ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Simulação computacional para análise do desempenho da iluminação em edificações tendo como base o BIM

Computer simulation for the analysis of lighting performance in buildings based on BIM

Patrizia Di Trapano
Universidade Federal do Rio de Janeiro | Rio de Janeiro | Brasil | patrizia.trapano@fau.ufrj.br

Resumo

O uso de ferramentas de simulação computacional tendo como base o *Building Information Modeling* (BIM) está crescendo rapidamente, auxiliando os projetistas na tomada de decisões visando a redução do consumo de energia, e criando melhores condições de iluminação para os usuários. O objetivo deste trabalho é apresentar a experiência didática desenvolvida com os alunos do mestrado acadêmico do PROARQ/UFRJ no ano de 2022, no âmbito da disciplina de Iluminação Natural. O primeiro trabalho desenvolveu a construção através do software 3D (Revit) da sala de aula na qual estavam desenvolvendo a disciplina. A análise da iluminação natural foi simulada através do *software Climate Studio.* A segunda proposta foi desenvolvida para a mesma sala de aula, porém elaborando o modelo através do software *ArchiCAD,* compartilhado por meio de arquivo *IFC* com o software *Dialux Evo*. Como resultado, o estudo mostra que as ferramentas tecnológicas de que dispomos permitem a utilização de métodos de simulação através de ferramentas em BIM que trazem como resultado respostas que auxiliam nas decisões de projetos. Entretanto, ainda existem muitas dificuldades de interoperabilidade entre os softwares.

Palavras-chave: Simulação. Iluminação natural. Iluminação elétrica. BIM. Interoperabilidade.

Abstract

The use of computer simulation tools based on the Building Information Modeling (BIM) is growing rapidly, helping designers make decisions to reduce energy consumption and create better lighting conditions for users. The objective of this work is to present the teaching experience developed with academic master's students at PROARQ/UFRJ in 2022, within the scope of the Natural Lighting discipline.The first work developed the construction through of the 3D software (Revit) of the classroom in which they were developing the subject. The analysis of natural lighting was simulated using the software Climate Studio. The second proposal was developed for the same classroom, but developing the model using the software ArchiCAD, shared file IFC with the software Dialux Evo. As a result, the study shows that the technological tools we have allow the use of simulation methods through BIM tools that bring as a result answers that help in project decisions. However, there are still many difficulties in interoperability between software.

Keywords: Simulation. Natural lighting. Electric Lighting. BIM. Interoperability

Como citar:
DI TRAPANO, P. Simulação computacional para análise do desempenho da iluminação em edificações tendo como base o BIM. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

INTRODUÇÃO

A análise da performance da edificação é uma componente relevante para o projeto de edificações sustentáveis. Os objetivos para a utilização da iluminação natural são múltiplos, e vão desde questões estéticas e de saúde e conforto dos ocupantes, até a economia de energia no uso da iluminação elétrica. A partir da utilização de *softwares* com capacidade de medir a luz natural em um modelo BIM, os projetistas podem tomar decisões com base na iluminação natural, como a instalação de luminárias reguláveis e controles para complementar a luz recebida.

As simulações podem ajudar as equipes de projeto a lidarem com esses múltiplos aspectos, permitindo-lhes prever a quantidade de luz disponível dentro ou fora dos edifícios sob condições de céu selecionadas ou ao longo de um ano inteiro, e interpretar os resultados convertendo-os em métricas de desempenho. As simulações de luz do dia podem ser combinadas com simulações de fontes de luz elétrica para garantir que ambas as formas de iluminação se complementem [1].

Segundo Reinhart apud [2] p. 223, a proliferação de *softwares* assistidos por computador (CAD) tridimensional e Modelagem de Informações de Construção (BIM) na prática de projeto de construção e educação é outro fator que está ajudando a promover o uso de simulações de luz do dia. Isso se deve ao fato de que os tipos de modelos de construção tridimensionais comumente usados para a apresentação de projetos já contêm uma grande quantidade de detalhes geométricos que podem ser reutilizados para uma análise de iluminação natural.

O nível de complexidade geométrica necessário para uma simulação da luz natural depende do que está sendo calculado. Aconselha-se modelar o entorno imediato de um local, como edifícios vizinhos e paisagem que podem afetar a disponibilidade de luz natural no local. Também é uma boa prática modelar o plano do terreno e atribuir-lhe um material que reflita as condições no local, em vez de confiar no programa de simulação para tratar as refletâncias do solo automaticamente [2]. Para estudos de sombreamento, convém representar volumes simplificados com suas aberturas e as propriedades ópticas das superfícies.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os softwares de simulação computacional podem auxiliar na análise da integração entre luz natural e elétrica. As análises de desempenho da iluminação natural podem ser realizadas por meio de métricas estáticas ou dinâmicas. A maioria dos softwares de iluminação realiza simulações estáticas da luz natural em diferentes horários e dias do ano, sob diferentes tipos de céu, considerando-se os horários de ocupação da edificação quanto à disponibilidade de luz natural. São utilizados modelos de céu padronizados CIE [3]: o céu claro, o céu parcialmente encoberto e o céu encoberto e o Modelo de Perez [4], tido como mais preciso que o da CIE para representar condições reais de céu.

Os principais dados de entrada (*inputs*) em *softwares* de simulação estática são latitude do local, geometria do ambiente, área, posição e orientação das aberturas, transmissão luminosa dos elementos translúcidos, propriedades de refletância e coeficientes de manutenção (limpeza) das superfícies. Os principais dados de saída (*outputs*) fornecidos são níveis de iluminâncias e luminâncias, Fator de Luz Diurna (FLD), imagens renderizadas, curvas isolux, gráficos cinzas e imagens em *false colour*.

As simulações dinâmicas consideram todas as condições de iluminação natural durante o ano e traçam o perfil anual de iluminação natural. Seus resultados podem ser representados através de métricas específicas, como a autonomia da luz natural (DA) e as iluminâncias úteis da luz natural (UDA) [5]. Quando se trata de avaliar a disponibilidade de luz natural de forma dinâmica, faz-se necessário o uso de softwares com tal funcionalidade. Estes programas utilizam-se de uma base de dados meteorológicos (TMY: Tipical Meteorological Year), no Brasil chamada de Normal Climatológica, série 1991 a 2020 [6]. Recomenda-se o uso de dados da estação mais próxima à edificação a fim de obter uma melhor precisão na simulação.

As métricas utilizadas nos softwares de simulação dinâmica são as propostas pela IES LM-83-12 [7] para *Spatial Daylight Autonomy* (sDA), *Annual Sunlight Exposure* (ASE), *Useful Daylight Autonomy* (UDA) e *Daylight Autonomy* (DA). A autonomia espacial da luz do dia (sDA) indica se a área analisada tem iluminação suficiente através de fonte natural. Avalia-se isso por meio do percentual de área útil que atende, pelo menos 300 luxes em, no mínimo, 50% do tempo de utilização. Enquanto isso, a exposição solar anual (ASE) considera a radiação direta como fonte de desconforto, sendo avaliado o percentual de área em que se obtém ao menos 1.000 luxes em, no mínimo, 250 horas anuais de ocupação. Para a iluminação natural útil (UDA), considera-se o percentual de área útil que possui entre 100 luxes e 3.000 luxes, sendo abaixo desse valor insuficiente e acima excessivo. A autonomia da luz do dia (DA) é avaliada por meio do percentual de horas ocupadas nas quais o nível de iluminância de 300 luxes é atingido. Como instrumentos de simulação da iluminação natural, os *softwares Rhinoceros* 3D com o *plug-in ClimateStudio*, para simulações dinâmicas, e o *software DialuxEVO*, para simulações elétricas e estáticas, têm-se mostrado relevantes.

A modelagem paramétrica refere-se ao processo de modelagem da geometria do edifício utilizando parâmetros e funções por meio de tecnologias de programação. Sua interface gráfica de usuário e códigos visuais torna-a mais amigável do que as linguagens tradicionais de programação. Os desenvolvedores de softwares têm criado artifícios para aproximar as ferramentas da linguagem dos arquitetos, como é o caso do *Grasshopper*, software de programação gráfica em que o profissional não precisa lidar constantemente com a linguagem alfanumérica, pois muitos dos comandos são agrupados em caixas, conectadas umas às outras, tornando o processo mais intuitivo [8].

Na busca pelas ferramentas aliadas ao *Grasshopper* para executar simulações termo energéticas, verificou-se a predominância do *Ladybug/Honeybee* [9]. O *Ladybug* é destinado à realização de análise ambiental, importando arquivos climáticos *EnergyPlus* (.epw) para o *Grasshopper*, fazendo análises que conectam dados paramétricos e gerando gráficos 2D e 3D que podem auxiliar nas fases iniciais de concepção. O *Honeybee* possibilita modelagens lumínicas e termodinâmicas detalhadas para estágios mais avançados do projeto.

EXPERIÊNCIA DIDÁTICA

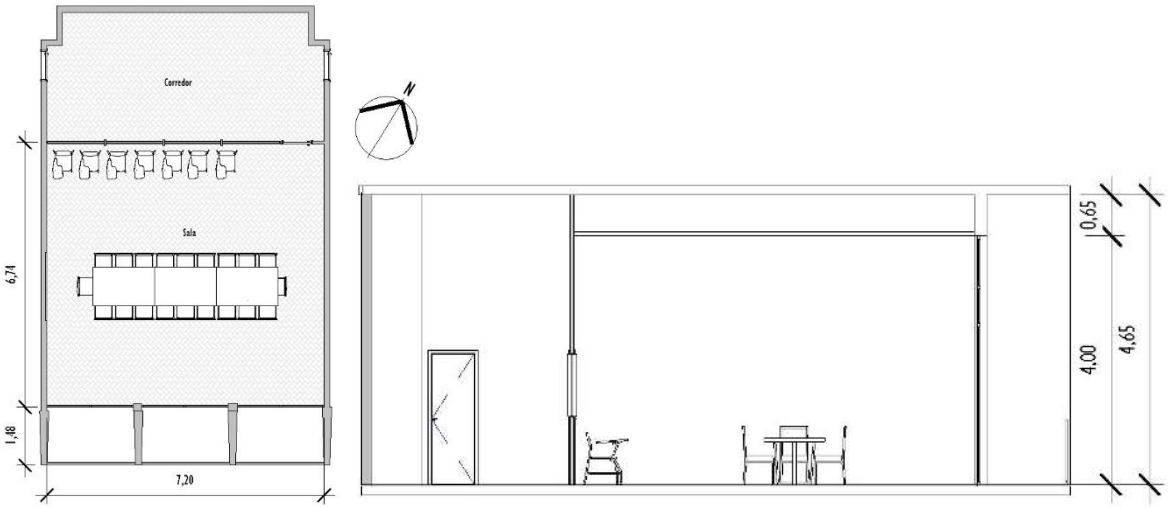
Desenvolveu-se a experiência com os alunos do mestrado acadêmico do PROARQ/ FAU/UFRJ no ano de 2022 no âmbito da disciplina Iluminação Natural e Conforto Visual. A primeira proposta de trabalho desenvolvido pela mestranda Alessandra de Oliveira Costa foi a construção em software 3D (Revit) da sala de aula na qual estavam desenvolvendo a disciplina. A análise da iluminação natural foi simulada por meio do *software Climate Studio*, tendo como base as métricas especificadas pelo IES LM-83-12 [7]. A sala de aula possui 6,75m de profundidade por 7,20m de largura e pé-direito de 4m. Apresenta balcões com projeção de 1,48m e janelas que vão do piso ao forro (Figura 1). O espaço de atividades da sala de aula apresenta 48m². Os materiais de revestimento e mobiliários foram considerados com as propriedades ópticas listadas na (Tabela 1).

Tabela 1: Materiais de revestimento

Elemento	Material	Propriedades ópticas
Janela	Vidro	Grau de reflexão 8,5% Grau de transmissão 87,7%
Forro	Gesso	Grau de reflexão 70%
Paredes internas	Pintura Branca	Grau de reflexão 80,69%
Piso	Madeira	Grau de reflexão 10,06%

Fonte: Tabela cedida pela mestranda Alessandra de Oliveira Costa

Figura 1: Planta e corte da sala 433 do edifício Jorge Machado Moreira



Fonte: Imagens cedidas pela mestranda Alessandra de Oliveira Costa

ILUMINAÇÃO NATURAL ÚTIL (UDA)

A área útil que possui iluminância entre 100 luxes e 3.000 luxes representa 85,2% da área total. A região que possui luminosidade excessiva encontra-se perto da região das janelas (Figura 2).

Figura 2: Análise de UDA através do *plug-in Climate Studio* para o *software Rhinoceros*

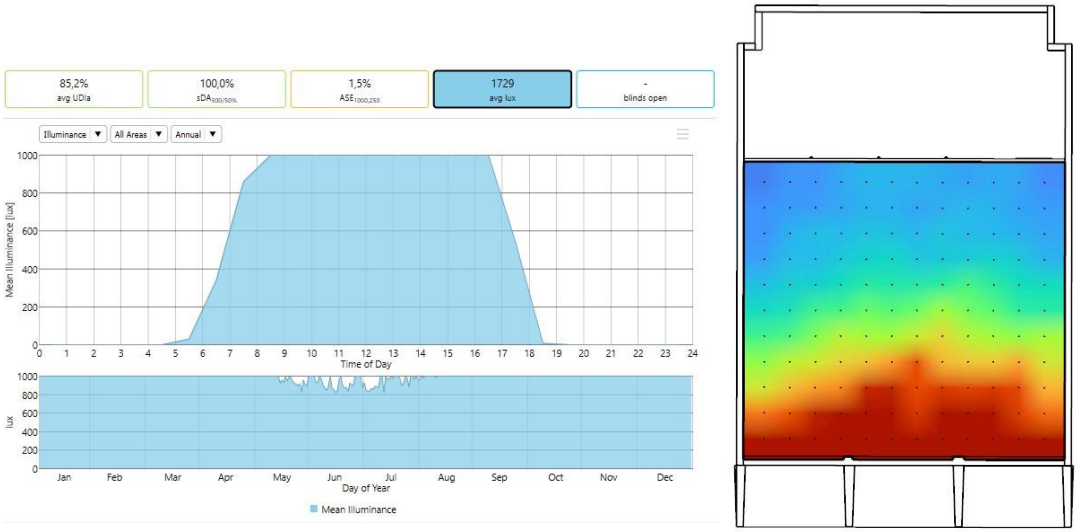


Fonte: Imagem cedida pela mestranda Alessandra de Oliveira Costa

AUTONOMIA DA LUZ DO DIA (DA)

O nível de iluminância mínimo de 300 luxes é atingido em 97,45% das horas de ocupação. Percebe-se que o excesso de iluminâncias se dá próximo a janela, expresso na cor vermelha na planta baixa da sala (Figura 3).

Figura 3 – Análise de DA obtida através do *plug-in Climate Studio* para o *software Rhinoceros*



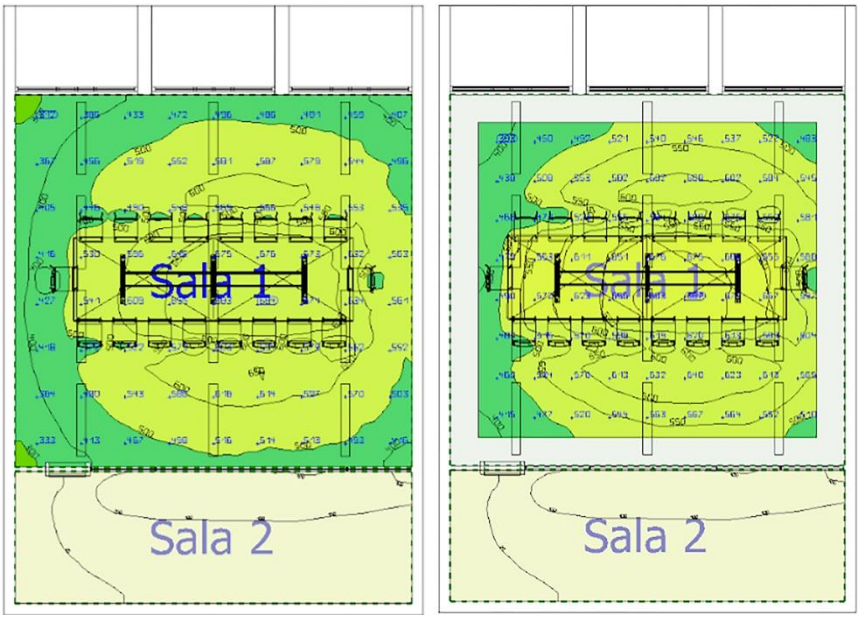
Fonte: imagens cedidas pela mestranda Alessandra de Oliveira Costa, 2023

A segunda proposta de trabalho foi desenvolvida pelo mestrando Rodrigo Dantas de Mendonça para a mesma sala de aula, porém elaborando o modelo através do *software* ArchiCAD, compartilhado por meio de arquivo *IFC* com o *software* Dialux Evo. A seguir, serão apresentados alguns resultados.

CENÁRIO DE LUZ ELÉTRICA

Por meio da simulação realizada, considerando apenas a fonte de luz elétrica da sala de aula, utilizou-se o modelo similar ao existente de luminária tipo calha 2x18W TuboLED, com temperatura de cor em torno de 5.000K, sem aletas de proteção. Foi possível constatar que, na área central, onde a mesa está localizada para a realização de atividades, a quantidade de lux mostrou-se adequada, como pode ser visto de na Figura 4. É importante destacar que a iluminância recomendada segundo a norma NBR ISO/CIE 8.995-1 [10] é de 500 lux. Os resultados apontados na tabela 2 mostram, tanto na situação da sala inteira quanto com o afastamento marginal de 0.5m, que a quantidade ultrapassa o valor estabelecido pela norma.

Figura 4: Gráfico de simulação DialuxEVO relativo à luz elétrica a partir de luminárias LED



Fonte: Imagens cedidas pelo mestrando Rodrigo Dantas de Mendonça

Tabela 2 - Resultados da simulação para cenário de luz relativo à luz elétrica

Parâmetros	Sala inteira	Plano de uso (afastamento marginal de 0,5m)
Média	533 lx	568 lx
Mín.	270 lx	357 lx
Máx.	690 lx	687 lx
Mín. / Médio (Uniformidade)	0.51	0.63
Mín./Máx.	0.39	0.52

Fonte: Tabela cedida pelo mestrando Rodrigo Dantas de Mendonça

CENÁRIO DE LUZ ELÉTRICA E LUZ NATURAL DE INVERNO – 21/6 às 12h

A simulação no Dialux Evo também permite analisar a união dos efeitos da luz natural e da luz elétrica no ambiente, como pode ser visto de maneira gráfica na Figura 5. Este tipo de análise torna-se relevante nos casos em que se evidencia a não necessidade do funcionamento de todas as luzes de uma sala durante o dia. A tabela 3 mostra, tanto na situação da sala inteira quanto com o afastamento marginal de 0.5m, que a quantidade ultrapassa muito o valor estabelecido pela norma, sendo que neste caso poderia ter sido feito uma divisão de circuitos que pudessem ser desligados durante o dia, devido ao excesso de luz natural. Isso ocasionaria maior economia de energia do sistema.

Figura 5 – Gráfico de simulação Dialux Evo relativo à luz elétrica a partir de luminárias LED + luz natural de inverno no Rio de Janeiro



Fonte: Imagens cedidas pelo mestrando Rodrigo Dantas de Mendonça

Tabela 3 – Resultados da simulação para cenário de luz elétrica + luz natural

Parâmetros	Sala inteira	Plano de uso (afastamento marginal de 0,5m)
Média	917 lx	928 lx
Mín.	477 lx	537 lx
Máx.	1676 lx	1326 lx
Mín. / Médio (Uniformidade)	0.52	0.58
Mín./Máx.	0.28	0.40

Fonte: Tabela cedida pelo mestrando Rodrigo Dantas de Mendonça

CONCLUSÕES

O estudo mostra que as ferramentas tecnológicas de que dispomos atualmente permitem a utilização de métodos de simulação através de ferramentas em BIM que trazem como resultado respostas que auxiliam nas decisões de projetos de iluminação. Estas análises, quando realizadas na fase de estudo do projeto luminotécnico, impactam nas decisões relativas ao projeto elétrico e na escolha de um sistema de automação, que muito contribuirá para com a economia de energia. Entretanto, ainda existem muitas dificuldades de interoperabilidade entre os *softwares*. Muitos modelos desenvolvidos num determinado *software* podem não ter um resultado satisfatório dentro do *software* específico de simulação lumínica. O modo como o modelo é elaborado para depois ser importado no software de simulação impacta no tamanho

do arquivo e na agilidade do processo. Muitas vezes, determinados modelos tornam-se incompatíveis com os simuladores, dificultando o processo. Esta discussão é relevante para o desenvolvimento e aprimoramento da tecnologia.

REFERÊNCIAS

[1] NATEPHRA, W. et al. **Integrating Building Information Modeling and Virtual Reality Development Engines for Building Indoor Lighting Design**. Visualization in Engineering, v. 5, p. 1-21, 2017.

[2] HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. **Building Performance Simulation for Design and Operation.** New York: Spon Press, 2019.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.215-2**: Iluminação natural. Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2022.

[4] PEREZ, R. et al. Modeling Daylight Availability and Irradiance Components from Direct and Global Irradiance. Solar Energy, v. 44, n. 5, p. 271-289, 1990.

[5] REINHART C. F., MARDALJEVIC J., ROGERS Z. **Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design**. Leukos, v. 3, n.1, p. 7-31, 2006.

[6] INMET**. Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas do Brasil 1991-2020.** Org.: Marcia dos Santos Seabra, Edmundo Wallace Monteiro Lucas. Brasília: INMET, 2020.

[7] IESNA. IES LM-83-12. **Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)**. New York: IESNA, 2012.

[8] FONSECA, C. **Design computacional e performance acústica.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

[9] DA SILVA, F.; SILVA, C.; GÓES, T. **O uso do *Grasshoper* na simulação termoenergética de edifícios: uma revisão sistemática**. Congresso de Construção Civil, UnB. Brasília, 2020.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: interior. Rio de Janeiro, 2013.