VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
A inovação e o desafio do projeto na sociedade: A qualidade como alvo
Londrina, 17 a 19 de Novembro de 2021

# ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO MULTI-OBJETIVO PARA OTIMIZAÇÃO DE LAYOUT DE ESPAÇOS DE ENSINO[1]

MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION ALGORITHM FOR LAYOUT OPTIMIZATION OF EDUCATIONAL INSTITUTIONAL SPACES

**SHIBATA, Érika Mayumi (1); BARROS, Natália Nakamura (2)**

**(1)** Centro Universitário Facens, erika.mayumi.me@gmail.com

**(2)** Centro Universitário Facens, natalia.barros@facens.br

**RESUMO**

As transformações inevitáveis das revoluções digitais, combinadas com as alterações na vida das pessoas impulsionada pela pandemia do Covid-19 e alterações climáticas, trarão novas possibilidades de ampliação das capacidades computacionais através de metodologias de projeto e produção inovadoras. O principal objetivo da pesquisa é verificar o potencial uso do algoritmo de otimização multi-objetivo para otimização de layout de espaços institucionais de ensino, considerando aspectos lumínicos e de distanciamento social. A pesquisa classifica-se segundo sua finalidade em pesquisa experimental, com o seguinte delineamento: (i) pesquisa bibliográfica; (ii) definição dos ambientes e parâmetros a serem analisados; (iii) desenvolvimento dos modelos generativos; (iv) simulação computacional; (v) otimização multi-objetiva; e (vi) análise dos resultados. Os dados referentes ao conforto lumínico dos ambientes foram obtidos a partir de simulações realizadas no software Rhinoceros, plug-in Grasshopper. E os dados referentes ao distanciamento social em instituições de ensino foram inseridos e automatizados no modelo. Como resultados, verificou-se que o algoritmo de otimização encontrou, de forma rápida, o melhor layout, considerando o distanciamento mínimo entre as carteiras, em conjunto com a menor incidência solar nas carteiras. Este estudo auxiliará a tomada de decisão do projetista na busca pela melhor solução arquitetônica.

***Palavras-chave:*** *Algoritmo multi-objetivo. Otimização de layout. Instituições de ensino.*

**ABSTRACT**

*The inevitable transformation of the digital revolution combined with changes in people's lives driven by the Covid-19 pandemic and climate change will bring new possibilities to amplify computational capabilities through design methodologies and innovative productions. The main objective of this research is to verify the potential use of a multi-objective algorithm to optimize educational institutional layout spaces, considering lighting and social distancing aspects. The research classified according to its finality in experimental research with the following lineation: (i) bibliographic research; (ii) ambient and params definition; (iii) developing generative models; (iv) computational simulation; (v) multi-objective*

[1] SHIBATA, Érika Mayumi; BARROS, Natália Nakamura. Algoritmo de otimização multi-objetivo para otimização de layout de espaços institucionais de ensino. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO, 7., 2021, Londrina. **Anais**... Londrina: PPU/UEL/UEM, 2021. p.1-9. DOI https://doi.org/10.29327/sbqp2021.438102

*optimization; and (vi) analysis of the results. The data referring to light comfort in ambient were obtained through simulations made in Rhinoceros software, plug-in Grasshopper. And data referring to social distancing in educational institutions were inserted and automatized in the model. As a result, we were verified that the optimization algorithm quickly found the best layout, considering minimal distancing between desks together with the minor solar incidence on the desks. This study will help the decision-making design process in the search for the best architectural solution.*

***Keywords**: Multi-objective algorithm. Form optimization. Educational institutions.*

## 1 INTRODUÇÃO

As transformações inevitáveis das revoluções digitais, combinadas com as alterações na vida das pessoas impulsionadas pela pandemia do Covid-19 e alterações climáticas, trarão novas possibilidades de metodologias de projeto arquitetônico e produção inovadoras. Muitas, um dia, serão capazes de reinventar a arquitetura da forma como a conhecemos.

A OMS elaborou um documento denominado 'Considerações para medidas de saúde públicas ligadas às escolas no contexto da COVID-19', onde apontou a necessidade de recursos e infraestrutura das escolas e universidades, e levanta questionamentos a respeito dos espaços, como a presença de salas de aula grandes o suficiente para respeitar o espaçamento das carteiras, a possibilidade de expandir esse espaço, de reduzir ou de alternar o uso das dependências da instituição (WORLD HEALTH ORGANIZATION [OMS], 2020). Já no documento denominado 'Medidas recomendadas para reabertura das escolas' aponta as seguintes estratégias: manter no mínimo 1 metro de distância entre os presentes, mínimo de 1 metro entre as carteiras, realizar aulas em ambientes externos ou ambientes bem ventilados (WORLD HEALTH ORGANIZATION [OMS], 2020).

Com estes parâmetros em mente, a arquitetura trabalha em cima de diversas estratégias para promover o bem-estar de seu usuário, especificamente neste caso, o conforto ambiental pode ser aplicado para garantir a segurança e prevenir a contaminação do vírus em ambientes internos. Este pode ser definido como a geração de uma arquitetura que promova o bem-estar do seu usuário, para isto, depende de fatores físicos - temperatura, umidade, iluminação e ventilação - e não físicos - condição emocional de seu usuário e a sua relação com aquele espaço - a fim de gerar espaços humanizados, ou seja, espaços homeotérmicos em que o usuário se interesse, se conecte, a ponto de permanecer (FROTA e SCHIFFER, 2001; LAMBERTS et al., 2014; SCHMID, 2018).

A revolução da Indústria 4.0 está trazendo mudanças significativas na sociedade e na arquitetura. A possibilidade de compartilhar dados em nuvens, a presença de inteligência artificial, a robotização e a Internet das Coisas, facilitaram muito a transdisciplinaridade das várias áreas do conhecimento (GILCHRIST, 2016). Com a arquitetura, que sempre foi uma ciência multidisciplinar, a implementação dessas tecnologias é crucial. Entre as ferramentas que podemos utilizar hoje temos a modelagem generativa que "consiste numa técnica de modelagem procedural que utiliza um conjunto de regras para criar modelos 3D. Por meio destas regras é possível definir algoritmos que representam, implicitamente, modelos geométricos" (MONTEIRO e SANTOS, 2009, p.1).

Para ser possível a implementação de todas essas informações no aspecto físico e ainda gerar um projeto inovativo que inclui tanto os aspectos qualitativos quanto quantitativos, o uso da otimização da forma através da inclusão de aspectos

performativos pode melhorar o processo projetual (OXMAN, 2007). Vários fatores podem colaborar para a geração da forma e a sua materialização, o arquiteto é capaz de incluir os aspectos físicos, a estrutura, as condições de circulação, temperatura, acústica, iluminação e ventilação, e os não físicos, como a habilidade de abranger os aspectos sociais, culturais e comportamentais dentro do contexto e da sociedade em que está inserido (KOLARAVIC, 2001).

Zhang et al. (2017) analisaram o uso de ferramentas de simulação-otimização para encontrar soluções ótimas para diferentes configurações de tipos de corredores em escolas com o objetivo de minimizar o uso de energia para aquecimento e iluminação, reduzindo o desconforto durante o verão e maximizando a iluminação natural. Outros estudos, consideraram os mesmos parâmetros para um edifício de escritório em Beijing, na China (QINGSONG e FUKUDA, 2015) e, para otimização do design de janela (SHI e YANG, 2014). A tecnologia de análise de simulação na arquitetura e de otimização paramétrica em estágios iniciais de projeto, pode melhorar a sua qualidade e prover soluções práticas e estratégicas de diferentes tipos de edificações, auxiliando os arquitetos à uma melhor tomada de decisão (QINGSONG E FUKUDA, 2015; SHI e YANG, 2014; ZHANG et al., 2017).

A maioria dos estudos aborda a aplicação de um algoritmo de otimização multiobjetivo para otimizar a eficiência energética e o conforto térmico no processo de projeto de uma edificação (QINGSONG E FUKUDA, 2015; SHAN, 2014; SHI e YANG, 2014; YU et al., 2014; ZHANG et al., 2017). Este estudo irá considerar também o distanciamento social recomendado pela OMS. O principal questionamento desta pesquisa é "Como os algoritmos de otimização multi-objetivos podem ser utilizados para otimizar o layout de espaços institucionais de ensino, considerando os parâmetros de conforto lumínico e os preconizados pela OMS, a fim de auxiliar na tomada de decisão do arquiteto?".

O principal objetivo deste artigo é verificar o potencial uso do algoritmo de otimização multi-objetivo para otimização de layout de espaços institucionais de ensino, considerando os parâmetros de conforto lumínico e o distanciamento social preconizado pela OMS.

## 2 MÉTODO

A pesquisa classifica-se segundo sua finalidade em desenvolvimento experimental, que consiste num trabalho sistemático com vistas à produção de novos materiais ou melhorias de novos sistemas e serviços (GIL, 2002). A metodologia adotada na elaboração deste trabalho foi através de pesquisa bibliográfica e desenvolvimento experimental. Na análise dos resultados foi utilizada uma abordagem quantitativa e qualitativa. O delineamento adotado será apresentado a seguir, em três etapas demonstradas na Figura 1.

### 2.1 Pesquisa bibliográfica

O método de pesquisa bibliográfica foi desenvolvido com base em material já tornado público em relação ao tema de estudo, desde publicações, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, até meios de comunicação orais e virtuais: rádio, gravações e audiovisuais: vídeos e televisão (MARCONI; LAKATOS, 2010). A pesquisa bibliográfica foi realizada e apresentada na seção de introdução.

Figura 1 –Delineamento da pesquisa

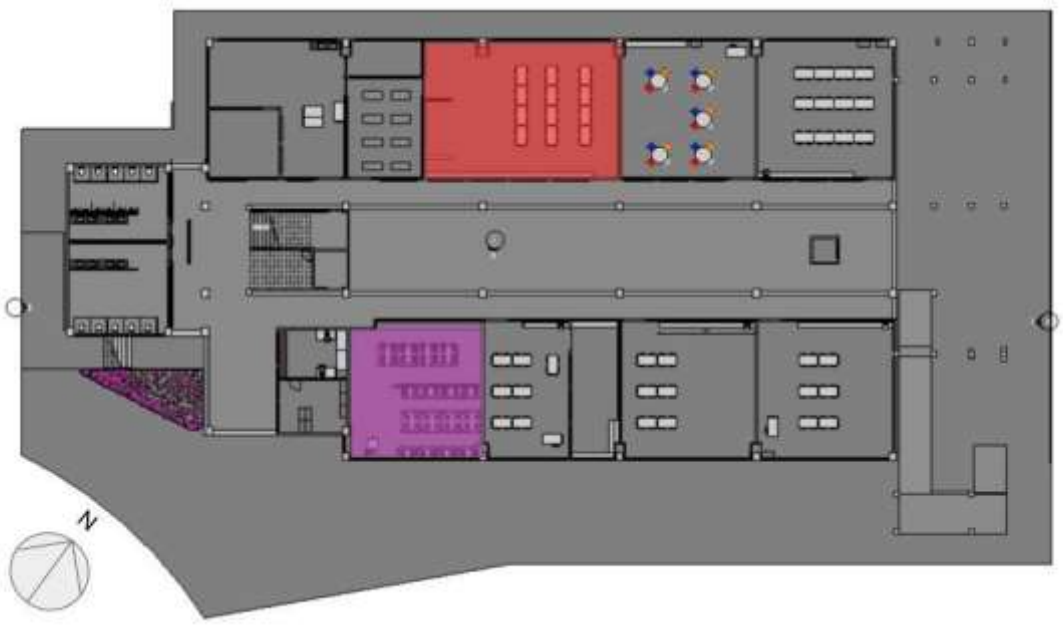



Fonte: elaborado pelas autoras.

## 2.2 Definição dos ambientes e desenvolvimento dos modelos

Os ambientes a serem estudados foram definidos conforme o uso, foram priorizados ambientes de permanência prolongada, com formato e dimensões padronizados, tais como: salas de aula e laboratórios. Os ambientes selecionados foram: ateliê e laboratório de informática, ambos localizados na mesma edificação, conforme planta da Figura 2. Tais ambientes foram modelados no software Rhinoceros.

Figura 2 – Planta baixa do primeiro pavimento da edificação. Em destaque Ateliê em vermelho e laboratório de informática em roxo




Fonte: elaborado pelas autoras.

## 2.3 Simulação computacional

Os dados referentes ao conforto lumínico dos ambientes foram obtidos a partir de simulações realizadas no software Rhinoceros, plug-in Grasshopper. A ferramenta de análise utilizada foi o Honeybee. O Rhinoceros permite que os resultados das simulações de desempenho possam automaticamente alimentar o programa de modelagem, de forma a guiar o projeto de otimização, controlado por algoritmos.

Com auxílio do plug-in Grasshopper é possível ligar a geometria do modelo com simulações energéticas e de iluminação, gerando formas, com uso tarefas de otimização (SHI e YANG, 2014; OMID e GOLABCHI, 2019).

O Honeybee permitiu, através dos dados climáticos, simular as condições térmicas e lumínicas dentro de um espaço definido. Já o Wallacei foi utilizado como algoritmo de otimização multi-objetivo, e permitiu gerar combinações entre diversas variáveis, como condições climáticas e distanciamento social (PETROV; WALKER, 2020). A partir destas combinações, o algoritmo buscou uma solução otimizada para atender a um determinado objetivo, que, no caso da presente pesquisa, consistiu na minimização da distância entre as carteiras e na minimização da incidência solar sobre elas.

## 3 RESULTADOS

A modelagem de geometria do laboratório de informática, com as medidas 10 x 10,29 x 5 m e do ateliê 14,5 x 10,34 x 5 m (comprimento x largura x altura), foi feita através do plug-in Grasshopper. Os parâmetros de distanciamento social preconizados pela OMS foram inseridos no modelo, através de um grid retangular, no qual as carteiras ocupam os nós do grid, com no mínimo 2,2 m de distância entre elas, sendo 1,5m adotado das recomendações de distanciamento da OMS somado à 0,7m do comprimento da carteira, e no máximo 9,3 m para o laboratório e 13,8 m para o ateliê, correspondente às dimensões da sala subtraído o comprimento da carteira.

Entretanto, ao aumentar a distância entre as carteiras, elas acabaram por ultrapassar os limites da geometria dos ambientes. Desse modo, foi utilizado o recurso chamado GPhython Script, através da linguagem de programação Phython, na qual o número de carteiras ficou condicionado à distância entre elas e limitado às dimensões do ambiente (Figura 3).

Figura 3 –Comando if/else no GPhython Script para condicionar a distância entre as carteira aos limites geométricos dos ambientes

**Laboratório de informática**

```
import rhinoscriptsyntax as rs

if 2.2 <= x <= 2.3:
    a = 4
elif 2.4 <= x <= 3.1:
    a = 3
elif 3.2 <= x <= 4.6:
    a = 2
elif 4.6 <= x <= 9.3:
    a = 1
```

**Ateliê**

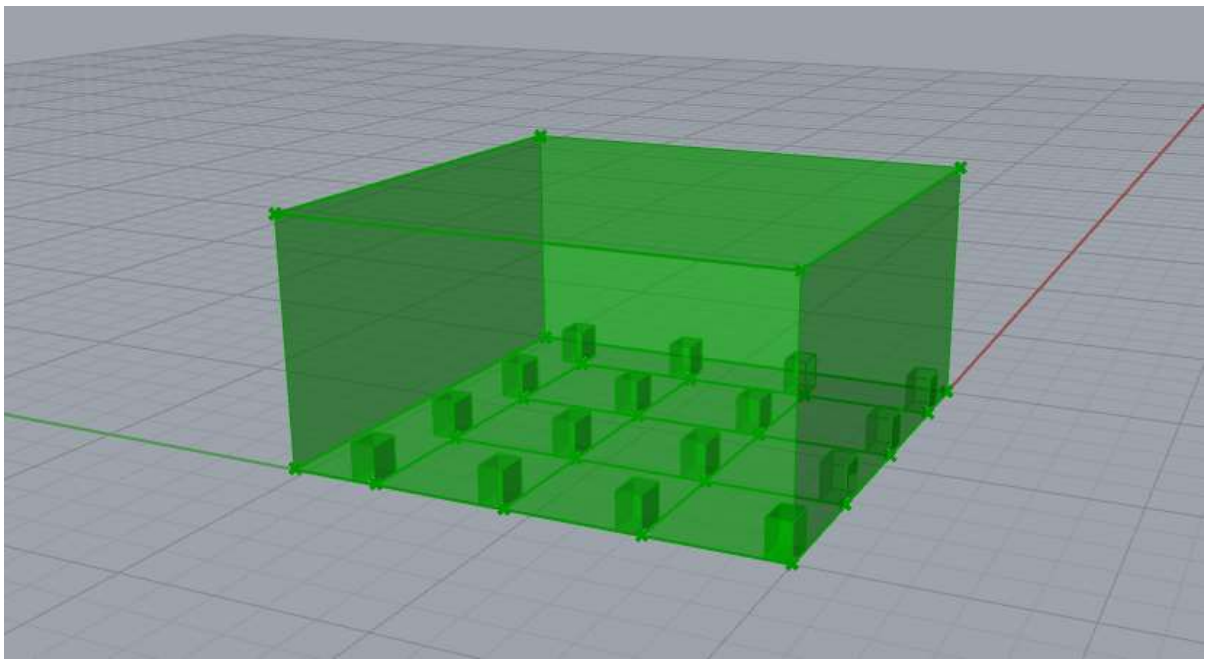
```
import rhinoscriptsyntax as rs

if 2.2 <= x <= 2.3:
    a = 6
elif 2.4 <= x <= 3.1:
    a = 4
elif 3.2 <= x <= 4.6:
    a = 3
elif 4.6 <= x <= 6.9:
    a = 2
elif 6.9 <= x <= 13.8:
    a = 1
```

Fonte: elaborado pelas autoras.

Neste algoritmo, a variável representa tanto o número de fileiras, quanto de colunas, por exemplo, o modelo apresentado na Figura 4 possui 4 fileiras e 4 colunas ($a = 4$), totalizando 16 carteiras. Já a distância entre as carteiras foi representada

pela variável x, considerando o distanciamento mínimo de 1,5m entre as carteiras, somado ao comprimento de cada carteira de 0,7 m, totalizando uma distância mínima de 2,2 m. As demais distâncias variaram de acordo com as dimensões dos ambientes, de modo a impedir que as carteiras ultrapassassem os limites dos mesmos.

Figura 4 – Modelo da geometria com as carteiras dentro do grid



Fonte: elaborado pelas autoras.

Após a montagem do layout do ambiente, foi realizada uma análise de incidência solar anual, com uso do plugin HoneyBee, que calcula a quantidade de horas em que o piso recebe incidência solar. Esse cálculo foi realizado através de um código que quantifica a exposição solar anual local, a partir de dados climáticos tipo EPW. Ao conectar a geometria da sala de aula com a malha disponível no cálculo de exposição solar, é possível visualizar o posicionamento de carteiras neste espaço que deve ser evitado, uma vez que a incidência solar direta pode causar ofuscamento e desconforto térmico ao aluno.

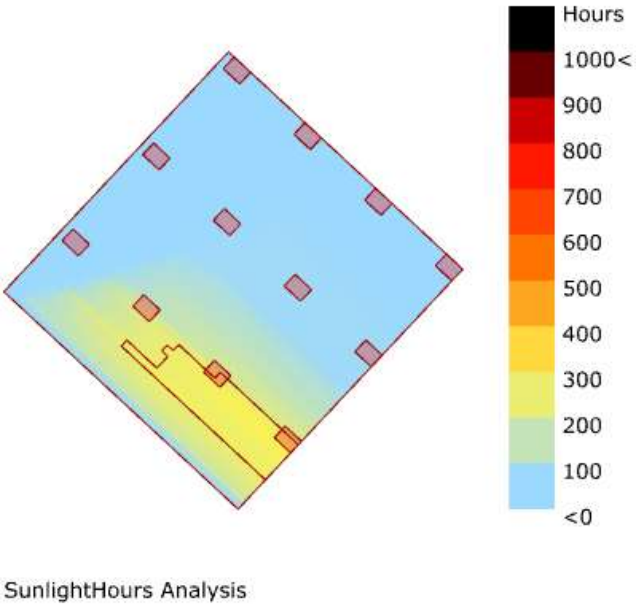
A variação da distância entre as carteiras permitiu a geração automática de muitas opções de layouts. Deste modo, o algoritmo de otimização multi-objetivo foi aplicado, através do plug-in Wallacei[2], e teve como função selecionar, entre as opções de layout, a que melhor atende aos objetivos estabelecidos: minimização da distância entre as carteiras e minimização da presença de carteiras dentro da área de alto índice de incidência solar. Para tal, os centros de cada carteira foram transformados em pontos de referências e, um dos objetivos do algoritmo foi evitar a presença destes pontos dentro das áreas de alta incidência solar, ao mesmo tempo em que ele deveria considerar o maior número de pontos possível dentro do ambiente, respeitando a distância mínima entre esses pontos.

O resultado da otimização pode ser verificado na Figura 5 e na Figura 6, que apresentam a análise solar juntamente com a otimização da disposição das

[2] Disponível em: https://www.wallacei.com/. Acesso em 07/05/2021 às 16:50.

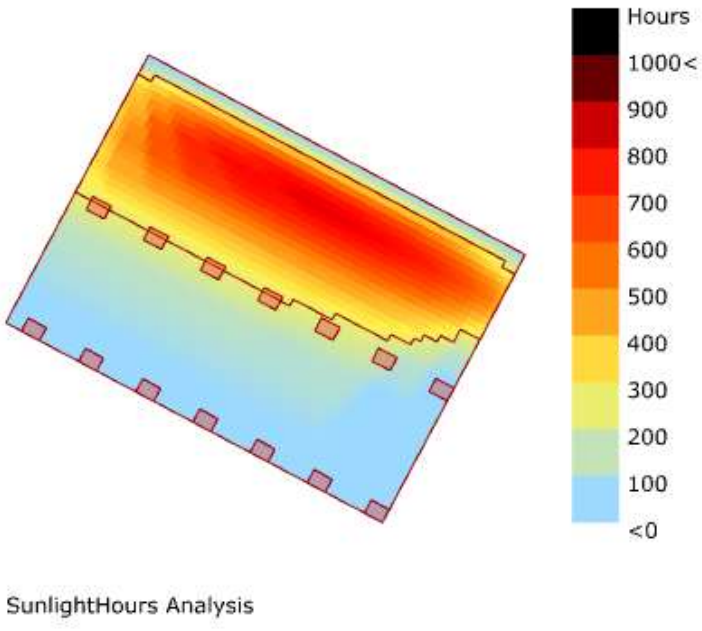
carteiras. As áreas em amarelo, laranja e vermelho representam um alto índice de incidência solar na região. Nas figuras, pode-se verificar que, após a execução do algoritmo, a posição das carteiras respeitou o distanciamento mínimo preconizado pela OMS, ao mesmo tempo em que evitou-se o espaço com maior incidência solar dentro do ambiente, garantindo o conforto lumínico dos usuários.

Figura 5 – Resultado da otimização do laboratório de informática




Fonte: elaborado pelas autoras.

Figura 6 –Resultado da otimização do ateliê




Fonte: elaborado pelas autoras.

## 4 CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que o algoritmo de otimização multi-objetivo pode ser utilizado para auxiliar a tomada de decisão do arquiteto, através da otimização de layout de espaços institucionais de ensino. O algoritmo encontrou, de forma rápida, o melhor layout, considerando o distanciamento mínimo entre as carteiras, em conjunto com a menor incidência solar. Este estudo, portanto, confirma conhecimento anterior em nova contextualização.

A análise de diferentes configurações de layout é um processo trabalhoso, demanda tempo e retrabalho. As ferramentas de modelagem generativa e de otimização da forma, podem ser muito úteis para auxiliar os arquitetos a uma melhor tomada de decisão, de forma rápida. A otimização paramétrica em estágios iniciais de projeto pode melhorar a sua qualidade e prover soluções práticas e estratégicas de diferentes tipos de layout.

Apesar da configuração do layout ter ficado limitada apenas aos eixos cartesianos e em espaços típicos de edificações escolares com formato e dimensões padronizados, o estudo conseguiu cumprir seu objetivo provendo um espaço termicamente e luminicamente confortável e seguro para a Covid-19, provendo o bem-estar e a saúde das pessoas. Para futuras pesquisas sugere-se a aplicação deste processo em diferentes tipos de layout, e em outros tipos de edificações.

## AGRADECIMENTOS

Ao Centro Universitário Facens, pelo apoio recebido.

## REFERÊNCIAS

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GASPAR, J. A. M. **O significado atribuído a BIM ao longo do tempo**. 2019. 238 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2002. E-book.

GILCHRIST, A. **Industry 4.0: The Industrial Internet of Things**. [S. l.]: Apress, 2016. E-book.

KOLARAVIC, B.; MALKAWI A. **Performative Architecture: Beyond Instrumentality**. 1. Ed. New York, 2005.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. [3.ed.] Rio de Janeiro, 2014.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010. E-book.

MONTEIRO, Ari.; SANTOS, Eduardo. O Uso de Modelagem Generativa para Representação de Modulações de Alvenarias em Ferramentas BIM. In: SIGraDi 2009 – **Proceedings**... 13th Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics, Sao Paulo, Brazil, November 16-18, 2009.

OMID, Hanie; GOLABCHI, Mahmood. Survey of parametric optimization plugins in Rhinoceros used in contemporary architectural design. In: FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODERN RESEARCH IN CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE, URBAN MANAGEMENT AND ENVIRONMENT, 21 maio 2019, Karaj. **Anais**... Karaj: University of Applied Science, 21 maio 2019.

OXMAN, R. A Performance-based Model in Digital Design: PERFORMATIVE—Design Beyond Aesthetic. **Architectural Engineering and Design Management**, v.3 ed. 3, p. 169-180, 1 jan. 2007.

PETROV, Martin; WALKER, James. Optioneering Methods for Optimization, Methods of exploring primary and secondary performance criteria in urban design. In: ECAADE 38, 1 set. 2020, Berlin. **Proceedings**... Berlin: eCAADe, 1 set. 2020. p. 29–36.

QINGSONG, Ma; FUKUDA, Hiroatsu. Parametric Office Building for Daylight and Energy Analysis in the Early Design Stages. In: Social and Behavioral Sciences, Urban Planning and Architectural Design for Sustainable Development (UPADSD), Lecce. **Proceedings**... Lecce: Elsevier, v. 216, 6 jan. 2016, p. 818–828.

SCHMID, Aloísio. L. **A Idéia de Conforto**: reflexões sobre o ambiente. 1. ed.Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SHAN, Rudai. Integrating Genetic Algorithm with Rhinoceros and Grasshopper in Whole Building Energy Simulation. In: GRAND RENEWABLE ENERGY 2014, 27 jul. 2014, Tóquio. **Proceedings**... Tóquio: Japan Council for Renewable Energy, 27 jul. 2014.

SHI, Xing; YANG, Wenjie. Performance-Driven Architectural Design and Optimization Technique from a Perspective of Architects. **Automation in Construction**, v. 32, p. 125–135, 1 jul. 2013.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Considerations for school-related public health measures in the context of COVID-19**. Genebra, 10 mai. 2020. Acesso em: 18 jun. 2020

YU, Wei et al. Application of Multi-Objective Genetic Algorithm to Optimize Energy Efficiency and Thermal Comfort in Building Design. **Energy and Buildings**, v. 88, p. 135–143, 1 fev. 2015.

ZHANG, Anxiao et al. Optimization of Thermal and Daylight Performance of School Buildings Based on a Multi-Objective Genetic Algorithm in the Cold Climate of China. **Energy and Buildings**, v. 139, p. 371–384, 15 mar. 2017.