CONFORTO LUMINOSO EM SALAS DE AULA: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO POR MEIO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Jéssica Santos Torres (1); Mariane Blumenfeld Klein (2); Anna Christina Miana (3); Rafael Silva Brandão (4)

(1) Estudante, Arquitetura e Urbanismo, jessicatorres0615@gmail.com, PUC Minas, Avenida Dom José Gaspar, 500, prédio 47, cep. 30535.901, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 31 9256-5957

(2) Estudante, Arquitetura e Urbanismo, maribluklein@gmail.com, PUC Minas, Avenida Dom José Gaspar, 500, prédio 47, cep. 30535.901, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 31 98792-2124

(3) Pós doutora, Arquiteta e Urbanista, annamiana@pucminas.br, PUC Minas, Avenida Dom José Gaspar, 500, prédio 47, cep. 30535.901, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 31 998281836

(3) Doutor, Arquiteto e Urbanista, rsbrandao78@gmail.com, UFSJ, Praça Frei Orlando, nº 170, Centro, cep. 36307.352, São João Del-Rei, Minas Gerais, Brasil, 32 9924-4578

RESUMO

A espacialidade, incluídas as questões de conforto ambiental, é elemento importante no processo de ensino-aprendizagem. A pesquisa aqui proposta tem como objetivo geral aplicar um método de avaliação do conforto luminoso em salas de aula por meio de ferramentas computacionais. Para isso foi selecionada sala de aula, em uma edificação no Campus do Coração Eucarístico, PUC Minas, Belo Horizonte. Essa pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas: uma primeira etapa de revisão bibliográfica, com seleção do objeto a ser estudado e dos *softwares* a serem utilizados nas simulações do desempenho luminoso; uma segunda etapa de estudo das ferramentas computacionais e definição dos parâmetros de avaliação; uma terceira etapa de levantamento dos dados e simulação da situação atual de uma sala de aula, nas datas e horários definidos pelas Normas Brasileiras para avaliação do desempenho luminoso e, por fim, uma última etapa de simulações da sala de aula com algumas modificações no ambiente para diferentes análise dos resultados. Como produto deste trabalho analisou-se o uso do *software* Grasshopper, uma ferramenta de programação visual nativa do *software* Rhinoceros, que por meio plugin de análise ambiental Honeybee se conectou ao *software* Radiance para simular o desempenho luminoso de salas de aula, verificando que a parametrização também pode ser utilizada em análises de conforto ambiental, além de contribuir para uma liberdade formal do projeto indicando uma metodologia, poderia ser aplicadoao longo do processo de projeto.

Palavras-chave: iluminação natural, arquitetura escolar, avaliação de desempenho luminoso, simulação computacional.

ABSTRACT

The spatiality when including the aspects of environmental comfort, is a crucial element in the process of teaching and learning.The research proposed has the general objective of discussing a methodology for assessing luminous comfort in classrooms. For this, a building was selected at the Campus at Coração Eucarístico, PUC Minas, Belo Horizonte, in which evaluations of the luminous performance of the classroom were carried out by means of simulations with computational tools. This research was developed in four stages.The first stage was a bibliographic review, and the selection of the both the object to be studied and the software to be used in the simulations. The second stage was the study of the computational tools and the definition of the evaluation parameters. The third stage was the data collection and simulation of the current situation of the classroom, on the dates and times defined by the Brazilian Norms for assessing the Luminous performance. Finally, the last stage where simulations were tested by doing modifications in the classrooms and followed up by the analysis of the results. As a conclusion of this work, the use of the software Grasshopper

- a native visual programming tool of the Rhinoceros software - was analyzed, together with the Honeybee pluggin and also Radiance - an environmental analysis software - to simulate the luminous performance of classrooms, verifying that the parameterization can also be used in environmental comfort analyzes, in addition to contributing to the suitability of any project. Furthermore, the methodology could be applied in the process of projects.

Keywords: daylight, school architecture, light performance, computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

A importância da espacialidade no processo de ensino-aprendizagem nas escolas é tema antigo de debate entre profissionais tanto da área da pedagogia quanto da área da arquitetura, levando a questionamentos sobre o papel do espaço para o adequado desenvolvimento dos estudantes. O pedagogo Teixeira apud Choas (2016) expõe sua visão sobre a importância do espaço escolar quando diz que, [...] "*nenhum outro elemento é tão fundamental, no complexo da situação educacional, depois do professor, como o prédio e suas instalações*". (TEIXEIRA APUD CHOAS, 2016 p.51).

Ao longo dos anos, o processo de aprendizagem foi se modificando à medida em que transformações sociais foram ocorrendo, levando a mudanças em relação à comunicação, ao relacionamento entre os agentes educacionais, à localização e até mesmo à noção de tempo e espaço. Diante disso, se faz necessário, cada vez mais, repensar o ambiente escolar, para que o conhecimento consiga se alinhar com o contexto que os alunos e educadores vivenciam.

Os dispositivos legais que orientam a educação no país não são suficientes para garantir a qualidade da espacialidade da educação. De acordo com Kowaltowski (2011), a grande demanda de vagas é determinante como critério espacial e nem sempre a qualidade dos edifícios é prioridade. Com isso, temos a replicação de soluções muitas vezes desconectadas do contexto local e sem evidência da sua real eficácia. Kowaltowski (2011) também destaca que não se pode negar a tentativa de implementação de melhorias decorrentes da experiência de alguns órgãos centralizadores da produção da arquitetura escolar, como a FDE, no estado de São Paulo, e a FNDE (Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação), em âmbito nacional. Em Belo Horizonte, temos os exemplos das UMEIS (unidades municipais de ensino infantil), que também apresentam melhorias nas propostas projetuais dos espaços escolares.

Podemos observar que vários aspectos podem influenciar na qualidade do ensino das escolas, como leis, investimentos, transformações sociais, linhas pedagógicas, gestão administrativa, contexto espacial, acesso, além dos agentes educacionais, como a comunidade local, pais, alunos, educadores e arquitetos urbanistas. Para Alvares (2016), o arquiteto seria como o "Terceiro Professor", tendo papel de grande importância na qualidade dos ambientes escolares, e por isso, ele precisaria aprofundar seus estudos em outras áreas do conhecimento, para assim projetar espaços que deem suporte ao processo de ensino e aprendizagem. Com a possibilidade de proporcionar mais qualidades a estes espaços, é importante o arquiteto ter acesso às informações que relacionam Pedagogia, Arquitetura e psicologia ambiental e conforto ambiental de forma a contribuir nas tomadas de decisão durante o processo de desenvolvimento do projeto.

De acordo com Nascimento (2012, p. 21) "*assim como inúmeras outras atividades e necessidades humanas, o ensino precisa de um espaço adequado para que possa ocorrer. Este espaço, no entanto, como outros passou por um lento processo de gênese e evolução que durou séculos e continua até hoje*." Para Almeida e Rocha *apud* Choas (2016), a arquitetura e a educação são pluridimensionais, assim a articulação do pensamento de ambos os termos dessa relação apresenta múltiplas dimensões que podem ser tecidas em conjunto. O processo de aprendizagem e a relação professor-aluno se dão na sala de aula, que por sua vez está inserida no edifício escolar com especificidades de conforto ambiental, relacionadas à iluminação, acústica, térmica, assim, como, pelo dimensionamento espacial, ergonomia do mobiliário, uso das cores, entre outros aspectos. Todas estas especificidades podem contribuir positivamente ou negativamente no processo de aprendizagem, a depender de como cada elemento foi tratado.

De acordo Taylor *apud* Alvares (2016), as escolas do futuro buscarão soluções baseadas na sustentabilidade para proporcionar aos usuários a sensação de bem-estar, além de um melhor desempenho na realização das atividades. Os princípios de sustentabilidade em uma escola dão prioridade à luz natural, a ventilação natural, conseguem diminuir os gastos de energia, além de proporcionar mais saúde para os usuários e para o planeta Terra.

No âmbito arquitetônico, o conforto no espaço resulta em variações climáticas, comprometendo o bem estar dos cidadãos que os utiliza. Quanto melhores forem as condições de conforto térmico, acústico e luminoso nos ambientes de uma edificação, melhores serão as condições de trabalho e aprendizagem de quem os ocupa. Tal análise não se restringe apenas a meios escolares, mas também pode ser aplicada em quaisquer tipos de local de trabalho. (KOWALTOWSKI, 2011).

Bernard e Doris Kowaltowski (2001) afirmam que as condições não favoráveis em salas de aulas, como temperaturas muito elevadas, iluminação imprópria e ruído em excesso, podem influenciar de forma negativa na aprendizagem dos alunos.

Muller (2007), destaca que o ambiente de ensino-aprendizagem preocupado com a questão de conforto bioclimático é fundamental para o desenvolvimento da criatividade e da inteligência de cada indivíduo.

De acordo Muller (2007), a preocupação com condições de conforto ambiental de um ambiente escolar o torna saudável, confortável, energeticamente eficiente, termicamente, visualmente e acusticamente agradável, além de aumentar o interesse dos alunos, professores e funcionários em trabalhar no ambiente escolar, e trazer qualidade de vida e a todos.

A luz natural afeta diretamente o bem estar das pessoas. Uma boa iluminação pode aumentar a atenção, contribuindo para melhorar as habilidades para desenvolvimento de determinadas atividades. Em contrapartida, uma iluminação de baixa qualidade gera desconforto, podendo causar fadiga e dores de cabeça.

Muitos estudos comprovam que a iluminação natural no ambiente escolar propicia um melhor desempenho a alunos e professores, contribuindo para o conforto dos mesmos. A iluminação natural proporciona ainda uma melhor eficiência energética, que resultará, consequentemente, em um menor gasto com energia elétrica.

Estudos verificaram que alunos em salas de aula com maior área de janela, recebendo mais luz natural, alcançaram notas mais elevadas em testes padronizados do que aqueles que estudavam em salas de aula com menor área de janela ou luz natural (HESCHONG, 2002).

No entanto, deve-se conciliar a iluminação natural com a proteção da radiação solar direta, já que a segunda poderia acarretar um aumento na temperatura interna e um desconforto visual. Diante das colocações aqui elencadas esse artigo apresenta os resultados de uma pesquisa que avalia o desempenho luminoso em um estudo de caso por meio de simulações computacionais. A ideia foi testar ferramentas para simular o nível de luz natural e a sua distribuição, durante o processo de projeto, auxiliando nas tomadas de decisões.

2. OBJETIVO

O objeto de estudo dessa pesquisa é o conforto luminoso em salas de aula. Para essa análise foi selecionada uma sala de aula do edifício 47, dentro do Campus Coração Eucarístico da PUC Minas.

O objetivo geral dessa pesquisa é aplicar um método de avaliação do conforto luminoso em salas de aula, por meio de simulações computacionais.

Para atingir o objetivo geral da pesquisa foram realizados os seguintes objetivos específicos:

1. Estudo das pesquisas que trabalharam o conforto luminoso em salas de aula;
2. Levantamento dos métodos de avaliação do conforto luminoso em espaços internos, separando-os em: avaliação através de medidas *in loco*, avaliação do conforto luminoso por meio de simulações com modelos em escala reduzida e avaliação através de simulações com ferramentas computacionais;
3. Avaliação de *softwares* disponíveis para simulação do desempenho luminoso e seleção de ferramenta computacional a ser utilizada para estimar o nível de luz natural e a distribuição dessa dentro da sala aula;
4. Realização de simulações computacionais utilizando o *software* selecionado para avaliar o desempenho luminoso dentro da sala de aula do prédio 47, PUC Minas, Belo Horizonte, usando como referência os parâmetros definidos nas Normas Brasileiras.

3. MÉTODO

Esse artigo é resultado de uma pesquisa que foi desenvolvida em quatro etapas. Uma primeira etapa de revisão bibliográfica, que levou à seleção do objeto de estudo e a definição dos *softwares* a serem utilizados nas simulações computacionais para avaliação do desempenho luminoso de salas de aula. Uma segunda etapa de estudo das ferramentas computacionais selecionadas e definição dos parâmetros de simulação e de avaliação do desempenho luminoso. A terceira etapa consistiu no levantamento dos dados para as simulações da situação atual da sala de aula, nas datas e horários definidos pelas Normas Brasileiras para avaliação do desempenho luminoso e, por fim, foi feita uma última etapa de simulações da sala de aula com algumas modificações na arquitetura.

3.1. Estudo de caso – Sala 218, prédio 47 PUC Minas

O estudo de caso selecionado para testar a aplicação dos *softwares para* avaliação do desempenho luminoso foi uma sala de aula do edifício 47, dentro do Campus Coração Eucarístico da PUC Minas. O prédio 47[1] do Campus Coração Eucarístico da PUC Minas, projetado para abrigar o Curso de Arquitetura e Urbanismo, acolhe hoje o Instituto de Ciências Sociais, seus departamentos e parte de seus cursos. Iniciado em 1999, o desafio do projeto era materializar a proposta político pedagógica do Curso de Arquitetura e Urbanismo da PUC Minas, que trazia como temas prioritários a inclusão, a sustentabilidade e a construção.

A escolha desse espaço se deu por ser um local com uma posição estratégica no edifício, recebendo uma quantidade significativa de radiação e por se tratar de um ambiente que tem um período de permanência considerável, por ser destinado as aulas teóricas.

Segundo Baptista (2014), o edifício é organizado em blocos que acompanham o aclive do terreno, mediando as transições de níveis com espaços vazados e mudanças no sistema construtivo e na cobertura. O bloco de chegada, a leste, na parte mais baixa do terreno, é o de maior altura, organizado em torno de um claustro de respiração e ambientação, e abriga as coordenações, secretaria, salas de professores, laboratórios, salas de extensão, e pesquisa e salas de aulas teóricas. (Figura 1)

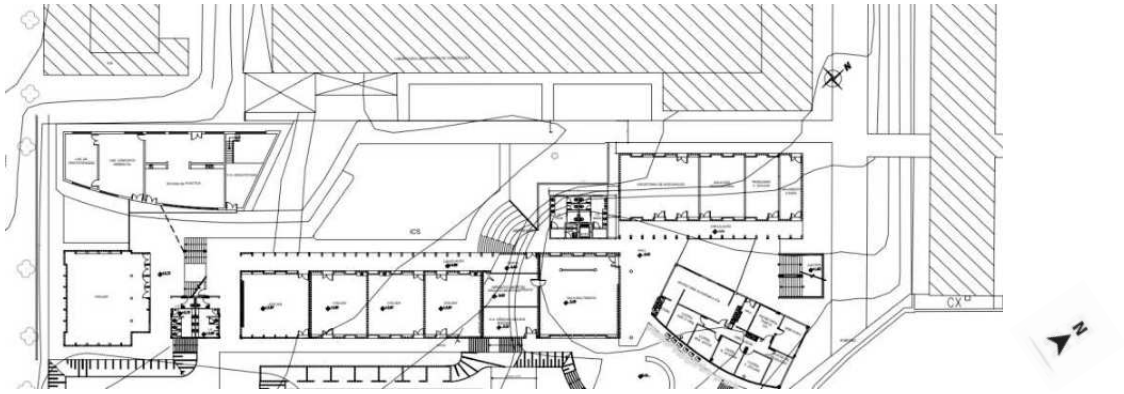
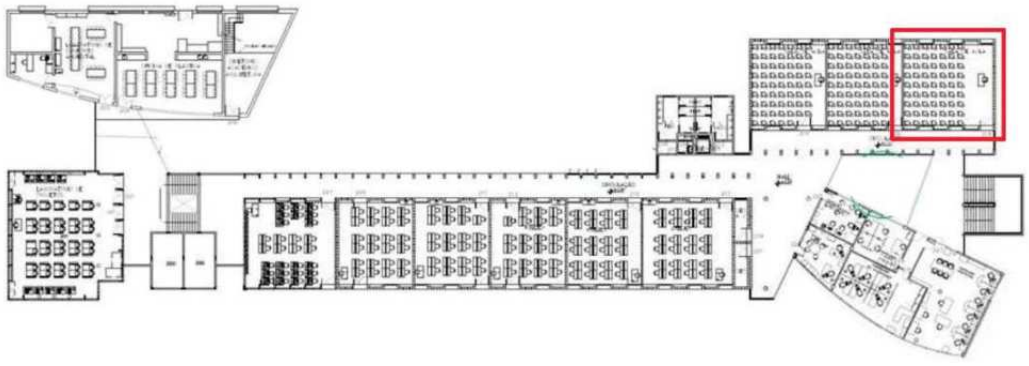


Figura 1 – Implantação prédio 47.
FONTE: Acervo pessoal

Do lado externo às salas teóricas têm-se a edificação vizinha, e do lado interno a circulação horizontal, que chega na escada, que se abre simultaneamente para o claustro e para a vista do campus.

O bloco dos ateliês, iguais entre si, ocupa linearmente a face sudeste, enquanto as salas desiguais entre si (a oficina de maquetes, os laboratórios, o diretório acadêmico) ocupam a face noroeste. Orientados ao longo do sentido sudeste, os ateliês recebem uma boa iluminação, sendo protegidos na fachada noroeste pela varanda de circulação (Figura 2).

[1] Ficha Técnica: Obra: Escola de Arquitetura e Urbanismo da PUC Minas; Contratante: Sociedade Mineira de Cultura; Área construída: 4350 m2; Projeto: 1999/2005; Obra: 2001/2006; Local: Belo Horizonte, Campus Coração Eucarístico, Avenida Dom José Gaspar, 500; Equipe Técnica; Arquitetos: Cláudio Bahia, Maria Elisa Baptista, Rubem Gomes e equipe; Projeto Estrutural: Ilídio Valentim Lobato; Projeto Elétrico: Dimensões Engenharia; Blocos de concreto: Minas Concrete Block; Execução: Pró-reitoria de Infra-estrutura da PUC Minas.



1

Figura 2 – Planta segundo pavimento prédio 47.
FONTE: FIP PUC Minas, 2013

Sobre os ateliês, no último andar, tem os mezaninos que consistem em locais de trabalho dos alunos. Todas as salas de aula apresentam grandes janelas, estabelecendo uma relação com o meio externo e as circulações abertas. A modulação dos vãos obedece ao módulo do bloco estrutural, remete ao ritmo das aberturas do edifício original do campus, o antigo seminário da década de 1930. A estrutura mista adotada nos blocos ortogonais, composta de alvenaria estrutural, concreto e cobertura metálica, dispensa revestimentos, e as esquadrias em báscula ferro T de grandes dimensões permitem a ventilação e a iluminação totais do vão (BAPTISTA, 2014).

Já a sala 218 consiste em um local de estudo com um revestimento simples, as paredes são de concreto celular pintadas de cinza, e outras duas paredes pintadas de tinta branca, a da frente, onde está localizado um quadro de vidro para o uso dos professores, e a outra parede pintada está localizada nos fundos da sala. Nas laterais, estão localizadas 6 janelas basculantes, 3 na fachada sul que apresentam vidro translucido e uma porta com vidros translúcidos e 3 na fachada norte, que apresentam uma película fume. A cobertura é uma laje nervurada aparente, onde está instalada a iluminação artificial tubular de led, responsável pela iluminação artificial da sala, e 4 ventiladores, para auxiliar na ventilação artificial. (Figuras 3 a 6).

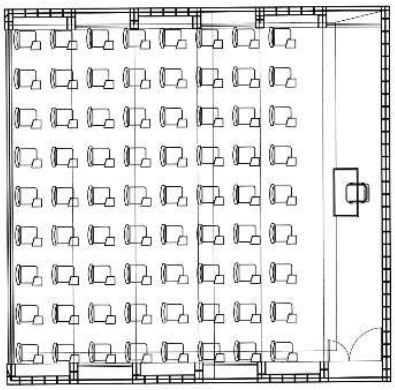


Figura 3 – Planta da sala 218 do prédio 47.
FONTE: Elaborado pelo autor, 2020



Figura 4 – Imagem interna da sala 218 do prédio 47.
FONTE: Acervo pessoal.



Figura 5– Imagem interna da sala 218 do prédio 47.
FONTE: Acervo pessoal.



Figura 6 – Imagem interna da sala 218 do prédio 47.
FONTE: Acervo pessoal.

3.2. Descrição das simulações computacionais

O desenvolvimento desta pesquisa baseou-se no método proposto, por meio da definição da simulação computacional e análise dos dados em si conforme os seguintes itens:

1. Escolha da sala utilizada como referência para o estudo de caso, sala de aula 218 do prédio 47, Campus Coração Eucarístico, Belo Horizonte;
2. Definição de parâmetros de análises de acordo com as normas. Foi utilizada a Norma Brasileira NBR 15215 que define as datas e os horários para simulações. São eles: 23 de abril e 23 de outubro, às 09:30h e às 15:30h;
3. Definição do entorno imediato para a modelagem e simulações. A definição do entorno se deu por meio de uma visita a campo para poder entender quais edifícios vizinhos influenciam diretamente na iluminação da sala 218;
4. Escolha dos *softwares* que possibilitam as simulações computacionais. Entende-se o termo "simulação computacional" como referente a qualquer algoritmo que mimetiza um processo físico. (HITCHCOK, 1995).

O ponto de partida foi identificar um *software* de modelagem que trabalhasse bem com *softwares* de simulações de conforto luminoso. Foi verificado que o Rhinoceros, programa de modelagem paramétrica, trabalha de maneira eficiente com a ferramenta de análise ambiental Radiance, que permite preparar e executar uma variedade de análises do desempenho luminoso. A escolha dos *softwares* se deu pela integração adequada com outros programas de modelagem e desenho técnico como CAD e SketchUp, Archicad e Revit. Por trabalharem com modelagens complexas, especialmente em geometrias curvas. Pela possibilidade de integração com processos paramétricos, pela integração adequada com modelagens térmicas e energéticas, além de propiciar um controle de dados e resultado precisos tanto nas modelagens quanto nas simulações.

Durante essas escolhas foi compreendido que a comunicação entre as ferramentas de modelagem e de análise ambiental seria feita com o Grasshopper, um aplicativo de programação orientada ao objeto paramétrica nativa do Rhinoceros. Por sua vez, esse possui o plugin de análise ambiental Honeybee que consegue conectar o Grasshopper com programas de análise ambiental. Além desses *softwares*, foi utilizado também o programa Optics 6, que fornece uma base de dados sobre vidros.

5. Estudos dos *softwares* escolhidos:

Rhinoceros - Programa de desenho (CAD), possui informações geométricas, linhas de comandos e ícones, trabalha bem com superfícies curvas, além de permitir automatização paramétrica.

Grasshopper - Programa paramétrico que possui uma linguagem de programação traduzida em baterias (pilhas), consegue automatizar comandos e conecta com programas externos.

Honeybee - Ferramenta de análise ambiental, programada em phyton (linguagem de programação de alto nível), trabalha com programa de código aberto como o Radiance.

Radiance - Programa que permite calcular as iluminâncias internas de um ambiente no período de um ano, possibilita a simulação sob qualquer condição de céu, pois utiliza o método do raio traçado e o tipo de céu. Com isso é possível simular em diferentes dias e horários para um mesmo tipo de céu.

Optics6 - Projetado para trabalhar com dados ópticos para camadas de vidro, exporta dados dos vidros, cria camada de vidraça única com diferentes substratos, calcula valores integrados a partir de dados espectrais, por exemplo, índices de cores, propriedades visíveis e solares, e emissividade.

6. Critérios para modelagem:

O ponto de partida foi compreender os elementos necessários nas simulações para que a modelagem fosse desenvolvida.

Para modelagem a separação dos elementos foi feita da seguinte forma:

-Geometria: Simplificar ao máximo a modelagem da sala e do entorno para não interferir no tempo da simulação. As paredes podem ser feitas sem espessuras e não precisam desenhar superfícies não vistas.

-Materiais: Identificar cada material presente na sala para poder separar e aplicar de forma correta nos programas de simulação, além do levantamento da cor presente em cada elemento para alcançar um resultado mais preciso.

-Fontes externas (como sol e céu): Dados fundamentais para simular o mais próximo da realidade, pois tanto o sol quanto o céu vão influenciar na disponibilidade de luz natural, e consequentemente, na quantidade de luz que penetra no ambiente. Nesta simulação o céu utilizado foi o parcialmente encoberto.

-Grid: Distância entre os pontos de teste que consegue influenciar na resolução da simulação. Para esta simulação foi utilizado um grid de 0.41m.

-Plano de trabalho: Altura do grid com relação ao piso, que neste caso foi considerado 0.75m.

7. Simulações computacionais de dois cenários, variando características arquitetônicas para comparar resultados. Cenário l laje nervurada aparente e o cenário 2 com forro branco debaixo da laje nervurada.

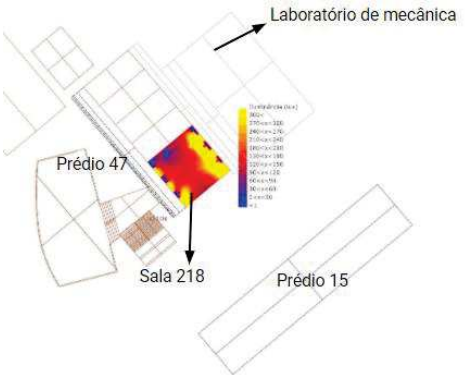


Figura 7 – Planta baixa do modelo de simulação.

FONTE: Elaborado pelo autor, 2020.

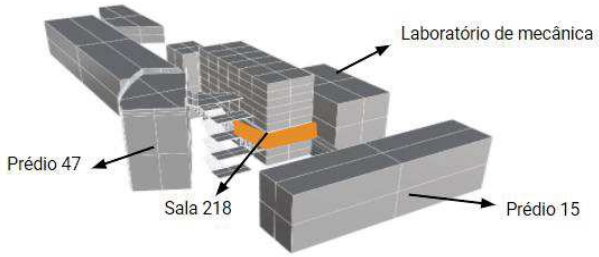


Figura 8 – Perspectiva do modelo de simulação.

FONTE: Elaborado pelo autor, 2020.

4. RESULTADOS

Para analisar os resultados das simulações observou-se a iluminância e a distribuição de luz natural no interior da sala de aula, utilizando como parâmetro a iluminância média recomendada para salas de aula na Norma NBR ISO/CIE 8995-1:2013. Embora trate-se de uma norma voltada para a iluminação artificial, considera-se que seus parâmetros, na inexistência de normatização específica para iluminação natural, podem ser utilizados como referência. Observa-se que devido à melhor qualidade da luz natural, qualquer eventual erro nessa adoção do mesmo valor de referência para o lado da segurança. De acordo com as Normas recomenda-se uma iluminância de 300 lux para salas de aula. É importante também avaliar a uniformidade da iluminação, que é avaliada qualitativamente a partir dos mapas de iluminância.

Como pode ser observado nos resultados das simulações rodadas as 9:30h da manhã do dia 23 de abril, na figura 09, na sala atual com a laje nervurada, verificou-se um alto índice de iluminância próximo as aberturas chegando em um valor máximo de 3045 lux, enquanto que no centro da sala o valor médio é de 125 lux e o valor mínimo de iluminância 43 lux. Percebe-se que há uma grande variação do valor de iluminância máximo, em relação aos valores médio e mínimo, comprovando a pouca uniformidade da distribuição da luz natural.

Ao observar a simulação com forro branco, figura 10, percebe-se através do mapa de iluminâncias, uma melhora na distribuição da luz natural no interior da sala, tornando-a mais uniforme. Foi verificado também um aumento da iluminância média para 173 lux.

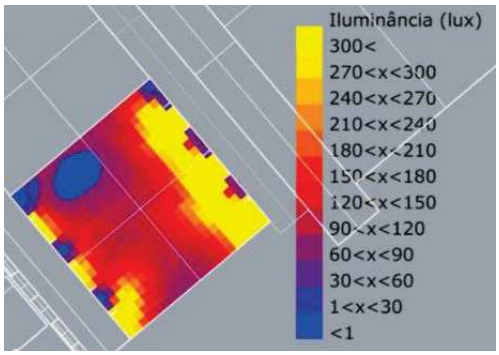


Figura 9 - Simulação 23 de Abril às 09:30h Cenário 1: Laje nervurada aparente

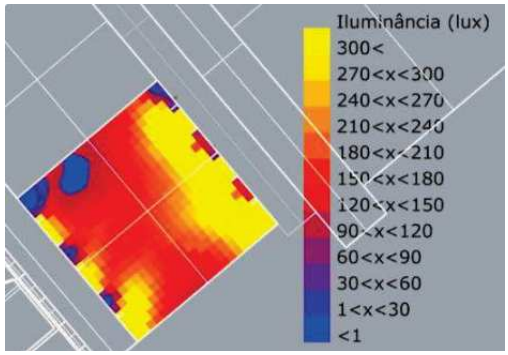
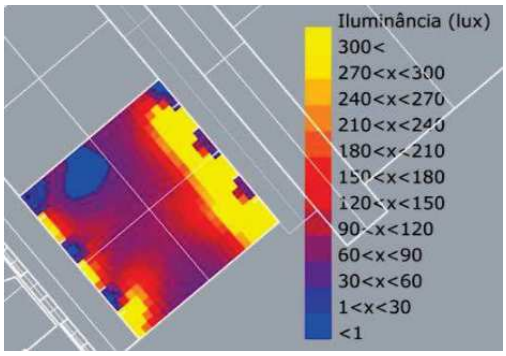


Figura 10 - Simulação 23 de Abril às 09:30h Cenário 2: Laje nervurada com forro branco

Nas simulações dos dois cenários, no mesmo dia, 23 de abril, no período da tarde, 15:30h, Figuras 11 e 12 verificou-se que a iluminância média diminuiu para 90 lux na sala atual, com laje nervurada, e para 140 lux, na sala com forro branco abaixo da laje.



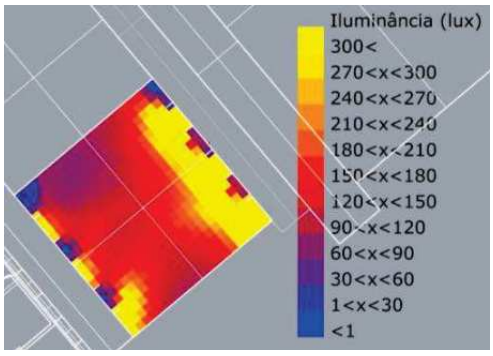
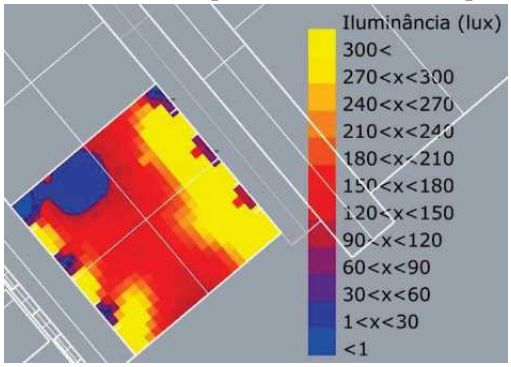


Figura 11- Simulação 23 de Abril às 15:30h Cenário 1: Laje nervurada aparente Figura 12 - Simulação 23 de Abril às 15:30h Cenário 2: Laje nervurada com forro branco

Nas simulações dos dois cenários, em outubro, verificou-se que tanto pela manhã quanto pela tarde, houve um aumento na iluminância em relação às simulações de abril, e uma melhoria na distribuição da luz natural dentro da sala, como pode ser visto nos mapas de iluminância apresentados nas Figuras 13 a 16.



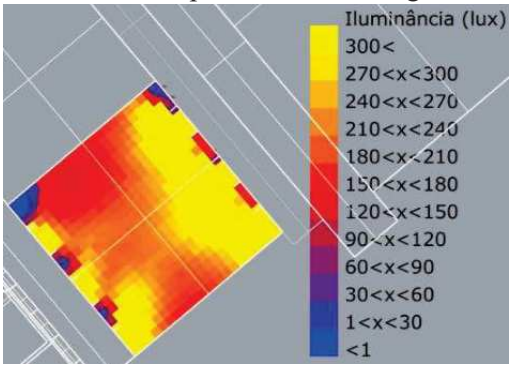
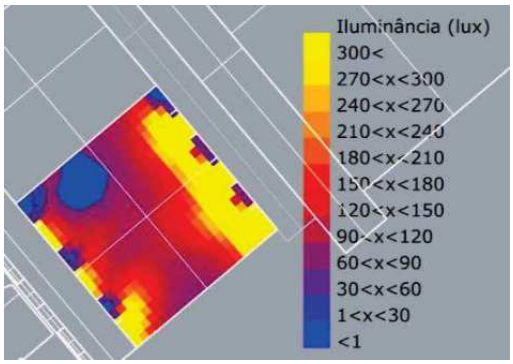


Figura 13- Simulação 23 de Outubro às 09:30h Cenário 1: Laje nervurada aparente Figura 14 - Simulação 23 de Outubro às 09:30h Cenário 2: Laje nervurada com forro branco



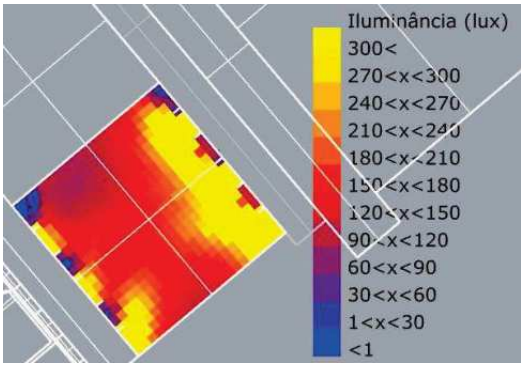


Figura 15- Simulação 23 de Outubro às 15:30h Cenário 1: Laje nervurada aparente Figura 16 - Simulação 23 de Outubro às 15:30h Cenário 2: Laje nervurada com forro branco

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como era esperado, ao comparar os resultados das simulações do desempenho lumínico da sala de aula com a laje nervurada, concreto aparente e a mesma sala com forro de gesso cor branca, verificou-se uma má distribuição de iluminância em toda sala, com valores próximos das janelas e valores médios baixos no meio da sala. Essa má distribuição pode provocar ofuscamento e aumento do desconforto visual.

No cenário dois foi verificado uma melhoria tanto da distribuição da luz natural quanto a iluminância, porém ainda não atingindo valores desejáveis. Uma estratégia seria adotar prateleiras de luz, de forma a aumentar os níveis médios e mínimo de iluminância no meio da sala, contribuindo assim para uma maior uniformidade da distribuição da luz natural.

Outra estratégia viável e que também poderia contribuir para a melhoria do desempenho lumínico da sala de aula seria pintar as paredes laterais de branco, aumentando assim a reflexão da luz.

Com relação às ferramentas utilizadas para avaliar o desempenho lumínico, verificou-se que o plugin do Rhinoceros, o Grasshopper, conectado ao Radiance pelo Honeybee, demonstrou ser uma ferramenta

adequada para avaliar o desempenho lumínico, pois se mostrou compatível com várias ferramentas de desenho, além de possuir uma integração com *softwares* de análise de conforto bioclimático. O grande benefício do uso dessas ferramentas consiste em poder aplicá-las no processo de projeto, já que os *softwares* de parametrização contribuem para uma liberdade formal do projeto, auxiliando o arquiteto no processo criativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15215-1 - Iluminação natural - Parte 1: Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

_____. NBR 15215-2: Iluminação natural. Parte 2: Procedimento de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

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

_____. NBR 15215-3: Iluminação natural. Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição. Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

_____.NBR 15575: 2013. Edificações habitacionais – Desempenho Rio de Janeiro, ABNT, 2013. Rio de Janeiro, ABNT, 2013.

_____. NBR ISO/CIE 8995-1:2013. Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior,

ALMEIDA, Merielen; RUIZ, Erickson de Oliveira e GRAÇA, Valéria Azzi Collet. Iluminação natural e saúde em salas de aula: A melhoria do desempenho ambiental através do controle da radiação solar direta no IFSP-SP. Sinergia, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 42-53, jan./abr. 2012.

ALVARES, Sandra Leonora. Programando a arquitetura escolar: a relação entre ambientes de aprendizagem, comportamento humano no ambiente construído e teorias pedagógicas. Tese - (doutorado) Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, SP: [s.n.], 2016. Disponível em:<http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/321169/1/Alvares_SandraLeonora_D.pdf>.Acesso em 21 out. 2020

BAPTISTA, et all. Prédio 47: apropriação e adequação. Relatório FIP, Belo Horizonte, 2014.

BERNARDI, N.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. Avaliação da interferência comportamental do usuário para a melhoria do conforto ambiental em espaços escolares: estudo de caso em Campinas-SP. IV Encontro Nacional e III Encontro latino-americano sobre conforto no ambiente construído. São Pedro-SP, 11 a 14 de Novembro de 2001.

CHOAS, Mona Lisa Lobo de Souza. Sobre as características do espaço arquitetônico facilitadoras do ensino-aprendizagem na universidade. Tese - (doutorado) Arquitetura e Urbanismo - Universidade de Brasília, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/22929>. Acesso em 29 out 2020.

HESCHONG, L. Daylighting and Human Performance, ASHRAE Journal,vol . 44, no. 6, pp. 65 67, 2002

KOWALTOWSKI, Doris. Arquitetura escolar. O projeto do ambiente de ensino. São Paulo, Oficina de Textos, 2011.

MULLER, Cecília Matos. Espaços de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental: O processo metodológico para elaboração de um anteprojeto. Dissertação de (Mestrado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo de São Paulo- Universidade de São Paulo, 2007.

NASCIMENTO, Mario Fernando Petrilli do. Arquitetura para educação: a construção do espaço para a formação do estudante. 2012. Dissertação (Mestrado em História e Fundamentos da Arquitetura e do Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16133/tde-19062012 122428/publico/dissertacao_mario.pdf>. Acesso em 21 out. 2020.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à PUC Minas pelo apoio e incentivo à pesquisa. Aos professores do grupo de pesquisa do CNPq "*Arquitetura Bioclimática e Sustentabilidade Ambiental Urbana*" pelos ensinamentos e orientações, em especial ao professor Silvio Romero Fonseca Motta e a professora Maria Inês Lage de Paula que sempre fizeram questão de acompanhar de perto o desenvolvimento da pesquisa. A Arquiteta e Urbanista especialista em arquitetura bioclimática Nathali Padovani, pela colaboração à pesquisa. E por fim, as amigas Caroline Assis Amormino e Carolina Costa por estarem sempre presentes, apoiando e incentivando a pesquisa.