aumento da disponibilidade de iluminação natural, estas modificações ainda não se mostraram suficientes para o atendimento aos dispositivos normativos em todos os casos, especialmente nos pavimentos inferiores, o que indica que ainda seriam necessárias alterações adicionais em projeto.

Acredita-se o adensamento permitido pela legislação urbanística local e pela presença de ambientes que recebem luz indireta por outro cômodo como é o caso das cozinhas iluminadas através da área de serviço sejam fatores dificultadores para o atendimento da nova proposta normativa. Modificar o cenário urbano e construtivo exigiria uma alteração em normas de parcelamento urbano, de uso e ocupação do solo e de códigos de obra. Em um cenário de curto e médio prazo, acredita-se que tal não seja possível para grandes centros urbanos como um todo no país, e que tecidos urbanos já existentes seriam de lenta modificação, o que levaria o mercado a um impasse entre a garantia de maiores padrões de qualidade no que concerne à iluminação natural e a viabilidade construtiva de empreendimentos já previstos. Talvez este seja um dos fatores pelos quais a nova metodologia ainda não tenha sido publicada.

No sentido de contribuir para a avaliação de soluções de curto prazo que possam chegar a algum consenso que permita a publicação dos novos requisitos, foi analisada a possibilidade de a unidade habitacional ser avaliada como um todo, pelo menos em um momento inicial de transição de metodologias. Dessa maneira, permitir-se-ia a flexibilização da presença de luz natural em alguns cômodos - como a cozinha. Nesse caso, verificou-se um aumento de unidades habitacionais que atendem aos parâmetros normativos em todas as situações analisadas, exigindo ainda esforço adicional de projeto para o atendimento em 100% das unidades.

Sabe-se que esta não seria a situação ideal dado o entendimento de que a presença de luz natural de qualidade influencia diretamente no bem-estar das pessoas. Considera-se, no entanto, que a garantia de que a unidade habitacional como um todo possa receber em 75% da área de seus ambientes de permanência prolongada pelo menos 60 lux e 200 lux em pelo menos 40% da área destes ambientes seria um avanço em relação ao cenário normativo atual. E que a partir da adoção da nova metodologia, o mercado da construção civil poderia ser induzido a um novo processo de melhoria, através da contínua revisão normativa para aprimoramento.

Como limitações do trabalho coloca-se que o presente estudo apresentou um estudo de caso restrito a uma cidade e a um tipo de configuração urbana. O mesmo foi baseado em estudo da legislação urbanística

feita por Guidi et al (2018) que buscou avaliar condições extremas de acesso à iluminação. Tal pode não ser a situação presente na maior parte dos municípios brasileiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, I. Á. L.; CABÚS, R. C. **Influência da luz natural refletida pelo entorno na iluminação de edifícios em cânions urbanos no trópico úmido**. In: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Ouro Preto, Brasil, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-3: Procedimento de cálculo para a determinação da** iluminação **natural em ambientes internos**. Rio de Janeiro, 2007.

BECK, L. M.; PEREIRA, F. O. R.; SCALCO, V. A. **Influência de diferentes configurações urbanas no desempenho da iluminação natural em ambientes internos na cidade de Florianópolis**. XV ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído; XI ELACAC, João Pessoa, p. 2826 - 2834, set. 2019.

CEN - **European Committee for Standardization**. EN 17037: Daylight in buildings. Brussels, 2018.

CINTRA, M. S. **Arquitetura e luz natural: a influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais**. 2011. Dissertação – PPG da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

DANIELESKI, C. B.; OLIVEIRA, M. F.; MEDEIROS, D. R. **Avaliação do desempenho da luz natural em ambientes residenciais**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 10, p. e019012, mar. 2019. ISSN 1980-6809. Doi:https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652735.

FONSECA, R. W. da. PEREIRA, F. O. R.; CLARO, A. (2010). **Iluminação natural: a contribuição de suas reflexões no interior do ambiente construído**. PosFAUUSP, (28), 198-217. https://doi.org/10.11606/issn.2317-2762.v0i28p198-217

FREITAS, J. P.; LARANJA, A. C. **Efeitos da luz natural na saúde humana: uma revisão sistemática da literatura.** In: Anais do XVI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído/ XII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Anais. Palmas (TO) online, 2021.

FROTA, A. B. **Geometria da Insolação**. São Paulo: Geros, 2004. 289 p.

GIRALDO, N. V. ; **FONSECA, R. W.** ; MARIANO, P. ; PEREIRA, F. O. R. . DL Abacus- A simplified simulation-based tool for daylighting performance assessment in Brazilian dwellings. In: Building Simulation 2021, 2021, Bruxelas. Proceedings of Building Simulation 2021, 2021.

GUIDI, C. R.; ABRAHÃO, K. C. F. J.; VELOSO, A. C. O.; SOUZA, R. V. G. **Influência dos parâmetros urbanísticos e da topografia na admissão da luz natural em edifícios residenciais**. ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, julho 2018.

HOPPE, S. B.; ALVAREZ, C. E.; LARANJA, A. C. **Iluminação natural e legislação urbana: a experiência de Domingos Martins – ES (Brasil)**. 2015. Proceedings Euro Elecs 2015, Guimarães, Portugal.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. LM-83-12: **IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)**. New York, 2012.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Relatório 200504: processamento de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações**. Florianópolis: 2005. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/RT200504.pdf>.

LARANJA, A. C.; GAZZANEO, L. M. C.; CABÚS, R. C. **Regulamentações urbanas e edilícias: considerações sob o aspecto da iluminação natural em ambientes internos.** X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, 2009.

LEDER, M. S.; PEREIRA, F. O. R.; CLARO, A. **Janela de céu preferível: proposição de um parâmetro para controle da disponibilidade de luz natural no meio urbano.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 89-104, jan. / mar. 2008.

MORAES, O.; SCARAZZATO, P. S. **Iluminação natural no meio urbano: estudo de caso com o método dos indicadores de altura admissíveis aplicado a Campinas, SP**. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Curitiba, Brasil, 2003.

PEREIRA, F. O. R. ; **FONSECA, R. W.** ; GIRALDO, N. V. ; SCALCO, V. A. ; MARIANO, P. ; QUEIROZ, N. ; ROSA, F. F. . Ferramenta simplificada para a estimativa do desempenho da iluminação natural em edificações residenciais. In: XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, ANTAC, 2020.

PIRAEI, F.; MATUSIAK, B.; LO VERSO, V. R. M. **Evaluation and Optimization of Daylighting in Heritage Buildings: A Case-Study at High Latitudes**. Buildings, 12, 2022, pág.131. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings12122045>.

PMBH - PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. **Lei n° 7.166, 27 de agosto de 1996. Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município.** Diário Oficial do Município. Belo Horizonte, 1996. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei/7166/1996>.

PMBH – PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Lei n° 9.725, de 15/07/2009. **Institui o Código de Edificações do Município de Belo Horizonte e dá outras providências, Anexo III.** Diário Oficial do Município. Belo Horizonte, 2009.

PMBH – PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. **Mapa da tipologia de uso e ocupação em Belo Horizonte – 2011.** Secretaria Municipal de Desenvolvimento da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2011.

SANTOS, I. G.; AUER, T.; SOUZA, R. V. G., **Optimized indoor daylight for tropical dense urban environments**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 87-102, jul./set.2017.

TOLEDO, A. M.; CAVALCANTE, M. C. **Contribuição da consultoria ambiental na fase de projeto: desempenho de iluminação natural em apartamentos com foco no setor de serviço.** In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 14., ENCAC 2017 10., Balneário Camboriú, 2017.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao CNPq e à FAPEMIG pelo fomento à pesquisa.