XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Modelagem e simulação da luz natural nas etapas iniciais do projeto arquitetônico

Modelado y simulación de la luz natural en las etapas iniciales del proyecto arquitectónico

Natural light modeling and simulation during the early stages of architectural design

Iluminação natural e artificial / *Iluminación natural y artificial / Natural and artificial lighting*

Dutra da Rocha, Laila
Mestre, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, laila.dutra@posgrad.ufsc.br

Ruttkay Pereira, Fernando Oscar
PhD, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, ruttkay.pereira@ufsc.br

Resumo

Nas fases iniciais do projeto, é crucial considerar entorno e clima para definir volumetria, orientação e aberturas, influenciando no aproveitamento da luz natural. Porém, simulações computacionais do desempenho lumínico são comuns apenas com consultorias em estágios finais. Assim, essa pesquisa objetiva avaliar a utilização da modelagem e simulação da luz natural como uma ferramenta para tomada de decisões nas etapas iniciais de um projeto arquitetônico, através do desenvolvimento de uma edificação vertical situada em área de adensamento urbano. O método analisa o percentual de visualização do céu pelo edifício e horas de incidência solar, usando *Ladybug Tools* e *Grasshopper for Rhino*. Os resultados guiam o projeto à melhor configuração para o aproveitamento da luz natural. Por fim, a comparação entre os pavimentos médios da volumetria máxima base, configurada apenas por parâmetros urbanísticos, e dessa volumetria após a otimização da geometria revelou maior acesso à iluminação natural.

Palavras-chave: Iluminação natural. Simulação computacional. Etapa inicial de projeto.

Resumen

En fases iniciales del proyecto, es crucial considerar entorno y clima para definir volumetría, orientación y aberturas, que influyen en el aprovechamiento de la luz natural. Sin embargo, simulaciones lumínicas suelen realizarse únicamente con consultorías en etapas finales. Así, esta investigación propone evaluar la modelación y simulación de la luz natural como herramienta para la toma de decisiones en etapas iniciales de un proyecto arquitectónico, mediante desarrollo de un edificio vertical ubicado en zona de densificación urbana. El método analiza el porcentaje de visualización del cielo desde el edificio y las horas de incidencia solar, utilizando Ladybug Tools y Grasshopper for Rhino. Los resultados guían el proyecto hacia la mejor configuración para aprovechar la luz natural. Finalmente, la comparación entre los pisos medios de la volumetría máxima base, configurado con parámetros urbanísticos, y de esa volumetría tras la optimización de la geometría reveló un mayor acceso a la iluminación natural.

Palabras clave: Iluminación natural. Simulación computacional. Fase inicial de proyecto.

Abstract

In the early design stages, it is crucial to consider the surroundings and climate to define volumetry, orientation, and openings, which directly influence daylight improving. However, the computational simulation of lighting performance is only carried out by consultants at the final stages. Thus, this research aims to evaluate the use of natural light modeling and simulation as a decision-making tool during the early phases of an architectural project, through the development of a vertical building located in an urban densification area. The method analyzes the percentage of sky visibility from the building and solar exposure hours, using Ladybug Tools and Grasshopper for Rhino. The results guide the design toward the best configuration for improving daylight. Finally, the comparison between the middle floors of a base maximum volume, defined solely by urban planning parameters, that volume after geometry optimization revealed greater access to natural lighting.

Keywords: Daylight. Computer simulations. Early design stage.

Introdução

Na fase projetual, arquitetos tomam decisões que impactam a iluminação natural dos ambientes, como geometria e orientação do edifício. Frequentemente, tais variáveis são definidas conforme experiências dos projetistas (Reinhart; Weissman, 2012). Uma ferramenta comum para analisar o desempenho é a simulação computacional, muitas vezes vista como incompatível às etapas iniciais, por exigir maior nível de detalhamento (Østergård; Jensen; Maagaard, 2016).

Além disso, há a dualidade entre o uso de modelos de avaliação simplificados e a consideração de todas as variáveis da iluminação, como luz solar direta e difusa, refletância das superfícies e risco de ofuscamento (Carlucci *et al.*, 2015). Segundo pesquisas, o entorno, condições de céu, sua conectividade visual com o edifício, orientação e localização dos ambiente internos são fatores que influenciam na admissão da luz natural (Mardaljevic, 2019; Reinhart; LoVerso, 2010).

Apesar de sua utilidade, a simulação computacional ainda é pouco adotada por arquitetos devido à sua complexidade e falta de integração com programas de projeto, o que faz com que posterguem essa análise para etapas mais avançadas, com o apoio de consultorias especializadas (Østergård; Jensen; Maagaard, 2016). Contudo, a fase inicial do projeto é a melhor oportunidade para explorar estratégias passivas de iluminação (Mavromatidis; Marsault; Lequay, 2014).

Para introduzir o uso da simulação no início do projeto, surge a proposta da "simulação preliminar", que aplica o procedimento de simulação da iluminação natural desde a definição do terreno até as primeiras configurações dos pavimentos tipo. Para isso, reproduz-se o desenvolvimento de um projeto de edificação vertical na cidade de Florianópolis-SC, através da modelagem paramétrica pelo programa Grasshopper for Rhino e análise com o Ladybug Tool 1.6.0. A simulação foi baseada na conectividade do ambiente construído com o fenômeno da luz natural e pretende auxiliar profissionais da arquitetura a otimizarem o aproveitamento da luz natural já na concepção do projeto, tornando-a um guia para decisões arquitetônicas.

Objetivo Geral

Avaliar a utilização da modelagem e simulação da luz natural como uma ferramenta para tomada de decisões nas etapas iniciais de um projeto arquitetônico.

Objetivos Específicos

- Elaborar um modelo de desempenho compatível com etapas iniciais de projeto;
- Comparar o desempenho lumínico da volumetria otimizada resultante da simulação preliminar com a volumetria derivada de índices urbanísticos;
- Indicar parâmetros da simulação preliminar adequados à etapa de decisões projetuais.

Metodologia

Modelo de avaliação do desempenho

Para maior compatibilidade com etapas inicias de projeto e facilidade de interpretação dos resultados, o método proposto é baseado na conectividade visual entre o céu, o sol, a volumetria da edificação e suas superfícies internas. Nessa "simulação preliminar", as variáveis envolvidas na composição da edificação são definidas pelo arquiteto e configuradas através da modelagem paramétrica. A classificação dos modelos considera o desempenho conforme os critérios:

- Critério 01: maior visibilidade do céu pela envoltória e superfície do piso dos pavimentos tipo, ou seja, maiores possibilidades de iluminação natural direta e indireta;
- Critério 02: maior acesso à luz direta do sol pela envoltória e superfície do piso dos pavimentos tipo, calculado pelo número de horas de incidência solar direta anual

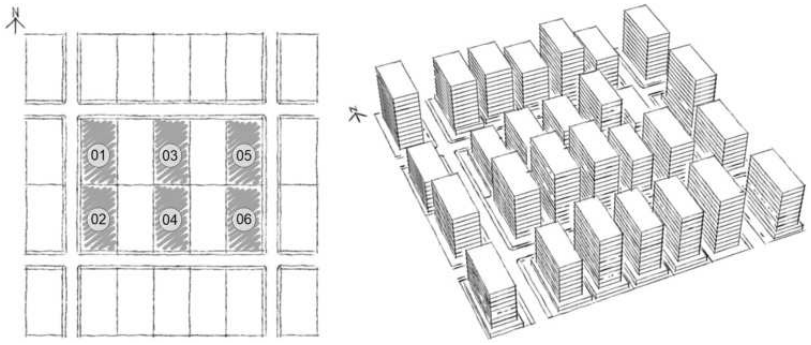
A busca por maximizar a incidência solar, apesar do risco de ofuscamento e superaquecimento dos ambientes, se dá pelo contexto de adensamento urbano verticalizado. Tratar as fachadas com elementos de sombreamento é mais factível do que solucionar a falta do acesso à luz solar.

Terreno

Para a pesquisa, é desenvolvida uma edificação vertical hipotética em área de adensamento urbano, com entorno baseado no padrão de Florianópolis. Assumindo dimensões mínimas para os terrenos (22mx40m e 880m^2) e os índices urbanísticos máximos da cidade (recuo frontal: 4m; recuos fundos e laterais da torre: 3m; nº de pavimentos: 12; índice de aproveitamento: 6; taxa de

ocupação: 70 para base e 50 para torre), compõe-se uma quadra urbana com seu entorno imediato. Seis terrenos são analisados quanto o percentual de visibilidade do céu, seguindo o Critério 01 do modelo proposto, através da ferramenta *LB ViewPercent SkyExposure*. Nesta etapa, são selecionados os terrenos que obtiverem maiores resultados.

Figura 1: Quadra urbana hipotética e terrenos a serem analisados pela pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora.

Volumetria Máxima

Nos terrenos selecionados, são configurados edifícios de forma paramétrica, conforme os índices urbanísticos. A edificação nesta etapa é nomeada Volumetria Máxima (VM). Nesta etapa, é avaliada a porcentagem de visualização do céu por parte das envoltórias obtidas, utilizando a ferramenta *LB ViewPercent SkyExposure*. Em seguida, é simulada a incidência de luz direta do sol num período anual nos mesmos volumes (Critério 02). Para isso, é utilizado o arquivo climático tipo *SWERA* de Florianópolis associado à ferramenta *LB Direct Sun Hours*. Essa etapa permite a seleção de um único terreno para o desenvolvimento do projeto conforme seu potencial.

Volumetria Otimizada

No início da concepção do edifício ocorre o estudo de soluções arquitetônicas. É nesta etapa em que a pesquisa propõe a utilização da "simulação preliminar". A análise dos resultados anteriores

leva o projetista a alterar o volume para melhorar o desempenho visual. O artigo trabalha com modificações manuais de variáveis parametrizadas, alterando a proporção do edifício com o afastamento da volumetria de áreas do terreno vulneráveis a obstrução pelo entorno.

O desempenho da Volumetria Otimizada (VO) em relação a conectividade visual com o céu e o sol é demonstrado através de cores falsas em sua envoltória, assemelhando-se a um mapeamento de usos, característico da etapa de concepção projetual. Isso ajuda a discriminar a posição de ambientes de permanência prolongada e temporária, conforme a disponibilidade de iluminação, e de elementos de sombreamento nas fachadas.

Desempenho da iluminação natural

A verificação do cumprimento dos critérios estabelecidos ocorre com a comparação entre as VO e VM, através da análise do desempenho efetuada nos pavimentos dois, seis e dez, observando a variação vertical de acesso à luz natural. A pesquisa considera aberturas dispostas por todas as fachadas do edifício, com peitoril de 0,90m e altura de 1,20m, sem a aplicação de vidros. É simulado a conectividade visual entre céu, sol, e a superfície de piso dos pavimentos (na altura de 0,80m). Assim, é possível observar a distribuição da luz natural ao longo da profundidade do ambiente e pontos mais suscetíveis ao ofuscamento e superaquecimento, o que auxilia a determinar as dimensões dos ambientes, altura das aberturas e disposição de elementos de sombreamento. A partir desta etapa, profissionais de arquitetura poderão seguir personalizando a edificação conforme os resultados das simulações.

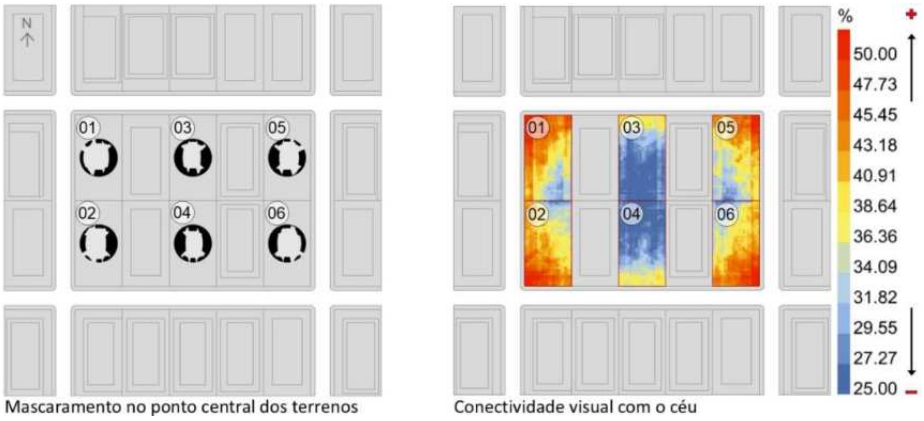
Resultados

Terreno

A Figura 2 apresenta os mascaramentos no ponto central dos terrenos e os resultados da simulação da conectividade visual com o céu. Esta etapa representa apenas o desempenho do terreno, e não da volumetria que será configurada posteriormente. Os Terreno 03 e 04 foram mais afetados pelo entorno, que foi corroborado pela maior permissibilidade dos recuos laterais.

Os quatro terrenos de esquina apresentaram maior conectividade visual com o céu, privilegiados pelo maior afastamento dos edifícios, resultando entre 40,4% e 37,9% de porcentagem de visualização média. Para próxima etapa, por apresentarem desempenhos semelhantes e maiores, apenas os terrenos de esquina (Terrenos 01, 02, 05 e 06) serão simulados quanto ao desempenho de sua VM, conforme modelo de avaliação proposto, e os terrenos mais prejudicados pela obstrução do entorno (Terrenos 03 e 04) não serão selecionados.

Figura 2: Mascaramento no ponto central dos terrenos (esq.) e resultados da análise quanto a conectividade visual com o céu (dir.).

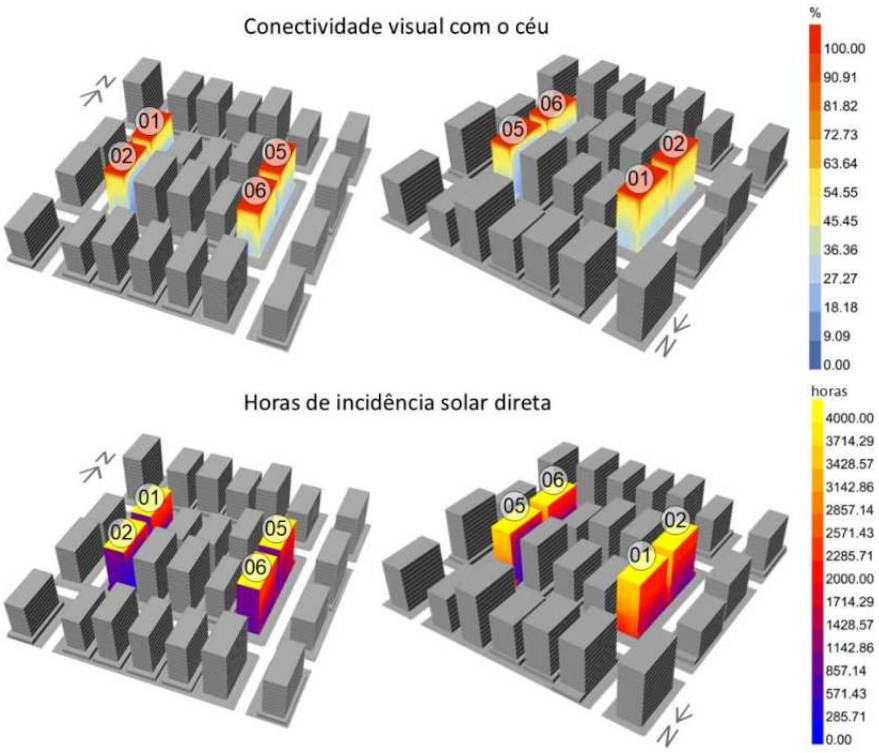


Fonte: Elaborado pela autora.

Volumetria Máxima

A modelagem da VM nos terrenos selecionados seguiu os parâmetros urbanísticos de zonas adensadas de Florianópolis. Isso resulta numa geometria simples composta por um pavimento de embasamento com 70% da área do terreno e onze pavimentos de torre com 50%, resultando em 423m² cada (14m de largura e 30,22m de comprimento). Os Critérios 01 e 02 do modelo de desempenho são aplicados na envoltória das volumetrias (Figura 3).

Figura 3: Resultados da análise das Volumetrias Máximas quanto à conectividade visual com o céu (cima) e às horas de incidência solar direta (baixo)



Fonte: Elaborado pela autora.

As fachadas laterais foram afetadas pelo entorno, por conta da maior proximidade entre eles. Houve também o decaimento dos desempenhos ao longo do eixo vertical da volumetria, afetando os pavimentos inferiores. As fachadas frontais orientadas a norte (Volumetrias 01 e 05) obtiveram maior acesso à luz solar direta quando comparadas às fachadas frontais a sul (Volumetrias 02 e 06), o que era esperado para essa localização geográfica.

Por se tratar de uma malha urbana ortogonal composta por edifícios de mesma tipologia, as quatro Volumetrias Máximas apresentaram visualização média do céu semelhantes (Tabela 1). Mas a trajetória solar anual da cidade de Florianópolis não apresenta essa simetria em todos os pontos cardeais, garantindo o importante papel da orientação da edificação para admissão de luz

solar nos ambientes internos. A Volumetria Máxima 01 apresentou o melhor desempenho conforme os Critérios 01 e 02. Dessa forma, ela será selecionada para as próximas etapas da pesquisa, para a sua otimização.

Tabela 1: Volumetrias Máximas analisadas conforme porcentagem de visualização média do céu e horas de incidência solar direta média.

Volumetria Máxima	Visualização do céu média (%)	Número de horas de incidência solar média (h)
01	40,0	1652,6
02	39,1	1446,9
05	37,6	1475,1
06	39,7	1471,3

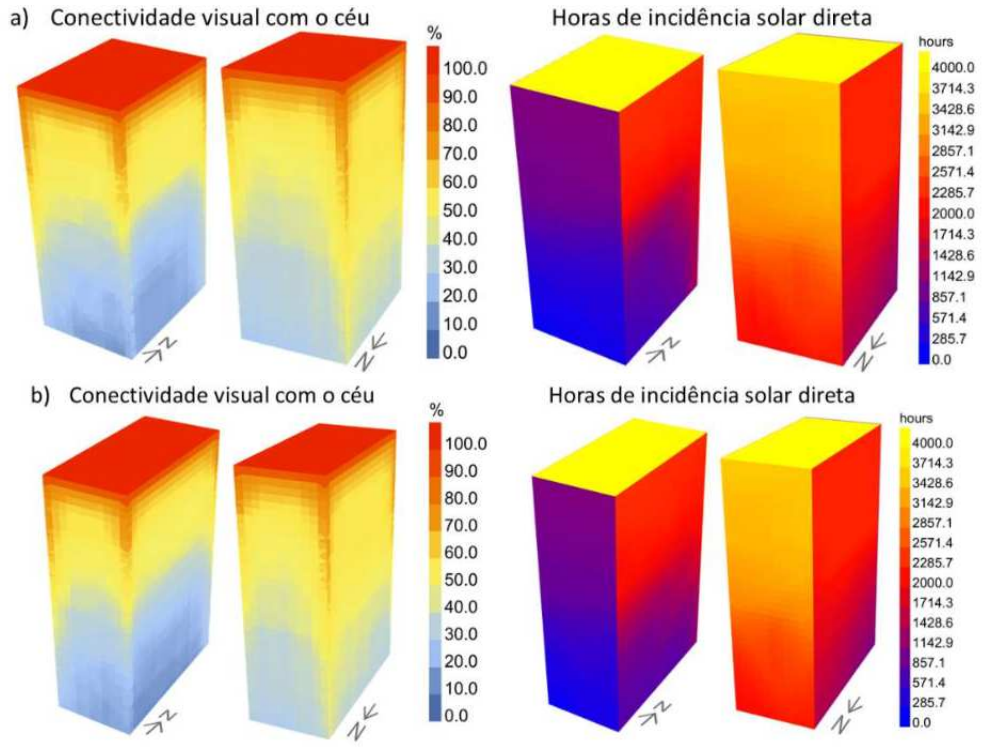
Fonte: Elaborado pela autora

Volumetria Otimizada

Para aumentar o acesso à luz natural pela envoltória a estratégia adotada foi a de afastar a edificação do entorno, aproximando-a dos limites frontais do terreno. Assim, foram criadas duas volumetrias otimizadas retangulares, a R01 e R02. Conforme os recuos laterais aumentam, o embasamento presente na VM é eliminado.

A Volumetria R01 (Figura 4a) é configurada após o recuo da menor lateral e possui 15m de largura e 20m de comprimento, totalizando 300m² em cada pavimento. Isso corresponde a aproximadamente 34% da área do terreno e equivale a 71% da Volumetria Máxima. Nesta situação, a menor lateral obtém maior desempenho quando comparada à Volumetria Máxima (Tabela 2). Na Volumetria R02 recua-se também a lateral maior da edificação, para afastá-la do edifício vizinho. Ela possui 12m de largura e 25m de comprimento, com 300m² em cada pavimentos (Figura 4b), resultando num formato mais estreito e alongado. A Tabela 2 mostra o aumento do acesso à luz natural nos dois modelos de forma semelhante. Entretanto, por possuírem proporções geométricas distintas, principalmente envolvendo a sua profundidade, são esperados desempenhos internos diferentes.

Figura 4: Resultados da análise da Volumetrias R01 (a) e R02 (b) quanto à conectividade visual com o céu (esq.) e às horas de incidência solar direta (dir.)



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 2: Visualização média do céu e número de horas de sol média da Volumetria Máxima e Otimizadas.

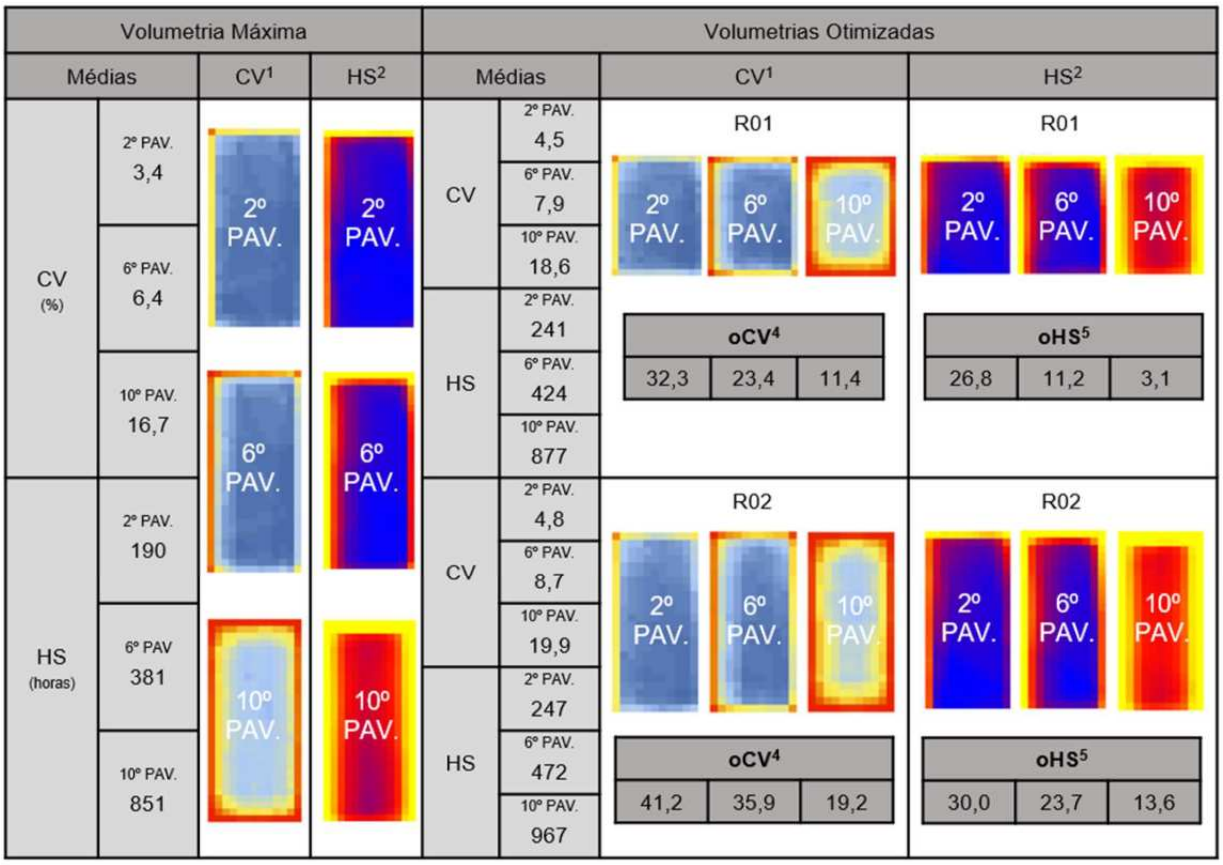
Volumetrias	Visualização do céu média (%)	Número de horas de incidência solar média (h)	Área dos Pavimentos Tipo (m²)
Máxima	40,0	1652,6	423
R01	43,9	1759,1	300
R02	43,6	1766,4	300

Fonte: Elaborado pela autora

Desempenho da iluminação natural

Para analisar a admissão da luz natural no interior do edifício, foram selecionados segundo, sexto e décimo pavimentos das VM e VO e dispostas aberturas em todas as suas fachadas. O estudo considera apenas o caráter geométrico do edifício e das aberturas, visto que especificações de materiais de vidros e paredes ainda não estão disponíveis nas etapas iniciais do projeto. Os resultados são apresentados na Figura 5.

Figura 5: Resultado das simulações do segundo, sexto e décimo pavimentos da Volumetria Máxima, R01 e R02



[1]CV: Conectividade visual média com o céu (%). **[2]HS:** Horas de incidência solar média (horas). **[3]oCV:** Otimização da conectividade visual com o céu (%). **[4]oHS:** Otimização das horas de incidência solar (%). Fonte: Elaborado pela autora.

Na Volumetria R01, o maior recuo da fachada sul aumentou a conectividade visual (CV) com céu em todo seu perímetro. O mesmo não ocorre na análise de horas de sol (HS), visto que a orientação sul recebe menor incidência solar nesta latitude. Na Volumetria R02, recuos aplicados em ambas as laterais, permitiram aumentar a conectividade visual com o céu e o acesso à luz solar direta. Os melhores resultados foram detectados próximos às fachadas frontais, onde há o maior afastamento dos edifícios vizinhos, alcançando maior profundidade no ambiente.

A análise de mais de um pavimento permitiu observar o decaimento vertical ao longo da volumetria, visto que os pavimentos inferiores são mais afetados pela obstrução do céu causada pelo entorno. Ainda, nos dois modelos, o centro do ambiente obteve menor desempenho, por estar mais afastado das aberturas. Porém, na Volumetria R02, em virtude do seu formato mais estreito e alongado, permitiu o aumento do seu perímetro e, consequentemente, da área de abertura. Isso conferiu maior índice de otimização da conectividade visual (oCV) e horas de incidência solar (oHS) a essa volumetria em todos os pavimentos analisados.

Conclusões

A “simulação preliminar” foi aplicada nas três escalas envolvidas na elaboração do projeto: o terreno, a volumetria e os pavimentos. Priorizar o acesso à luz natural na seleção do terreno facilita o desenvolvimento posterior do projeto. No estudo volumétrico, a simulação contribui para localizar regiões do terreno menos vulneráveis às obstruções pelo entorno e permite modificar a geometria ao mesmo tempo em que investiga o acesso à luz. Já na análise do pavimento tipo, acrescenta o estudo de suas aberturas e como elas influenciam iluminação.

Além disso, o estudo mostrou a diferença entre analisar a iluminação natural numa superfície vertical (envoltória) e numa horizontal (pisos), visto que os resultados das simulações volumétricas indicavam índice de otimização semelhante entre as duas Volumetrias. Também é relevante ressaltar que as classificações quanto à conectividade visual com o céu e horas de incidência solar diferem entre si (Figura 5). Enquanto o primeiro Critério do modelo de desempenho depende apenas da geometria da edificação e seu entorno, o último Critério expõe a relevância de sua orientação.

Outro produto da “simulação preliminar” é a visualização gráfica dos resultados, que indicam regiões de maior e menor acesso à iluminação natural, o que contribui para a distribuição das divisórias internas e aberturas, posicionamento de ambientes de permanências prolongadas e temporárias, e de elementos de sombreamento, entre outras estratégias.

Agradecimentos

À bolsa CAPES e à CNPq, através do Processo 309394/2020-1, pelo apoio financeiro essencial durante a elaboração da pesquisa.

Referências

CARLUCCI, S.; CAUSONE, F.; DE ROSA, F.; PAGLIANO, L. A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [*s. l.*], v. 47, n. 1, p. 1016–1033, jul. 2015.

MAVROMATIDIS, L. E.; MARSAULT, X.; LEQUAY, H. Daylight factor estimation at an early design stage to reduce buildings’ energy consumption due to artificial lighting: A numerical approach based on Doehlert and Box–Behnken designs. **Energy**, [*s. l.*], v. 65, p. 488–502, fev. 2014.

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

REINHART, C. F.; LOVERSO, V. A rules of thumb-based design sequence for diffuse daylight. **Lighting Research & Technology**, [*s. l.*], v. 42, n. 1, p. 7–31, mar. 2010.

REINHART, C. F.; WEISSMAN, D. A. The daylit area – Correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics. **Building and Environment**, [*s. l.*], v. 50, p. 155–164, abr. 2012.