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

SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL NO *AUTODESK REVIT* CONFORME NORMATIVAS BRASILEIRAS

Gabriel Ramos de Queiróz (1); Cristiano Geraldo Teixeira Silva (2); Carolina Gomes Leal Ximenes (3); Fernando Rocha Campos (4); Luiza Barrio Peixoto (5); Ana Carolina de Oliveira Veloso (6); Roberta Vieira Gonçalves de Souza (7)

(1) Mestre em Engenharia Civil, gqueiroz3@gmail.com, Faculdade Pitágoras de Belo Horizonte
(2) Doutorando em Gestão e Organização do Conhecimento, cgts.br@gmail.com, Universidade Federal de Minas Gerais
(3) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, carolinaximenes96@gmail.com, Universidade Federal do Ceará
(4) Graduando em Arquitetura e Urbanismo, frcmks@gmail.com, Universidade Federal de Minas Gerais
(5) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, luizabarrio@gmail.com, Universidade Federal de Minas Gerais
(6) Doutora em Engenharia Mecânica, acoveloso@gmail.com, Universidade Federal de Minas Gerais
(7) Doutora em Engenharia Civil, robertavgs2@gmail.com, Universidade Federal de Minas Gerais

RESUMO

Muitas ferramentas de simulação foram desenvolvidas para realizar análises de iluminação no ambiente construído e auxiliar na tomada de decisões de projeto. O programa computacional *Autodesk Revit* oferece recursos complementares para simulações computacionais em modelos digitais de edificações. Este artigo apresenta um estudo sobre a utilização do *plug-in Insight Lighting Analysis* (versão 3.0.0.1) do *Autodesk Revit* 2018 para verificar a sua capacidade de analisar o atendimento a normas e certificações brasileiras em simulações de iluminação natural. Para a realização das simulações foram utilizadas as configurações do modelo-base da norma ASHRAE 140, adaptando a edificação conforme a realidade brasileira. As simulações foram configuradas e executadas buscando seguir as orientações da norma de desempenho de edificações habitacionais NBR 15.575 e do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Os resultados demonstram que não foi possível executar as simulações com o uso do *plug-in* nos horários e condições de nebulosidade requisitados pela NBR 15.575, aproximando-se as configurações de simulação de acordo com o solicitado na norma; enquanto o atendimento aos requisitos do RTQ-R não é possível, pois as configurações apresentadas pelo *plug-in* são fixas e direcionadas para atendimento dos requisitos conforme a certificação LEED. Para o atendimento ao RTQ-R, torna-se necessária a utilização de um programa de simulação externo para analisar o desempenho da luz natural com base nas recomendações e exigências pertinentes ao regulamento.
Palavras-chave: iluminação natural, simulação computacional, Autodesk Revit 2018, NBR 15.575, RTQ-R.

ABSTRACT

Many simulation tools have been developed to perform lighting analysis in the built environment. The Autodesk Revit software offers additional features for computational simulations for digital building models. This paper presents a study on the use of the Insight Lighting Analysis plug-in (version 3.0.0.1) on the Autodesk Revit 2018 to check compliance with Brazilian standards and certifications for natural light simulations. The base model of the ASHRAE 140 standard was used in order to run the simulations, adapting its building according to the Brazilian context. The simulations were set up and executed in order to follow the guidelines of the housing performance standard NBR 15.575 and the Technical Quality Regulation for the Energy Efficiency Level of Residential Buildings (RTQ-R). Since the results demonstrated that it was not possible to run the simulations with the use of the above mentioned plug-in observing the standards required by NBR 15.575, the approach taken was approximating the simulation configurations according to the norm. Likewise, it was not possible to meet RTQ-R requirements because the settings presented by the plug-in are default and directed to LEED certification. For the purpose of meeting RTQ-R requisites, it is necessary to use an external simulation program to analyze the performance of natural light based on recommendations and requirements adequate to Brazilian regulation.
Keywords: daylighting, computational simulation, Autodesk Revit 2018, NBR 15.575, RTQ-R.

1. INTRODUÇÃO

Há disponibilidade de vários programas de modelagem e simulação computacional que apoiam e contribuem para a concepção de projetos arquitetônicos. Estes utilizam parâmetros para a avaliação do desempenho das edificações e o uso eficiente de recursos estão cada vez mais a colaborar na formatação de soluções de projeto com níveis de eficiência e qualidade exigidos em normas e certificações. (OLIVEIRA et al., 2016).

No entanto, apesar da proliferação dos programas computacionais para simulação, ainda há barreiras para a sua utilização. Os profissionais constantemente encontram limitações para integrá-los ao processo de projeto sobretudo durante a fase inicial de concepção e no seu desenvolvimento. Tem-se ainda que essas ferramentas ainda são pouco utilizadas devido à complexidade e à dificuldade de aprendizado, já que são exigidos dados de entrada em grande quantidade e conhecimentos multidisciplinares dos usuários (ATTIA, 2011; LAMBERTS et al., 2010).

Outra razão pela qual essas ferramentas de simulação ainda estão pouco disseminadas é o retrabalho atrelado à exportação do modelo digital do projeto para um programa especializado, devido à necessidade de adequações na modelagem e outros erros resultantes da falta de total interoperabilidade entre os programas de concepção projetual e de simulação (YEGANIANTZ, 2016).

Neste universo, a tecnologia *Building Information Modeling* (BIM) se destaca, uma vez que o objetivo desse sistema é o envolvimento simultâneo de todas as disciplinas envolvidas, facilitando o desenvolvimento e favorecendo a otimização do processo projetual (RUSCHEL et al., 2010).

Dentre os programas BIM de crescente utilização está o Autodesk Revit, que se firmou como uma ferramenta-base para o trabalho de arquitetos e relevante para o acompanhamento das necessidades e tendências do mercado (QUEIRÓZ, 2016). O programa possui alguns *plug-ins* de simulação, agrupados na ferramenta *Insight 360*, que ainda são pouco explorados, especialmente no contexto brasileiro. Visto que se trata de uma ferramenta recentemente disponibilizada, no ano de 2015, ainda não há literatura sobre a capacidade desta para a avaliação de desempenho no âmbito de normativas brasileiras. Assim, o presente artigo se baseia na seguinte questão: a ferramenta *Insight 360* (versão 3.0.0.1) do Autodesk Revit 2018 é suficiente para simulações de iluminação natural de acordo com normas e regulamentações brasileiras?

Yeganiantz (2016), em uma análise prévia da funcionalidade e aplicabilidade do *Insight 360*, dentro do Autodesk Revit 2016, afirma que os sistemas BIM contribuem como ferramenta de estudo e avaliação da luz natural no processo de projeto arquitetônico sem a necessidade de exportação do projeto para um simulador ambiental individual. No entanto, a autora também verifica que, ao avaliar a versão 2016 do programa, há ainda recursos de cálculo de luz natural não incorporados e que sua ausência poderia levar a necessidade de utilizar ferramentas externas ao Revit.

Diante disso, este trabalho visa apresentar uma análise das condições e do processo de utilização de um ferramental tecnológico para se obter resultados para avaliação das condições exigidas em normativas e certificações brasileiras, a partir dos resultados de simulação de iluminação natural. Para a realização deste estudo, foi utilizado o *plug-in Insight Lighting Analysis* (versão 3.0.0.1) do Autodesk Revit 2018.

1.1. *Building Information Modeling* (BIM)

A tecnologia BIM é um modelo considerado promissor na arquitetura, na engenharia e na indústria da construção (EASTMAN et al., 2008). A lógica é de sistematizar todas as informações que são atribuídas ao modelo tridimensional, para que essas possam ser acessadas com facilidade em qualquer etapa do projeto. Além disso, há uma vinculação constante do modelo tridimensional e dos desenhos bidimensionais, evitando o retrabalho e a necessidade do uso de outros programas.

Os modelos BIM vêm sendo utilizados como meio de troca de dados entre diferentes profissionais envolvidos na concepção e construção de edifícios. Esta é uma nova filosofia de trabalho que integra arquitetos, engenheiros, que passam a trabalhar de forma colaborativa, alterando e dinamizando o ciclo da informação. A característica intrínseca do BIM: o envolvimento de todas as disciplinas na modelagem paramétrica do objeto, proporcionado a combinação e colaboração de cada uma de suas lógicas particulares. A tecnologia BIM, apresenta-se, portanto, como uma evolução no processo de projeto, pois permite novas possibilidades de visualização e processamento, representação, uso e recuperação da informação, além da elaboração conjunta de novos conceitos e soluções (PEREIRA JUNIOR; BARACHO, 2015).

1.1.1. Autodesk Revit

O Autodesk Revit é uma plataforma para BIM que oferece suporte a um projeto multidisciplinar para trabalhos colaborativos e possibilita análises antecipadas da construção que auxilia a tomar decisões de melhor solução

para o projeto e embasamento de informações nas fases iniciais, tendo, através de *plug-ins*, a capacidade de realizar análises de luz natural, cálculo de energia e quantitativos de materiais (YEGANIANTZ, 2016).

Uma ferramenta integrada ao Revit é o *Insight 360* que oferece recursos para análise de aproveitamento energético da edificação. *O Insight 360* incorpora recursos como o *Energy Analysis* e o *Lighting Analysis*, além de propor a visualização e análise da radiação solar em superfícies volumétricas ou em elementos de construção, bem como entender a produção de energia fotovoltaica. Esta ferramenta também controla e faz uso do *EnergyPlus* para cálculos de calor dinâmico e cargas de resfriamento (AUTODESK, 2018a).

O *plug-in Insight Lighting Analysis* (versão 3.0.0.1) para o Revit faz uso de um serviço de renderização baseado na nuvem que, após o envio dos dados de entrada via Internet, realiza as simulações e retorna no programa os resultados de análise de iluminação. Este processo é fornecido por meio de créditos pagos ou disponíveis gratuitamente para versões educacionais do programa, sendo que esta última foi empregada neste estudo (AUTODESK, 2018b).

1.1.2. BIM e simulação computacional em iluminação natural

Muitas ferramentas de simulação foram desenvolvidas para estudar o desempenho da iluminação natural dos edifícios, as quais possuem suas próprias regras para preparar os arquivos de entrada de simulação. Tais ferramentas utilizam principalmente plataformas virtuais de Desenho Auxiliado por Computador (CAD – em inglês, *Computer Aided Design*) para criar modelos arquitetônicos que são convertidos em modelos de iluminação. Uma vez que se define o modelo arquitetônico em CAD, cria-se o arquivo de entrada de simulação para realizar as análises de iluminação natural (KOTA et al., 2014).

Yan et al. (2013) desenvolveram interfaces de sistema entre o BIM e a Modelagem Energética de Edificações (BEM – em inglês, *Building Energy Modeling*) para suporte de integração entre o projeto arquitetônico e a simulação computacional. Os autores utilizaram ferramentas de criação da Interface de Programação de Aplicativos (API) para traduzir o modelo BIM em arquivos de entrada para programas de *ray-tracing* para a simulação de iluminação natural. Com base nos métodos, criaram o protótipo *Revit2Radiance*, no qual as simulações podem ser realizadas imediatamente. Com isso, o BIM se tornou uma interface de usuário comum para o projeto arquitetônico e a construção de simulações de desempenho.

1.2. Normativas brasileiras para iluminação natural

As normas brasileiras surgiram como uma tentativa de assegurar a presença de luz nos ambientes internos, as quais possuem embasamentos técnicos próprios para a delimitação de parâmetros exigidos, assim como requisitos máximos e mínimos.

1.2.1. NBR 15.575

O conjunto de normas NBR 15.575 (ABNT, 2013) consiste na avaliação do desempenho de edificações habitacionais e o seu atendimento tem caráter obrigatório em todo o território nacional. As normas de desempenho buscam traduzir as exigências dos usuários em requisitos e critérios, para atingir soluções técnicas e construtivas adequadas, de forma a satisfazer corretamente as condições necessárias para o usuário (ABNT, 2013, p. 3).

A norma apresenta níveis mínimos (M) e obrigatórios de iluminância geral, com valores fornecidos em lux, para os ambientes: 60 lux para sala de estar, dormitório, copa/cozinha e área de serviço, sendo permitidos níveis 20% menores para ambientes situados em pavimentos térreos (ABNT, 2013, p. 27).

Para a correta avaliação do atendimento aos níveis mínimos de desempenho de iluminação, deve-se realizar a simulação, de acordo parâmetros definidos pela norma. A simulação a que a NBR 15.575 se refere é o método de cálculo proposto na NBR 15.215-3 (ABNT, 2005a) a partir de iluminâncias externas calculadas pela NBR 15.215-2 (ABNT, 2005b). No entanto, no presente artigo será usada simulação computacional para avaliação da possibilidade de atendimento aos requisitos da Norma.

Assim, devem ser feitas simulações para o plano horizontal que reproduzam os períodos da manhã (9:30h) e da tarde (15:30h), respectivamente para os dias 23 de abril e 23 de outubro. A avaliação deve atender às seguintes condições (ABNT, 2013, p. 24):

a) Considerar a latitude e a longitude do local da obra, supor dias com nebulosidade média (índice de nuvens 50%);

b) Supor desativada a iluminação artificial, sem a presença de obstruções opacas (janelas e cortinas abertas, portas internas abertas, sem roupas estendidas nos varais etc.);

c) Simulações para o centro dos ambientes, na altura de 0,75m acima do nível do piso;

d) Em qualquer circunstância, considerar os eventuais sombreamentos resultantes de edificações vizinhas, taludes, muros e outros possíveis anteparos, desde que se conheçam o local e as condições de implantação da obra.

1.2.2. RTQ-R

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) tem sua origem nas discussões sobre a crise energética no país. O RTQ-R é o programa capacitado para avaliação de edificações residenciais e teve sua primeira versão em 2009 (PBE, 2018).

Esse programa avalia o nível de eficiência das edificações residenciais, a fim de possibilitar a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) que é concedida pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro). Sua adesão é voluntária e incentiva profissionais da área da construção civil, entre arquitetos e engenheiros, a se anteciparem em relação a eficiência energética e contribuir para a sustentabilidade e preservação dos recursos energéticos. Desde 2014, no entanto, sua validação é obrigatória para obras que se utilizam de recursos públicos federais, tanto para edificações novas, quanto para aquelas que recebam retrofit, conforme consta na normativa IN02/2014 (BRASIL, 2014).

A edificação que se voluntariar a participar pode receber uma etiqueta de nível A até E. Para a obtenção dessas classificações são avaliados pré-requisitos, critérios de avaliação e bonificações. O trabalho em questão abordará apenas as questões relativas à iluminação e como esta se insere no contexto geral do programa.

A primeira abordagem a respeito da iluminação natural se dá nos pré-requisitos da envoltória da edificação. Determina que "o acesso à iluminação natural em ambientes de permanência prolongada deve ser garantido por uma ou mais aberturas para o exterior" (BRASIL, 2012, p. 28).

A iluminação natural também garante que a edificação possa receber pontos a mais em sua classificação final, por meio de bonificações, por método prescritivo ou de simulação. As bonificações são ações empregadas na edificação que favorecem a diminuição do gasto energético e aumento da eficiência da edificação.

Para a realização de simulação, deve-se seguir as seguintes instruções (BRASIL, 2012):

a) fazer a simulação em um programa de simulação dinâmica como *DaySim*, *Apolux* e *Troplux*, sugeridos pelo RTQ-R;

b) o arquivo climático utilizado deve ter formato adequado e conter 8.760 horas anuais;

c) deve-se modelar uma malha na altura do plano de trabalho com, no mínimo, 25 pontos de avaliação;

d) o entorno referente à edificação deve ser modelado.

Os resultados da simulação devem comprovar, para a maioria dos ambientes de permanência prolongada, a obtenção de 60 lux de iluminância durante 70% das horas com luz natural no ano em 70% do ambiente sem proteção solar ou em 50 % do ambiente quando haja proteção solar.

2. OBJETIVO

O presente trabalho concentra-se na análise dos benefícios e limites da utilização de simulação de desempenho de luz natural pelo programa *Autodesk Revit* com base em duas normativas brasileiras, a ABNT NBR 15.575 (ABNT, 2013) e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R (BRASIL, 2012).

3. MÉTODO

A partir de um levantamento bibliográfico das normas brasileiras e de pesquisas recentes sobre a análise de iluminação, foram organizadas as premissas necessárias para interpretação dos dados obtidos em uma simulação computacional.

A simulação de iluminação natural foi realizada por meio do *plug-in Insight Lighting Analysis* (versão 3.0.0.1) do Revit 2018, com a utilização de um modelo digital de edificação, e a metodologia seguiu os procedimentos apresentados no guia de ajuda do *plug-in* (AUTODESK, 2018b).

Além disso, o programa permite gerar resultados numéricos em arquivo de excel, os quais foram analisados para a obtenção e comparação de resultados.

3.1. Modelo digital

O modelo digital de edificação foi produzido no programa computacional *Autodesk Revit* 2018. Foi reproduzido o modelo-base da norma ANSI/ASHRAE Standard 140-2011 (ASHRAE, 2012) que aborda o método padrão de testes para a validação de programas computacionais que realizam simulações energéticas

de edificações. Este modelo atua como uma amostra de controle para facilitar o domínio e a compreensão sobre o *plug-in* de análise de iluminação do Revit.

O modelo é retangular com área interna de 48 m², composto por um único ambiente, sem divisórias internas, possui duas aberturas voltadas para sul e dimensões conforme a Figura 1.

O modelo digital foi adequado para a localização geográfica do país (hemisfério sul) e, portanto, suas aberturas foram reposicionadas para a fachada norte para se obter resultados mais expressivos com relação à iluminação natural onde o sol incide com maior frequência nesta fachada.

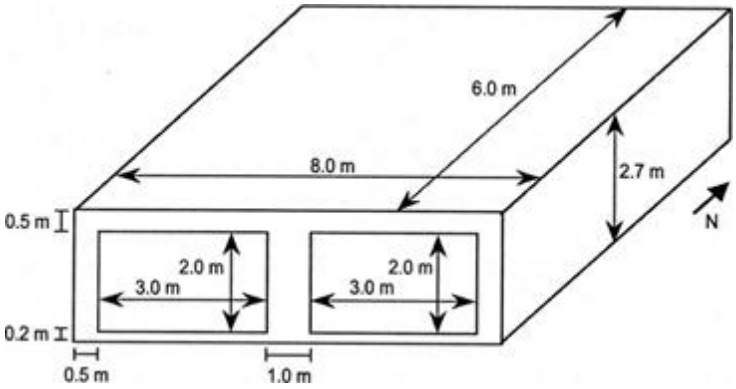


Figura 1 - Geometria do modelo-base da norma ASHRAE Standard 140 (ASHRAE, 2012, p. 16).

Além da geometria, o guia de ajuda do *plug-in* alerta para a definição adequada das propriedades dos materiais opacos e transparentes, a fim de garantir resultados mais precisos. As propriedades consideradas importantes para a análise de iluminação são controladas no Revit pela configuração de aparência de cada material, a partir de seus valores RGB.

Para os materiais opacos, devem ser configurados os índices de reflexão das superfícies internas do modelo, ou seja, piso, paredes e teto. A ASHRAE Standard 140 especifica que o modelo possui piso de madeira e as superfícies internas de suas paredes e teto são de gesso acartonado. De acordo com o Manual de Iluminação do Ministério de Minas e Energia (PROCEL/EPP, 2011, p. 33), a madeira possui uma refletância entre 10% e 50%, e o gesso entre 70% e 80%. Diante disso, os valores RGB das configurações dos materiais no Revit controlam a refletância das superfícies opacas, sendo definidos por uma tabela fornecida pelo guia de ajuda do *plug-in* que estabelece a relação entre os índices de reflexão e os valores RGB. Dessa forma, para o piso de madeira foi adotada a reflexão de 31% e para o gesso o índice de 78%.

A transmitância da luz visível é a propriedade que indica a quantidade de luz visível que adentra a edificação através do material transparente. As aberturas do modelo da edificação possuem vidro duplo com cada camada de vidro com espessura de 3,175 mm, conforme a ASHRAE Standard 140. Porém, para se tornar um modelo mais representativo da realidade brasileira, foram consideradas aberturas com vidro simples. Para representar a transmitância da luz visível das aberturas transparentes, foi considerado o guia de ajuda do *plug-in* que determina os valores RGB de acordo com a espessura do vidro e a quantidade de camadas modeladas no Revit. Sendo assim, foi escolhido um vidro simples equivalente, de 3,00 mm e 90% de transmitância da luz visível, escolhendo a cor personalizada no Revit como R171-G171-B171.

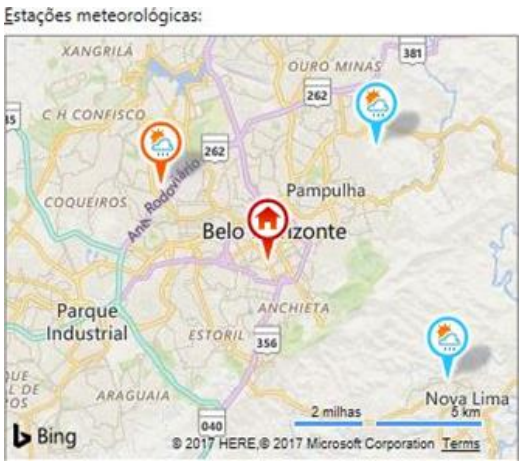


Figura 2 - Localização da edificação e estações climáticas disponíveis (adaptado de Autodesk Revit 2018).

Outra configuração importante para a preparação do modelo para as simulações de iluminação no Revit é a sua localização geográfica, devendo a respectiva estação meteorológica ser selecionada. Para a definição da localização geográfica da edificação, o Revit apresenta um mapa que mostra as estações meteorológicas disponíveis próximas ao local determinado, cujos dados são arquivos TMY ou são disponibilizados através do servidor climático da *Autodesk* para o mundo inteiro em uma malha de 14 km para os anos de 2004 e 2006 (AUTODESK, 2018a).

Para o presente trabalho foi inserida a localização da edificação para Belo Horizonte (Figura 2) e selecionada a estação climática mais próxima do centro da cidade, que forneceu dados do ano de 2006. Os dados climáticos podem ser visualizados por meio da ferramenta *Autodesk Green Building Studio*.

3.2. Simulações computacionais de iluminação natural

Foram realizados dois tipos de simulação existentes no Revit: a análise de iluminância, que trata de uma simulação estática na qual é possível controlar a data, o horário, os limites máximos e mínimos desejados e o plano de análise; e a análise pela métrica *Daylight Autonomy* (DA), no qual é coletada uma amostra do cálculo

para a certificação LEED v4 EQc7 opt1 (*Spatial Daylight Autonomy* [sDA] + *Annual Sunlight Exposure* [ASE]).

As simulações foram configuradas de acordo com as normativas brasileiras, NBR 15.575 e RTQ-R, e foi considerada somente a influência da iluminação natural.

3.2.1. Simulação conforme NBR 15.575

Como essa norma recomenda simulações em duas datas diferentes como método de avaliação dos níveis mínimos de iluminância, para este trabalho, optou-se por apresentar no presente artigo o processo para os períodos da manhã (9:30h) e da tarde (15:30h) do dia 23 de outubro, data especificada na NBR 15.575, pois este apresentou premissas e resultados mais variados, sendo considerado mais relevante para as discussões do trabalho.

Neste caso, por se tratar da necessidade de simulações estáticas, foi utilizado o tipo simulação de análise de iluminância no Revit. Para todas as simulações (Figura 3), foram configurados o plano de análise a uma altura de 75 cm (29,5275 polegadas), o limite mínimo de 60 lux, e uma malha de 12 polegadas para a obtenção de uma melhor resolução dos resultados (o *plug-in* possui as opções de 12 ou 72 polegadas). Os parâmetros variáveis entre as simulações executadas foram as configurações do ambiente, como modelo de céu, dados de radiação solar, data e horário.

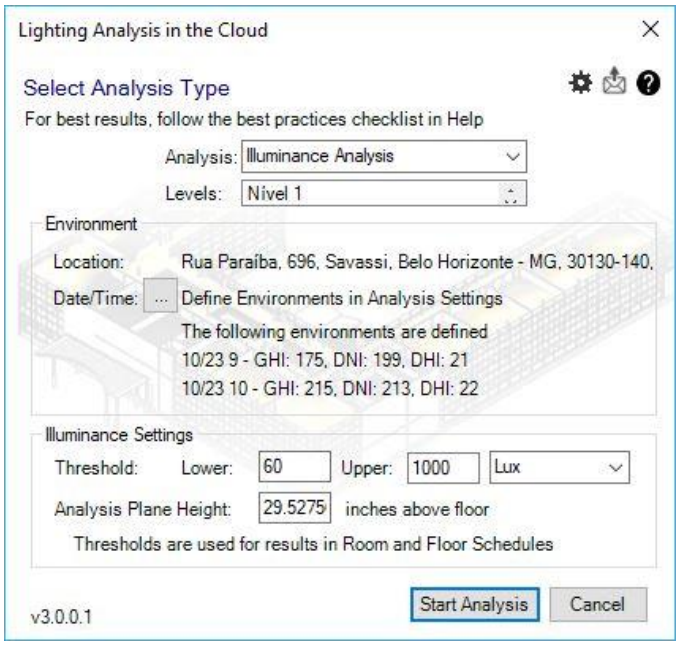


Figura 3 - Configurações gerais para as simulações estáticas de iluminância (adaptado a partir da entrada de dados no *Autodesk Revit* 2018).

A NBR 15.575 solicita simulações para o período da manhã (9:30h) e da tarde (15:30), porém, o *plug-in* disponibiliza apenas a opção de hora em hora. Dessa forma, as primeiras simulações foram feitas para o dia 23 de outubro (Figura 4) nos horários de 9h e 10h, para se obter uma média para 9:30h, e de 15h e 16h, para a média de 15:30h.

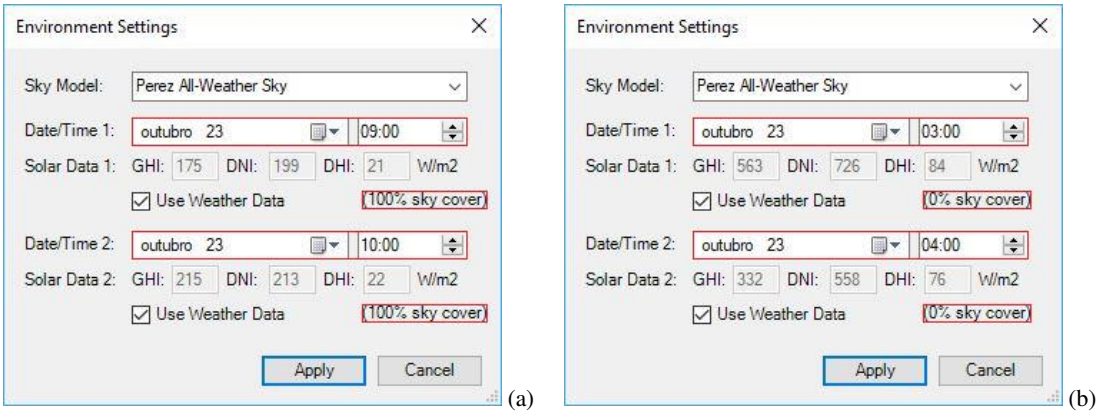


Figura 4 - Configurações do ambiente para as simulações iniciais do dia 23 de outubro: (a) 9h e 10h e (b) 15h e 16h (*Autodesk Revit* 2018, editado pelos autores).

Como os dados meteorológicos para a data e hora selecionadas são preenchidos automaticamente com base no que está disponível no arquivo climático correspondente à localização definida inicialmente para a edificação, pode ser observado nos dois quadros da Figura 4 que, para o dia 23 de outubro, o céu encontra-se totalmente encoberto no período da manhã e o período da tarde apresenta céu claro.

Como uma das condições exigidas pela NBR 15.575 é considerar dias com nebulosidade média, foram realizadas simulações em datas que possuíssem índice de nuvens de 50%. Para isso, procurou-se de dias mais próximos à data de 23 de outubro que atendessem tal condição, sendo selecionados o dia 6 de outubro para a manhã e o dia 25 de outubro para a tarde.

Mesmo sendo procurados dias com nebulosidade média, os horários em cada período não possuem exatamente uma média de 50% de céu encoberto, como é o caso do horário de 10 horas do dia 6 de outubro que possui 40%, e de 15 horas do dia 25 de outubro que possui 60% de céu encoberto.

O *plug-in* do Revit permite a inserção de dados da radiação solar, em substituição do preenchimento automático a partir do arquivo climático correspondente. Diante disso, foram realizadas novas simulações para o dia 23 de outubro. Porém, foram considerados os dados de irradiância global horizontal (GHI), irradiância direta normal (DNI) e irradiância difusa horizontal (DHI) de 9 horas de 06/10 para a manhã e de 16 horas de 25/10 para a tarde, pois ambas as datas e horários apresentam céu com 50% de nebulosidade.

O modelo de céu utilizado foi o de Perez, que é o modelo mais utilizado em aplicações de simulação de iluminação natural, como pela maioria dos profissionais no *Radiance*, e cujos resultados são considerados precisos para todos os tipos de céu (AUTODESK, 2018b). Porém, o guia de ajuda do *plug-in* também sugere a utilização do modelo de céu da *International Commission on Illumination* (CIE) quando é conhecido o tipo de céu a ser simulado ou para obter resultados para uma situação específica.

Como a NBR 15.575 especifica uma situação de céu com nebulosidade média, e para ampliar a investigação do *plug-in*, também foram realizadas simulações com os mesmos dados de data, horários e índices de radiação solar da situação anterior (modelo Perez), sendo somente alterado o modelo de céu para CIE Intermediário.

3.2.2. Simulação conforme RTQ-R

O RTQ-R determina que a simulação seja do tipo dinâmica e os requisitos para receber a pontuação de bonificação para iluminação natural seguem a métrica sDA, pois exige a comprovação de obtenção de 60 lux de iluminância em 70% do ambiente, durante 70% das horas com luz natural no ano, na maioria dos ambientes de permanência prolongada, cozinha e área de serviço.

Sendo assim, foi executado o tipo de simulação *Daylight Autonomy* (sDA preview), cujos dados são obtidos de uma amostragem das 3.650 horas utilizadas na análise completa para o cálculo da certificação LEED v4 EQc7 opt1, empregando as métricas sDA e ASE.

Por ser uma simulação direcionada para o LEED, todas as configurações de simulação são automaticamente predefinidas conforme as exigências da certificação (Figura 5). São elas: simulação anual definida para um período entre 8h e 18h, utilização do modelo de céu Perez para a análise, plano de análise a 30 polegadas (76,2 cm) acima do piso acabado e resolução para uma malha de 24 polegadas (60,96 cm).

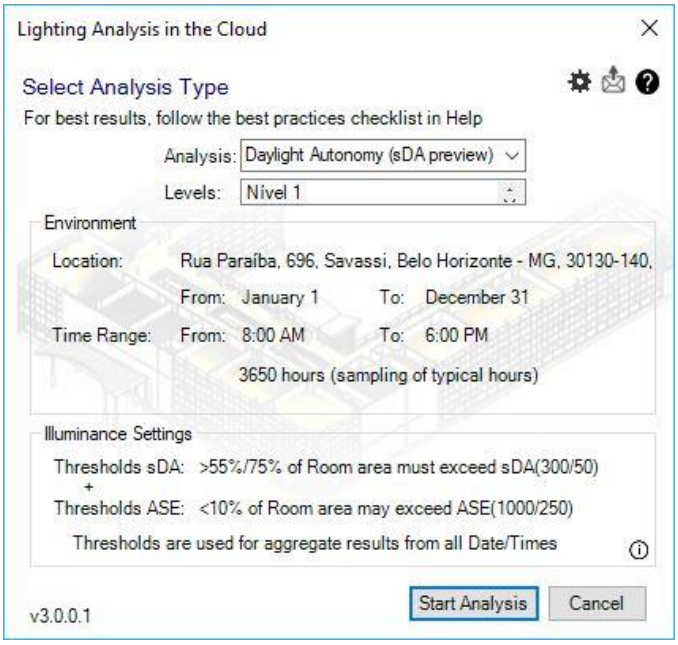


Figura 5 - Configurações gerais para a simulação *Daylight Autonomy* (adaptado de *Autodesk Revit* 2018).

4. RESULTADOS

Serão discutidos os resultados de acordo com cada normativa analisada, com oito simulações executadas para a NBR 15.575 e uma simulação para o RTQ-R.

4.1. NBR 15.575

Por se tratar de simulações estáticas, serão apresentados no presente trabalho os resultados gráficos obtidos em pontos da malha criada do plano de análise somente para o período da manhã, uma vez que o presente artigo se propõe a analisar a ferramenta e não a edificação.

Observa-se que os valores (em lux) para o dia 23 de outubro, apresentado somente para às 9 horas na Figura 6, são obtidos para um céu 100% encoberto, sendo que a NBR 15.575 solicita que o céu simulado seja 50%. Pela interpolação dos dados, uma vez que o Revit apresenta os resultados em malha e a norma requisita simulações para o ponto central dos ambientes, os valores finais obtidos representam uma média de oito valores

(quatro para cada horário – 9h e 10h) e fornecem um resultado de 540 lux, atendendo ao requisito da norma para este dia e horário.

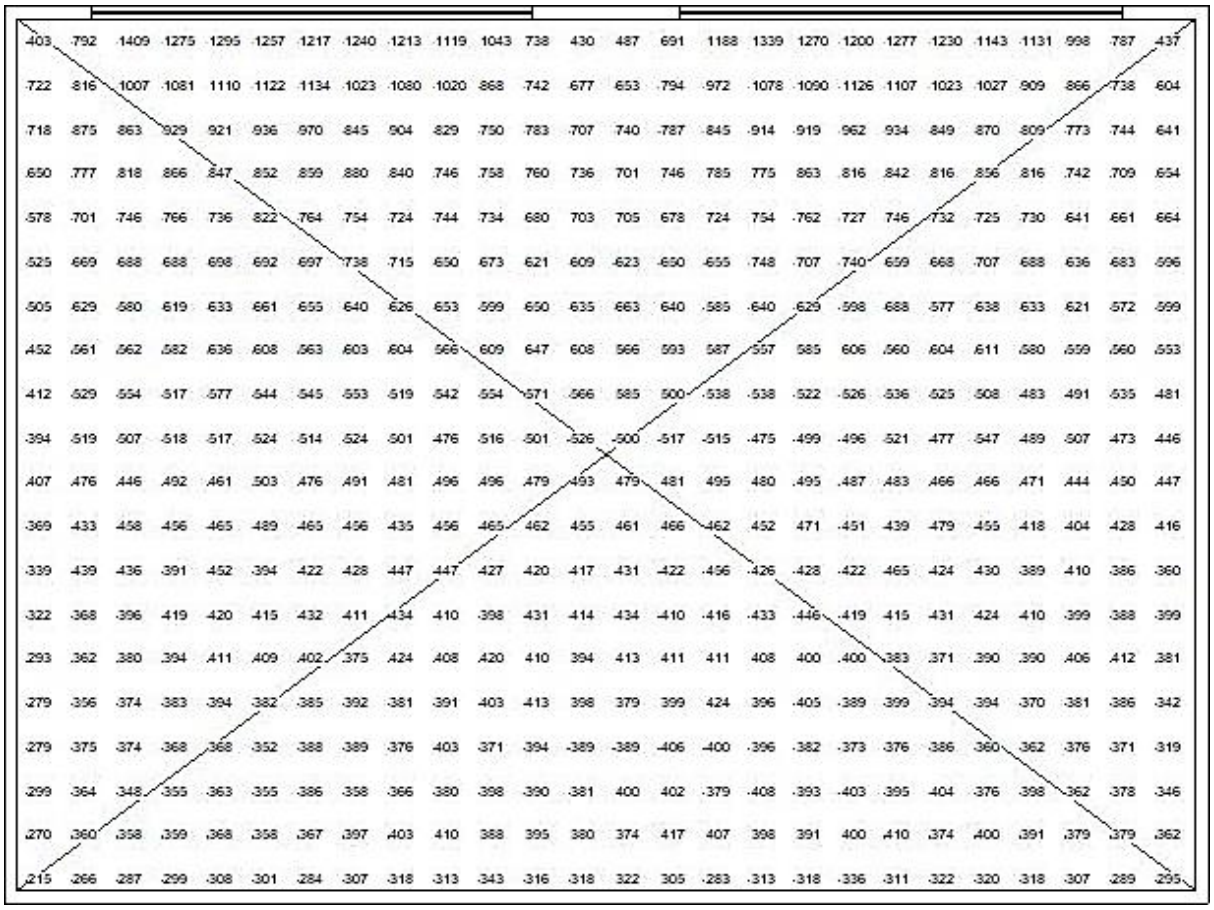


Figura 6 - Resultados das simulações iniciais às 9h do dia 23 de outubro (*Autodesk Revit* 2018).

Nos resultados para o dia 6 de outubro, os valores de iluminância calculados são considerados mais coerentes com o especificado na Norma, pois o céu apresentava-se com nebulosidade média de 45%, porém de acordo com a NBR 15.575 o dia a ser simulado é a data de 23/10. A troca da data, apesar de se tratar de datas próximas neste caso, também gera imprecisões nos resultados, já que há uma alteração no percurso do sol no céu. Neste caso, a média dos quatro pontos de simulação mais próximos ao centro geométrico do ambiente em cada horário fornece uma iluminância média de 2.108 lux, resultado este acima do determinado pela NBR 15575.

Apesar do objetivo em simular as datas exigidas pela NBR 15.575, nos resultados para o dia 23 de outubro, às 9h e 10h, porém com dados de radiação solar incidente das 9 horas do dia 6 de outubro, o céu não atendia as exigências de simulação. Em seguida, foi simulado para a nebulosidade correta, porém não foi utilizada a data exigida por norma, o que apresentou resultados para uma simulação considerada mais condizente com os requisitos de simulação da norma. Neste caso, a iluminância média forneceu um valor de 1.843 lux, valor superior ao mínimo determinado na NBR 15.575.

Conforme sugestão do guia do *plug-in*, foi realizada simulação com modelo de céu CIE Intermediário para o dia 23 de outubro, às 9h e 10h, com dados de radiação solar incidente das 9 horas do dia 6 de outubro. A mudança de modelo de céu gerou uma pequena variação nos resultados quando comparado com o modelo Perez. Neste caso, a iluminância média é de 1.722 lux.

Comparando todos os resultados, apresentados na Figura 7, nota-se que em simulações para o dia 23 de outubro, que não possui 50% de nebulosidade, as iluminâncias obtidas são significativamente menores que os valores obtidos para as demais simulações feitas para céus intermediários. Quando se altera a data para atender ao requisito de nebulosidade, a metodologia de simulação entra em conflito com o exigido pela norma.

No terceiro tipo de simulação, mesmo com a data e os dados de radiação solar corretos, o modelo de céu empregado (modelo Perez) pode gerar imprecisões nos resultados visto que este modelo interpreta os dados automaticamente para a definição do tipo de céu. Por exemplo, há dias de nebulosidade de 50% com dados de radiação solar muito próximos aos de um dia de céu claro, logo o modelo de céu Perez pode interpretar incorretamente essa diferença de nebulosidade e gerar dados imprecisos. E o último tipo de simulação com um tipo de céu CIE buscou se aproximar do exigido pela NBR 15.575, apresentando as menores iluminâncias dentre os resultados obtidos para céu intermediário.

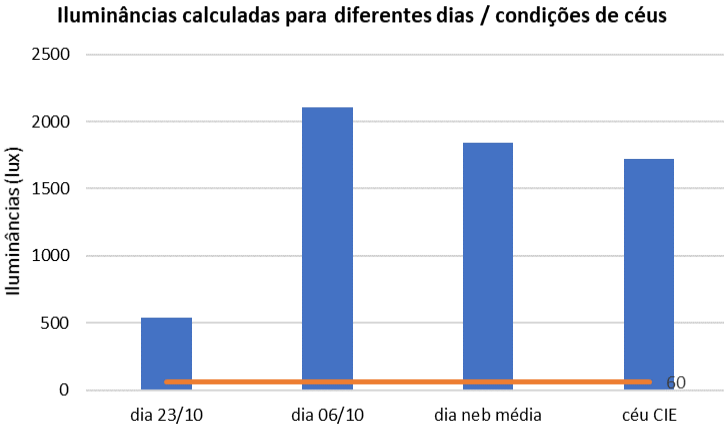


Figura 7 - Comparação entre todos os resultados de iluminâncias, calculadas para diferentes dias e condições de céus (Os autores).

4.2. RTQ-R

A simulação dinâmica executada no *plug-in Insight Lighting Analysis* (versão 3.0.0.1) gera como resultados as porcentagens das áreas que atendem aos requisitos de sDA e ASE exigidos pelo LEED e a sua consequente pontuação obtida para a certificação.

As configurações são definidas de acordo os requisitos do LEED, que exige sDA300/50 (> 300 lux, > 50% do ano) para pelo menos 55% ou 75% de área de piso ocupada regularmente. Além disso, o *plug-in* calcula automaticamente a métrica de exposição anual à insolação, *Annual Sunlight Exposure*, ASE1000/250 (>1000 lux, < 250/3650h do ano) que é considerada como atendida quando a exposição do sol se dá para menos de 10% de área de piso ocupada que atende o sDA300/50.

Entretanto, tais configurações predefinidas automaticamente para este tipo de simulação direcionado para o LEED impossibilitam a execução da simulação de acordo com as exigências do RTQ-R, pois não permite a livre troca de definição dos parâmetros, o que torna a ferramenta insuficiente para a análise de edificações conforme a normativa brasileira.

5. CONCLUSÕES

Com o objetivo de contribuir para a otimização do processo projetual, no que tange ao requisito de iluminação natural das edificações brasileiras, e colaborar para um melhoramento da qualidade do desempenho da edificação ainda em fase de projeto, foi analisado um programa de sistema BIM, o *Autodesk Revit* com a incorporação do *plug-in Insight Lighting Analysis* em sua interface e estrutura.

Ao simular os critérios exigidos pela NBR 15.575, é exigido que as simulações ocorram nos horários de 9:30h e 15:30h de dias específicos. No entanto, o arquivo climático disponível para a simulação dentro do *plug-in* não fornece dados intermediários de hora e não há instrução normatizada de como se obter tal resultado por simulação computacional. Coloca-se em questão a metodologia exigida pela norma, feita simulação através de um processo de cálculo manual, o da NBR 15.215-3, que poderia ser atualizada para comtemplar a simulação computacional. Dessa forma, não foi possível realizar a simulação com o uso do programa nos horários e dias requisitados pela norma, sendo necessária a aproximação das configurações de simulação (dois horários) para se obter resultados de um horário intermediário proposto pela NBR 15.575.

Acresça-se a isso, a dificuldade de se encontrar precisamente o valor do ponto central do ambiente, mesmo que para a obtenção de um valor preciso deveria ser feito por interpolação pela distância dos quatro pontos mais próximos, pois o programa cria uma malha padrão que é gerada automaticamente com dimensões fixas em 12 polegadas. É possível que se tenha concordância do ponto central do ambiente e de um ponto da malha em cômodos de geometrias diversas, no entanto não há precisão no resultado obtido.

É importante destacar que, enquanto a NBR 15.575 determina que para a realização de simulações termoenergéticas sejam utilizados programas computacionais validados pela ASHRAE Standard 140, para a avaliação do requisito de iluminação natural não há recomendações ou orientações a respeito que possam garantir a utilização de outros simuladores como o do Revit.

Em relação ao RTQ-R, há a impossibilidade de fazer simulações para o atendimento aos requisitos do método de simulação estabelecido no regulamento, pois as configurações apresentadas pelo *plug-in* são pré-

determinadas e direcionadas para a realidade norte-americana, voltadas, principalmente, para a certificação LEED. Isto se deve pela *Autodesk* ser uma empresa estadunidense que desenvolve programas que, prioritariamente, são úteis para a realidade em que estão inseridos. Considera-se, porém, que poderia haver a liberdade para simulação de outras situações.

Conclui-se que o uso do *plug-in Insight Lighting Analysis* (versão 3.0.0.1) para o *Autodesk Revit* 2018 é insuficiente para as simulações de iluminação natural de acordo com o regulamento brasileiro RTQ-R, tornando-se necessária a utilização de um programa de simulação externo para a realização do estudo de luz natural. Para a NBR 15.575 seria necessária a introdução de definições que permitissem de forma mais adequada o uso de ferramentas computacionais de forma a evitar a obtenção de resultados díspares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.215**: iluminação natural: parte 2: procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2005b. 27 p.

_____. **NBR 15.215**: parte 3: procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2005a. 42 p.

_____. **NBR 15.575**: edificações habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013. 71 p.

ASHRAE. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 140-2011**: standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs. Atlanta, 2012. 276 p.

ATTIA, S. **State of the art of existing early design simulation tools for net zero energy buildings**: a comparison of ten tools. Louvain La Neuve, 2011. Disponível em: <http://www-climat.arch.ucl.ac.be/s_attia/attia_nzeb_tools_report.pdf>. Acesso em: 28 out. 2018.

AUTODESK. **Família Revi**t. 2018a. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/products/revit-family/overview>. Acesso em: 26 out. 2018.

_____. **Insight Lighting Analysis Help**. 2018b. Disponível em: <https://forums.autodesk.com/.../insight-lighting-analysis-help.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2018.

BRASIL. Instrução Normativa Nº 2, de 4 de junho de 2014**. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 5 jun. 2014.

_____. Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. **Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais**. Rio de Janeiro, 2012.

COSTA, L. L. L. **A luz como modeladora do espaço na arquitetura**. 2013. Dissertação (Mestrado em Arquitetura)–Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2013.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **Manual de BIM**: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Tradução de Cervantes Gonçalves Ayres Filho. Porto Alegre: Bookman, 2014.

KOTA, S.; HABERL, J. S.; CLAYTON, M. J.; YAN, W. Building information modeling (BIM)-based daylighting simulation and analysis. **Energy and Buildings**, v. 81, p. 391-403, 2014.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C.; BATISTA, J. **Casa eficiente**: simulação computacional do desempenho termo-energético. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010. v. 4. Disponível em: <http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/conteudo.php?cd=857>. Acesso em: 28 out. 2018.

OLIVEIRA, L. K. S.; RÊGO, R. M.; FRUTUOSO, M. N. M. A.; RODRIGUES, S. S. F. B. Simulação computacional da eficiência energética para uma arquitetura sustentável. **HOLOS**, v.4, n. 32, p. 217-230, 2016.

PBE. PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM. **Sobre o Programa Brasileiro de Etiquetagem**. 2018. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sobre>. Acesso em: 30 out. 2018.

PEREIRA JUNIOR, M. L.; BARACHO, R. M. A. Relações entre a gestão da informação e do conhecimento e uso de sistema BIM por arquitetos e engenheiros. In: 4º SEMINÁRIO IBEROAMERICANO ARQUITETURA E DOCUMENTAÇÃO. 2015, Belo Horizonte. **Anais…** Belo Horizonte, 2015.

PROCEL/EPP. PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA/EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS PRÉDIOS PÚBLICOS. **Manual de iluminação**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/MANUAL%20DE%20ILUMINACAO%20-%20PROCEL_EPP%20-AGOSTO%202011.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2018.

QUEIRÓZ, G. R. **Análise da interoperabilidade entre os programas computacionais Autodesk Revit e Energyplus para a simulação térmica de edificações**. 2016. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.

RUSCHEL, R.; ANDERY, P. R. P.; MOTTA, S. R. F.; Veiga, A. C. N. R. Building information modeling para projetistas. In: FABRÍCIO, M. M.; ORNSTEIN, S. W. (Org.). **Qualidade no projeto de edifícios**. São Carlos: ANTAC, 2010. p 137-138.

SOUZA NETO, J. A.; CASTRO B. F. **Melatonina, ritmos biológicos e sono**: uma revisão de literatura. Revista Brasileira de Neurologia, Belo Horizonte, 2008.

YAN, W.; CLAYTON, M.; HABERL, J.; WOONSEONG, J.; BUN KIM, J.; SANDEEP, K.; DIXIT, M. Interfacing BIM with building thermal and daylighting modeling. In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 13., 2013. **Proceedings…** Chambéry, France: IBPSA, 2013.

YEGANIANTZ, T. S. **Simulação computacional ambiental no sistema BIM**: possibilidades e limitações do cálculo da luz natural. 2016. 147 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)–Universidade de Brasília, Brasília, 2016.