2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

PROJETO BASEADO EM DESEMPENHO: MODELO DE OTIMIZAÇÃO MULTICRITÉRIO PARA SOLUÇÕES CONTROLE SOLAR EM FACHADAS[1]

QUEIROZ, Natália (1); PEREIRA, Fernando O. R. (2)

(1) UFSC, nataliaqueiroz@labcon.ufsc.br
(2) UFSC, ruttkay.pereira@ufsc.br

RESUMO

O projeto baseado em desempenho designa o processo de projeto que os indicadores de desempenho são o guia-chave da geração da geometria. Nesse método, a modificação da geometria é conectada a processos de simulação computacional e um processo de otimização associados ao problema específico de projeto. Este trabalho aborda o projeto de elementos de controle solar, que esbarra em problemas como à característica conflituosa de projeto, interoperabilidade e lentidão dos processos de simulação computacional. O objetivo do artigo é apresentar um modelo simplificado para processos rápidos de otimização de soluções de controle solar com base em requisitos de desempenho térmico e de iluminação natural para todo ano. O modelo multicritério de otimização apresenta três indicadores de desempenho: radiação solar no plano da abertura em períodos quentes, UDI (Useful daylight illuminance) e área dos elementos de proteção solar. O modelo computacional baseia-se no método de três fases do Radiance que se apresentou até 10 vezes mais rápido que o Daysim. O processo utiliza modelagem paramétrica através do Grasshopper e apresenta uma solução sensível a geometrias complexas e escolha do vidro de forma a auxiliar o processo de projeto baseado em desempenho.

Palavras-chave: *controle solar, sombreamento, vidro, fachada, otimização*

ABSTRACT

Performance-based design designates the design process where performance index is the key to generate geometry. In this method, the geometry modification is connected to computational simulation processes and an optimization process is associated with the specific design problem. This work addresses the design of solar control elements, which have problems associated with the design program formulation, interoperability and slow computer simulation processes. The objective of the paper is to present a simplified model for fast optimization processes of solar control solutions based on thermal performance and daylighting requirements for the whole year. The multi-criteria optimization model presents three performance indexes: solar radiation in the window plane in hot periods, UDI (Useful daylight illuminance) and area of the shading devices. The computational model is based on the Radiance three-phase method that was up to 10 times faster than Daysim. The process uses parametric modeling through Grasshopper and presents a solution sensitive to complex geometries and choice of glass based on to assist the performance-based design process.

Keywords*: solar control, shading devices, glass, façade, optimization.*

[1] QUEIROZ, Natália 1; PEREIRA, Fernando O. R. 2.

1 INTRODUÇÃO

Esse artigo aborda o projeto da fachada dentro do contexto do projeto baseado em desempenho. Por essa razão a introdução é dividida em duas partes: o projeto do controle solar em fachadas e o método de projeto baseado em desempenho.

1.1 Projeto do controle solar em fachadas

Um dos principais elementos relacionados à eficiência dos edifícios é o projeto da fachada. Ela é a pele que filtra e promove a interação entre o interior e o exterior da edificação. Durante o processo da sua concepção, deve-se compreender padrões externos, observar o clima incidente, e propor soluções que aproveitam benefícios e evita malefícios (OLGYAY, 1963). A fachada é composta por elementos opacos e transparentes, fechados e abertos, e a abertura o elemento que promove a maior conexão entre o ambiente externo e o interno.

Os principais efeitos da radiação solar no interior dos ambientes é o de aquecimento e iluminação. Seus benefícios estão associados ao bem-estar, e à saúde dos ocupantes. A iluminação natural e o contato externo são compreendidos como os efeitos mais benéficos associados à abertura (AL HORR et al., 2016; DOGRUSOY). O aproveitamento dos benefícios do sol através das aberturas, porém possui uma característica conflituosa. É de difícil abordagem, uma vez que se intenciona aproveitar a iluminação natural, os visuais e o contato com o exterior, e ao mesmo tempo, proteger a edificação do sobreaquecimento provocado pelo contato com a radiação solar e o excesso de brilho (BOUBEKRI; BOYER, 1992; RUCK, N., et al, 2000).

A pesquisa diferencia dois tipos de elementos de controle solar: vidros de controle solar e elementos de sombreamento. Os aspectos explorados são o desempenho térmico e luminoso. Os vidros de controle solar, atuam na radiação direta e na difusa como "filtro". Em geral, permitem que uma parcela da radiação direta atravesse ao interior da edificação e atuam de maneira homogênea para diferentes momentos do dia e ano (REZAEI, 2017). Os elementos de sombreamento, podem ser internos ou externos, estáticos ou dinâmicos. Os elementos de sombreamento têm seu desempenho associado à sua forma, à maneira como é anexado à fachada e ao ambiente interno, formando um conjunto ótico. Atuam primariamente na proteção modulada da radiação direta e na admissão da radiação difusa (KISCHKOWEIT-LOPIN, 2002; KIRIMTAT, 2016). Cada um dos elementos tem uma contribuição distinta e complementar no controle solar e admissão da luz. O desempenho térmico e luminoso associado a solução de controle solar deve considerar a escolha conjunta.

1.2 Projeto baseado em desempenho

O método de projeto que integra estratégias de modelagem e desempenho é conhecido como *performance-based design* (não traduzido para o português). Designa a exploração de simulações computacionais para auxiliar soluções e geração de geometria associado a determinado(s) objetivo(s). Os modelos guiados por desempenho se diferenciam do processo tradicional, porque os indicadores de desempenho são os guias-chave da geração da geometria que é diretamente conectada à processos de simulação computacional. A equipe teria retornos rápidos sobre o desempenho da solução e também pode incorporar um processo de otimização que executa avaliações alternativas no sistema de modelagem (EVE LIN, 2014, AL-MASRANI 2018).

A adoção dessa abordagem está em crescimento em decorrência da evolução do

processamento dos computadores, criação de interfaces de simulação rápidas integradas a ferramentas de modelagem ou com processos na nuvem, criação de interfaces de programação, a exemplo da linguagem de programação visual (LPV) e desenvolvimento de ferramentas de otimização voltados a projeto (KHEIRI, 2018; LUCA, 2019). O processo paramétrico e de otimização associado a simulação pode ser controlado pela equipe de projeto, sendo as soluções cientificamente baseadas, o que reduz subjetividade (AISH, 2011; ØSTERGÅRD; et all, 2016).

O sucesso do modelo integrado a simulação está relacionado com a maneira que o modelo analisado é gerado parametricamente. É fundamental o planejamento das etapas lógicas, da flexibilidade do modelo 3D, da seleção dos parâmetros variáveis e o projeto das restrições do sistema (AISH, 2011; PAPALAMBROS; WILDE, 2000).

Os Algoritmos de otimização disponíveis em ferramentas de projeto podem ser classificados quando ao número de funções de otimização e o método de solução. Quanto ao número, podem ser unicritério e multicritério. Quanto ao método pode ser Metaheurístico ou determinísticos.

Funções unicritério: Nesse modelo, uma única função matemática guia o processo de otimização. O resultado apresenta uma solução determinada como ótima. Críticas são formuladas ao uso de funções unicritério em arquitetura, decorrência da natureza complexa do projeto (WORTMANN; NANNICINI, 2017). O problema de otimização pode não ser passível de convergência, e/ou uma única função pode não ser representativa.

Funções multicritério: A problemática de arquitetura geralmente possui característica multidisciplinar, de natureza quantitativa e qualitativa. Por essa razão, a literatura recente aborda modelos de otimização multicritério, em detrimento do unicritério (KIRIMTAT et al., 2019). O modelo multicritério representa o problema com múltiplas funções de interesse. Dessa forma, não existe uma solução determinada como a melhor, mas um conjunto de soluções apresentadas em um universo de possibilidades de forma a caracterizar o problema.

Algoritmos metaheurísticos: Algoritmos de otimização metaheurísticos são modelos não determinísticos, ou seja, seguem a etapa de simulação de maneira randômica. Em modelos de otimização randômicos, as primeiras iterações das soluções são determinadas aleatoriamente, dependendo da natureza do problema pode consumir muito tempo para chegar numa amostragem representativa.

Algoritmos determinísticos: Modelos determinísticos utilizam processos que seguem uma determinada direção. Os cômputos decorrem até a convergência das funções. Utilizam heurística para buscar melhorias nas proximidades e as melhores soluções recentes. (WORTMANN et al., 2017). Desvantagens do uso de modelos determinísticos em arquitetura estão na complexidade dos problemas. Muitas vezes as funções têm características conflitantes entre si e pode não ser passível de convergência.

2 OBJETIVO

O objetivo do artigo é apresentar um modelo simplificado rápido para processos de otimização de soluções de materialidade e geometria para o controle solar em fachadas com base em requisitos de desempenho térmico e de iluminação natural para todo ano.

3 MÉTODO

O artigo aborda o uso de modelos integrados de análise associados a modelagem para o desenho generativo de elementos de controle solar. São incluídos como sub temas, modelos de otimização, modelagem algorítmica. O trabalho utiliza métodos quantitativos e segue as seguintes etapas práticas: i. Seleção do caso-base e estabelecimento do modelo paramétrico de controle solar; ii. Formulação do modelo analítico-geométrico integrado; iii. Compilação das soluções de otimização e discussão.

3.1 Seleção do caso base

O caso-base é de um edifício de nove pavimento com planta livre e núcleo técnico estrutural localizado em um contexto urbano hipotético para cidade de Florianópolis (figura 01). Cada fachada possui 70% de área envidraçada com vidro de Tvis 60%. O modelo paramétrico da solução de sombreamento é composto por sacadas curvas de até 1.80m. A solução é estabelecida a partir da combinação de cinco configurações distintas de progressões de sacadas (na seção vertical), aplicadas individualmente a 12 pontos de distribuídos ao longo da fachada na seção horizontal, conforme figura 02. Ao todo o modelo permite 12^5 combinações de soluções:

Figura 01. Edifício de planta livre, entorno urbano e pontos de controle.

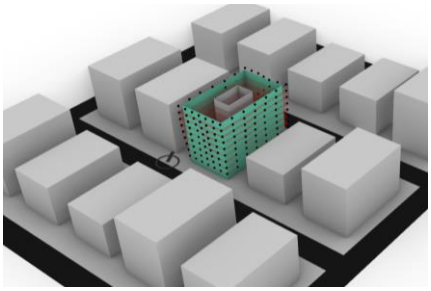
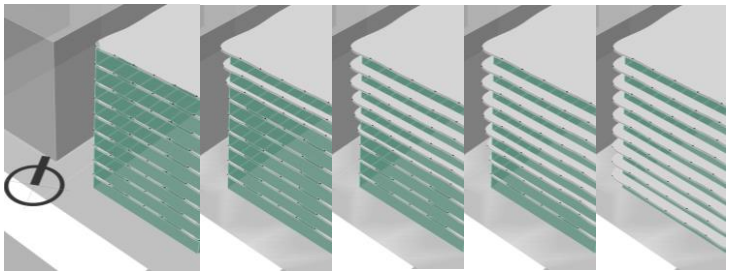


Figura 02. Configurações de variações possíveis no decorrer da fachada para cada ponto de controle.



Fonte: Os autores

3.2 Modelo analítico integrado

O modelo multicritério de otimização apresenta três indicadores de desempenho, um para iluminação natural, um para desempenho térmico e outro para balizar a decisão do projeto:

- Média de UDI (*Useful daylight illuminance*) para faixa de 100 a 2000 lux para horas entre as 07 e 18:00 em todo ano em um plano de trabalho na altura de 0,80.
- Média de radiação solar que atravessa o vidro por m² entre as horas de 07:00 e 18:00, para situações com temperatura do ar acima de 24°C. Esse indicador é medido no plano da abertura para o lado de dentro do ambiente.
- O somatório da área dos elementos de sacada (proteção solar).

O modelo computacional baseia-se no método de três fases através do *Radiance*. *O método* passou por processos de validação descritos por Ward, et al (2011) e apresenta um modelo mais simplificado e com processamento sensivelmente mais veloz que o *Daysim*. O processo de otimização utiliza um algoritmo multicritério e metaheurístico conhecido por *Hype* que obteve bons resultados em comparação à

outros para simulações similares descritos por *Wortmann, (2017)*. A proposta utiliza o *plugin* de programação visual *Grasshopper* para *Rhinoceros 3D* e os plugins *Honneybee+* para conexão da modelagem 3D com o *Radiance* e o *plugin Octopus* para execução da otimização multicritério. A varanda possui refletância de 0.7, as vias no espaço urbano 0.1 e os edifícios vizinhos, 0.4. Os parâmetros de simulação do *Radiance* Foram: -ar 128 -dp 512 -ab 6 -as 4096 -ds 0.05 -aa 0.1 -ad 10000.

Para reduzir o tempo de simulação, em vez dos 365 dias do ano, foi executado simulações para uma amostragem de 121 dias distribuídos igualmente no ano. Com isso, o tempo de simulação foi reduzido de 45 min para ambos os cômputos (Somatório de radiação e UDI) no *Daysim,* para 1:20 min cada com método de três fases. Ambos em um computador com processamento intel i7.

4 RESULTADOS

O modelo analítico integrado estabeleceu ciclos de avaliações que variaram de 100 segundos a 360 segundos por ciclo. Este tempo foi considerado satisfatório. O processo de otimização considerou 07 gerações de simulações (aproximadamente 800 simulações) durando um período de 54 horas total de processamento. Ao final, centenas de soluções estavam disponíveis para análise. A interface do *Octopus* permite uma organização dos casos simulados e exportação para um banco de dados. É possível selecionar e visualizar a solução geométrica caso a caso através dos gráficos, que podem ser apresentados em forma de dispersão tridimensional, ou através do diagrama de coordenadas paralelas (Figura 03 e Figura 04).

Figura 03. Gráfico de dispersão das soluções com cinco grifadas

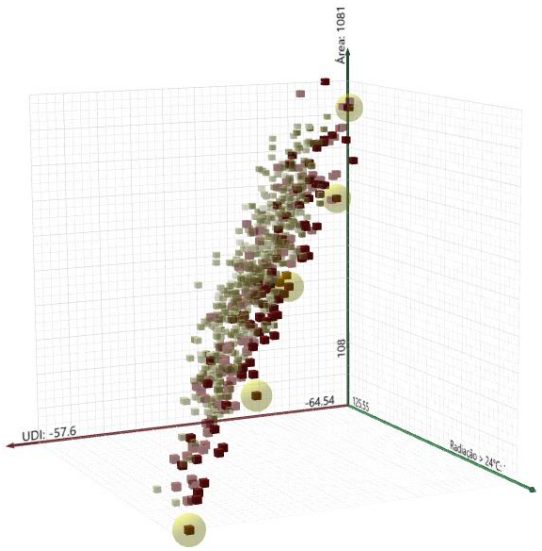
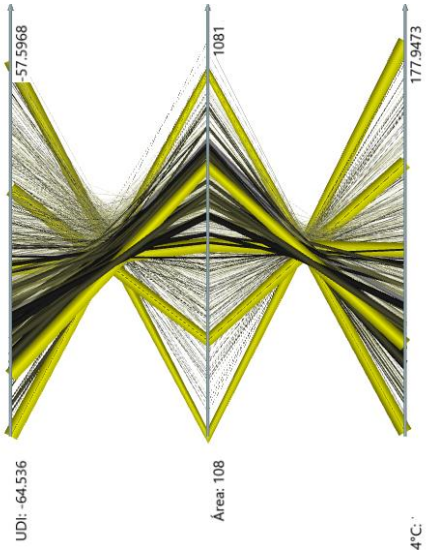


Figura 04. Gráfico de coordenadas paralelas das soluções com cinco grifadas



Fonte: Os autores

As soluções com combinações extremas, somadas a cinco soluções encontradas pelo algoritmo foram pinçadas para cada grupo de simulação a fim de traçar um paralelo com o processo de projeto guiado pelo desempenho. Ou seja, entender o comportamento do problema específico de projeto e selecionar soluções possíveis dentro de um universo de possibilidades (Tabela 1). As cinco soluções escolhidas são as combinações que estão marcadas em amarelo nos gráficos de dispersão e de coordenadas paralelas.

Tabela 1 – Resultados obtidos nas cinco soluções otimizadas em comparação com as soluções extremas em ordem decrescente de área.

Solução	**Área de sacada (m²)**	**% do total**	**Média UDI (100-2000 lux)**	**% do total**	**Radiação média >24°C (KWh/m²)**	**% do total**
Extrema (varandas com tamanho total)	1597	100	67.95	100	101.87	56.5
Otimizada 01	1003	62.8	65.01	95.6	126.04	70,0
Otimizada 02	772	48.3	62.75	92.3	137.66	76.4
Otimizada 03	579	36.2	61.66	90.7	150.30	83.5
Otimizada 04	344	21,5	59.60	87.7	161.87	89.9
Otimizada 05	108	6.7	57.92	85.2	177.95	98.8
Extrema (sem varandas)	0	0	56.40	83.0	180.00	100

A figura 05 demonstra a matriz de soluções encontradas pelo processo otimização como representativas da problemática, iniciando pelas as soluções com indicadores de desempenho de menor valor até as com maiores valores entre as combinações de desempenho estabelecidas. A matriz demonstra o universo de possibilidades e a grandeza dos valores encontrados, podendo assim auxiliar as decisões de projeto usando como base estratégias de sustentabilidade. No caso-base proposto, possivelmente as soluções de varandas otimizadas somadas ao uso de vidro com transmissão visível de 0.60, ainda não serão suficientes para sanar os períodos de excesso de iluminação e entrada de radiação solar, sendo que, outra combinação de vidro, ou uso de sombreamento interno poderia ser considerado. A figura 06 demonstra a solução que foi escolhida como desejável para a proposta (indicada na tabela i como a solução otimizada 02).

Figura 05. Matriz com 25 soluções otimizadas por ordem de valores obtidos.

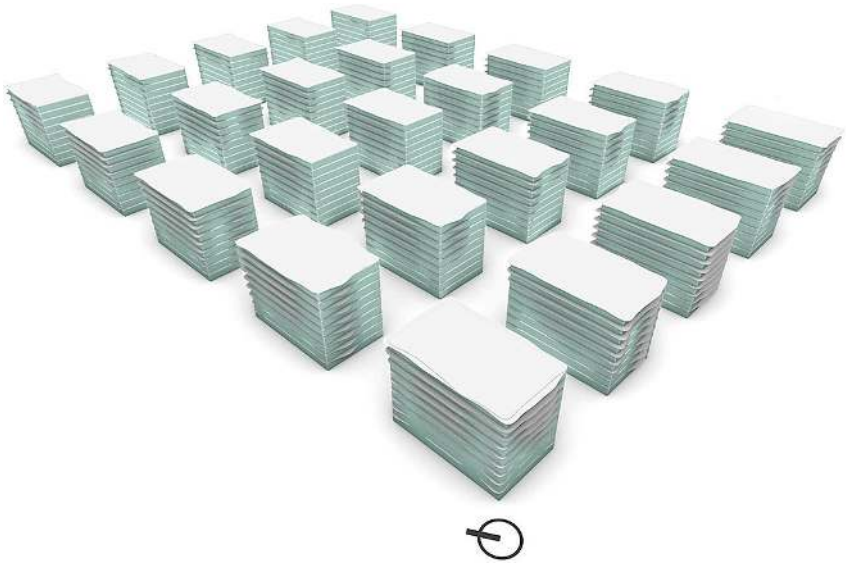
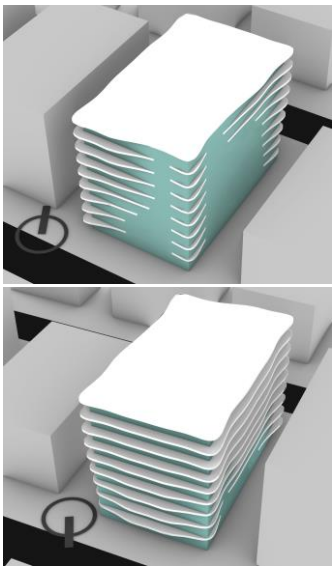


Figura 06. Solução otimizada 02.



Fonte: Os autores

5 CONCLUSÕES

O experimento demostra a aplicabilidade do projeto baseado em desempenho, o uso de processos de otimização no processo de projeto; e propõe um método para projetos de fachadas no que tange o controle solar. Através das soluções otimizadas

é possível reduzir custos associados, estabelecer soluções complexas onde as regras de estética se combinam a indicadores de desempenho, e também compreender possíveis lacunas associadas ao leque de soluções inicialmente estabelecido, uma vez que, o processo ajuda no entendimento do comportamento do universo de possibilidades e valores de grandeza possíveis de obter.

O modelo paramétrico proposto cumpriu o objetivo apresentando simulação até dez vezes mais veloz que com o *Daysim*. Os indicadores de desempenho explorados permitem a classificação das soluções de controle solar com base em requisitos de iluminação natural e de desempenho térmico (análise quantitativa). Em adição há um qualificador da solução, o indicador da área da sacada (análise qualitativa). Esse pode ser utilizado como balizador da solução de maneira a ajudar a escolha final. O modelo é sensível a mudança dos vidros e soluções de geometria complexas. Os resultados apresentados são compatíveis com características do clima de Florianópolis. A abordagem é compatível com o problema específico de projeto (caso-base), sendo neste caso, associado a influência do contexto urbano, orientação e clima específico, compatível com a complexidade do projeto.

O Algoritmo de otimização funcionou para o fim proposto. É uma boa opção para situações com um grande número variação de parâmetros de simulação impossibilitando estabelecer uma análise com todas combinações possíveis. O processo evolutivo busca por casos representativos e caracteriza o comportamento geral das combinações possíveis. Como desvantagem, pode-se apontar que em decorrência da característica randômica no início do processo de otimização, não é garantia que algumas simulações como por exemplo as situações extremas serão simuladas. Por essa razão, é interessante computar situações extremas ao considerar uso de algoritmos evolutivos de otimização para melhorar a caracterização do universo de possibilidades. A ferramenta escolhida, o *Octopus*, foi considerado satisfatória, pois condensa todos os resultados em gráficos interativos, permitindo interação dos dados com o modelo geométrico em tempo real e foi considerado uma boa opção para uso contexto do projeto guiado por desempenho.

O método de três fases apresentou um desempenho satisfatório para simulações. A redução dos dias do ano para análises anuais possibilitou reduzir o tempo de cálculo significativamente, caindo de 4:30 min para 1:20 min por simulação. A rapidez permite executar mais ciclos de análises em menos tempo, mais compatível com a exigência do processo projetual. A redução dos dados anuais combinada ao uso do método de três fases foi considerada uma boa opção para simulações de iluminação dinâmica para as primeiras fases de projeto, principalmente considerando uma ferramenta validada.

Próximos passos preveem a substituição do modelo de radiação para um que compute a carga térmica de resfriamento transiente. Intenciona-se usar o modelo apresentado pela ISO 13790. O método apresenta um modelo de cálculo simplificado que passou por um processo de validação para análises em fases iniciais de projeto conforme apresentam Corrado; Mechri; Fabrizio, (2007).

Entende-se que o método de projeto baseado em desempenho vem despontando e não é comum em projetos da atualidade. Porém a evolução das ferramentas de simulação, modelagem e processos de fabricação digital permitem gerar modelos de geometria complexas através de princípios de desempenho, sendo uma premissa do desenho sustentável. É uma recomendação do autor, pesquisas que apontem melhoramentos, descrições de processos, seleção de problemáticas e formulação de modelos paramétricos de modo a desmistificar gradativamente esses processos.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa e inovação do Estado de Santa Catarina pela bolsa de pós-graduação.

REFERÊNCIAS

AL HORR, Yousef et al. **Occupant productivity and office indoor environment quality: A review of the literature.** Building and Environment, [s. l.], v. 105, p. 369–389, 2016.

AL-MASRANI, Salwa M. et al. Design optimisation of solar shading systems for tropical office buildings: Challenges and future trends. Solar Energy, [s. l.], v. 170, n. April, p. 849–872, 2018.

AISH, Robert. **DesignScript : Origins , Explanation , Illustration.** Computational design modelling, [s. l.], p. 1–8, 2011.

BOUBEKRI, M.; BOYER, L. L. **Effect of window size and sunlight presence on glare**. Lighting Research & Technology, [s. l.], p. 69–74, 1992.

DOGRUSOY, Ilknur Turkseven; TUREYEN, Mehmet. **A field study on determination of preferences for windows in office environments**. Building and Environment, [s. l.], v. 42, n. 10, p. 3660–3668, 2007.

EVE LIN, Shih-Hsin; JASON GERBER, David. **Designing-in performance: A framework for evolutionary energy performance feedback in early stage design.** Automation in Construction, [s. l.], v. 38, p. 59–73, 2014.

LUCA, Francesco De. **Learning Performance-driven Design**. Students Approach Integrating Urban Form Studies and Building Performance Analysis. In: BUILDING SIMULATION 2019.

KHEIRI, Farshad. **A review on optimization methods applied in energy-efficient building geometry and envelope design**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, [s. l.], v. 92, n. May 2017, p. 897–920, 2018.

KIRIMTAT, Ayca et al. **Review of simulation modeling for shading devices in buildings.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, [s. l.], v. 53, p. 23–49, 2016.

KIRIMTAT, Ayca et al. **Multi-objective energy and daylight optimization of amorphous shading devices in buildings.** Solar Energy, [s. l.], v. 185, n. April, p. 100–111, 2019.

KISCHKOWEIT-LOPIN, Martin. **An overview of daylighting systems.** Solar Energy, [s. l.], v. 73, n. 2, p. 77–82, 2002.

ØSTERGÅRD, Torben; JENSEN, Rasmus L.; MAAGAARD, Steffen E. **Building simulations supporting decision making in early design – A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, [s. l.], v. 61, p. 187–201, 2016.

PAPALAMBROS, Panos Y.; WILDE, Douglass J. **Principles of Optimal Design: Modeling and Computation**. 2000.

REZAEI, Soroosh Daqiqeh; SHANNIGRAHI, Santiranjan; RAMAKRISHNA, Seeram. **A review of conventional, advanced, and smart glazing technologies and materials for improving indoor environment.** Solar Energy Materials and Solar Cells, [s. l.], v. 159, p. 26–51, 2017.

RUCK, N. et al. **Daylight in Buildings-A source book on daylighting systems and components.** [s.l.] : Lawrence Berkeley National Laboratory: Washington, DC, USA, 2000.

WARD, Gregory et al. **Simulating the daylight performance of complex fenestration systems using bidirectional scattering distribution functions within radiance**. Leukos, v. 7, n. 4, p. 241-261, 2011.

WORTMANN, Thomas; NANNICINI, Giacomo. **Introduction to Architectural Design Optimization.** In: City Networks - Planning for Health and Sustainability. [s.l.] : Springer International Publishing, 2017. v. 128.