IMPACTOS DO ENTORNO IMEDIATO NO PROJETO DE PROTEÇÕES SOLARES DE EDIFÍCIOS ALTOS

Anna Leticia Amorim de Pinho (1); Vinicius Leon Dias Gomes Aleixo (2) Marilia Fontenelle (3)
(1) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, Escola de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal Fluminense, Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos, Niterói-RJ. CEP 24210-240, tel (21) 2629-5745, annaamorim@id.uff.br
(2) Arquiteto e Urbanista, Escola de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal Fluminense, Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos, Niterói-RJ. CEP 24210-240, tel (21) 2629-5745, viniciusaleixo@id.uff.br
(3) Arquiteta e Urbanista, Professora Doutora do Departamento de Arquitetura, Universidade Federal Fluminense, Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos, Niterói-RJ. CEP 24210-240, tel (21) 2629-5745, mariliafontenelle@id.uff.br

RESUMO
Em meios urbanos, a disponibilidade de luz natural pode variar de forma expressiva em decorrência das obstruções do entorno. Por isto, o desenho de elementos de proteção solar deve refletir as particularidades de cada contexto. O objetivo desta pesquisa consiste em demonstrar os impactos da obstrução solar gerada pelo entorno imediato no projeto de proteções solares de edifícios altos. Adota-se como objeto de estudos um edifício de escritórios hipotético de 14 pavimentos, inserido em 5 cenários urbanos diferenciados quanto à altura e espaçamento dos edifícios. Utilizando-se a suíte de aplicativos *Rhinoceros*, *Grasshopper* e o plug-in *Ladybug*, são realizadas simulações para o cálculo da radiação solar sobre a fachada Norte do edifício em questão e desenhadas as máscaras de sombra por pavimento resultantes de cada cenário urbano investigado. A partir deste diagnóstico, o desenho da fachada é proposto e avaliado por meio de simulações lumínicas com o plug-in *Honeybee*. Os resultados indicam que é possível assegurar um desempenho lumínico satisfatório e relativamente uniforme entre pavimentos quando o desenho das proteções é adequado às diferentes demandas de sombreamento de cada andar, sem perder de vista a unidade formal da fachada.

Palavras-chave: Sombreamento pelo entorno; elementos de proteção solar; edifícios altos.

ABSTRACT
Solar access can vary considerably due to the obstructions caused by the surrounding buildings. Therefore, shading solutions should address the specific characteristics of each context. This paper aims to demonstrate the impacts of solar obstruction from the surrounding buildings on the design of shading devices for tall buildings. A hypothetical 14-story office building is inserted in five urban scenarios composed of buildings with different height and spacing. Radiation simulations using Rhinoceros, Grasshopper and Ladybug are performed to calculate solar gains on the North facade, and shadow masks are generated for each floor and scenario. Based on this diagnosis, shading devices are proposed and evaluated through Daylight simulations on Honeybee. The findings suggest that by adapting shading devices to different shading requirements on each floor, it is possible to achieve satisfactory and uniform daylighting performance across all floors, while maintaining the facade's formal unity.

Keywords: Shading from surrounding buildings; shading devices; tall buildings.

1. INTRODUÇÃO

Em meios urbanos, a disponibilidade de luz natural pode variar de forma expressiva em decorrência das obstruções do entorno. Fatores como vegetação, topografia, albedo das superfícies, altura das edificações, largura da via e afastamento entre edifícios impactam diretamente no desempenho lumínico de ambientes internos (GUIDI et al., 2018; HOPPE; ALVAREZ; LARANJA, 2021).

Enquanto nos edifícios isolados, a incidência solar homogênea e intensa ao longo da fachada pode acarretar iluminâncias excessivas no interior das edificações, em cânions urbanos, o bloqueio solar geralmente reduz a ocorrência de iluminâncias satisfatórias, embora minimize a probabilidade de ofuscamento (LEAL; LEDER, 2018). A variação de radiação solar pode ocorrer também ao longo de uma fachada. Em áreas adensadas, o topo da edificação tende a apresentar excesso de radiação, ao passo que a base pode ter um acesso solar precário, o que contribui para um desempenho lumínico insatisfatório e desigual entre pavimentos (STROMANN-ANDERSEN; SATTRUP; 2011).

Nesta perspectiva, o desenho da envoltória de edificações situadas em meios urbanos deve atender a outros aspectos além dos requisitos funcionais e estéticos, sendo a observação aos bloqueios solares gerados por elementos do entorno um dos pontos cruciais a se considerar. Não obstante, o que se observa em edifícios residenciais e de escritórios contemporâneos neste contexto é a replicação da lógica do "pavimento tipo" para a "fachada tipo", repetindo-se a mesma solução de abertura e sombreamento independentemente das influências que o contexto urbano exerce.

Algumas pesquisas vêm desenvolvendo metodologias para auxiliar o projetista na concepção de fachadas mais complexas, que atendam a demandas variadas de sombreamento entre pavimentos.

Queiroz, Dantas e Nome (2015) adotam ferramentas paramétricas e algorítmicas no auxílio à concepção de uma envoltória de um edifício em forma cilíndrica situado em um meio urbano composto por edificações de diferentes alturas. A solução proposta aplica um elemento horizontal fixo com apenas 3 variações de ângulo de sombreamento para se adequar aos diferentes níveis de radiação solar decorrentes das orientações das fachadas e das obstruções geradas pelo entorno. Como resultado, obtém-se um desenho de envoltória bastante dinâmico, sem perder de vista a racionalidade construtiva e unidade compositiva.

Queiroz e Pereira (2021) apresentam um modelo rápido de otimização multicritério do desenho de proteções solares para alcançar alto desempenho térmico e lumínico com a menor área possível de dispositivos de bloqueio solar. Utilizando como estudo de caso um edifício de nove pavimentos inserido em um contexto urbano denso e homogêneo, apresentam diferentes soluções otimizadas compostas por sacadas com desenho orgânico cuja profundidade se adapta às diferenças de obstruções geradas pelos edifícios vizinhos, reduzindo em até 62% a área do dispositivo de proteção.

Esta pesquisa busca contribuir para a discussão sobre os impactos do entorno no desenho da envoltória, ao abordar, em uma única investigação, dois tópicos que vêm sendo tratados separadamente nas publicações sobre o tema: (1) a influência do entorno no acesso solar em meios urbanos; (2) o desenho de proteções solares responsivo ao impacto do entorno. Para enriquecer o debate, serão considerados múltiplos cenários urbanos, o que possibilita comparar as diferentes condições de radiação solar na fachada e os desenhos de proteção solar resultantes. Além disso, propõe-se avaliar a viabilidade de aplicar processos de projeto tradicionais na composição de fachadas mais complexas.

2. OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa consiste em demonstrar os impactos da obstrução solar gerada pelo entorno imediato no projeto de proteções solares de edifícios altos.

3. MÉTODO

A metodologia se baseia em três etapas: (1) diagnóstico: análise de sombreamento do entorno; (2) proposição: concepção da solução de proteção solar; (3) verificação: análises de desempenho lumínico. Os subtópicos a seguir descrevem detalhadamente o objeto de investigação e procedimentos metodológicos.

3.1 O edifício de análise e seus cenários urbanos

O objeto de investigação consiste em um edifício de escritórios de 14 pavimentos tipo compostos por 3 salas comerciais. A maior delas, foco deste estudo, apresenta 150 m² (20x7,5m), pé-direito de 3 m e janela do piso ao teto posicionada na fachada principal, orientada para Norte (Figura 1).

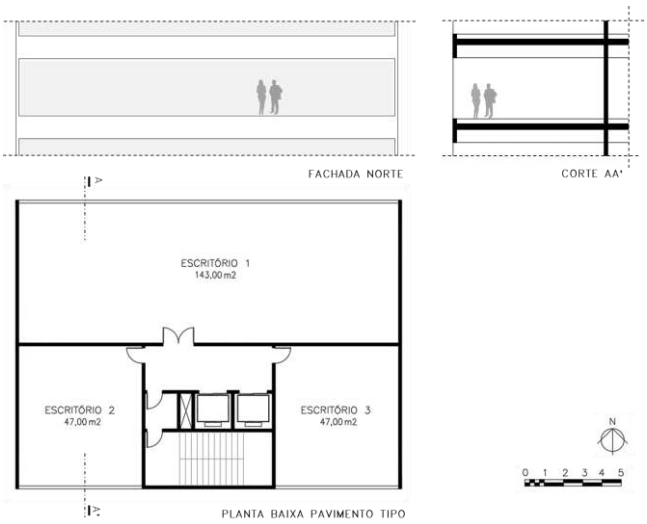


Figura 1 – Pavimento tipo. Fonte: os autores

Para avaliar o impacto do entorno imediato no desenho de suas proteções solares, este edifício é inserido em cinco cenários urbanos com níveis de obstrução solar distintos (Figura 2):

- C1: Ausência de edificações vizinhas;
- C2: Edifícios vizinhos geminados e com metade da altura do edifício estudado;
- C3: edifícios vizinhos geminados e com a mesma altura do edifício estudado;
- C4: edifícios vizinhos com a mesma altura do edifício estudado, espaçados em 15 metros;
- C5: edifícios vizinhos geminados, variando o número de pavimentos entre 7 e 14.

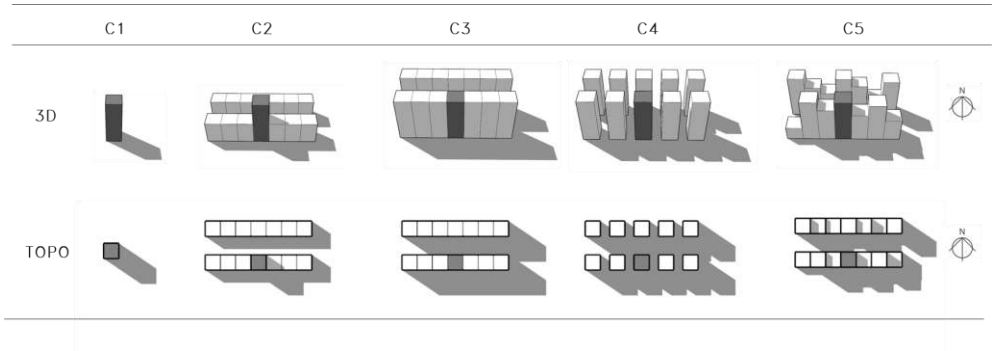


Figura 2 – Cenários urbanos. Fonte: os autores

A composição dos cenários foca apenas em uma via e parte de proposição que a altura das edificações e afastamentos laterais são variáveis urbanísticas de elevada influência no desempenho lumínico dos espaços internos, conforme demonstrado por Hoppe, Alvarez e Laranja (2021). Nos cenários 2-5, considerou-se uma distância de 17 metros entre fileira de edifícios, sendo 14 metros de leito carroçável e 3 metros de calçada. Isto configura cânions urbanos profundos de razão de aspecto (H/W) de 2,22 em C2 e 3,98 em C3-C5.

3.2. Análises do sombreamento do entorno

Com o intuito de verificar o bloqueio solar gerado pelo entorno imediato e as demandas de sombreamento de cada pavimento, foram realizadas simulações anuais de radiação solar na fachada principal (Norte) por meio da suíte de aplicativos *Rhinoceros*, *Grasshopper* e *Ladybug*, utilizando-se como contexto climático o Rio de Janeiro (arquivo climático do Aeroporto Santos Dumont obtido em www.ladybug.tools/epwmap/). A malha computacional foi composta por pontos separados em 50 cm sobre a fachada. Os cálculos consideram apenas a radiação solar anual direta na fachada, desprezando-se, portanto, a reflexão do solo e edifícios vizinhos.

De forma complementar, foram também desenhadas as máscaras de sombra por pavimento, identificando os ângulos de sombreamento gerados pelas edificações vizinhas. Considerou-se para tanto uma única máscara de sombra por andar, a partir de um ponto central na janela, na altura do piso. As máscaras foram geradas automaticamente com o *Ladybug*. Além de indicar os ângulos de sombreamento necessários para as proteções solares a serem projetadas, estas análises são úteis na interpretação dos resultados das simulações lumínicas.

3.3. Desenho das proteções solares e análise do desempenho lumínico

Com base nas análises de sombreamento do entorno, foram propostas soluções de proteção solar para a fachada Norte do edifício (Figura 3), considerando as demandas de sombreamento de cada cenário investigado. O desenho da proteção apoiou-se nas seguintes diretrizes:

- **Tipologia da proteção:** proteção solar horizontais, externas e fixas. Inclusão de prateleira de luz visando ampliar a penetração solar no ambiente de 1,5 vezes para 2 vezes a altura da janela (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).
- **Desenho da proteção:** desenho semelhante entre os cenários, para facilitar a comparação das soluções. Modulação que possibilite uma variação de ângulos de sombreamento ao longo da janela e ofereça flexibilidade para adequação às transformações urbanas. O número de *brises* varia conforme o ângulo de sombreamento necessário para cada pavimento.
- **Eficiência da proteção:** o ângulo de sombreamento da proteção deve ser complementar ao do entorno, evitando-se a sobreposição de máscaras de sombra.

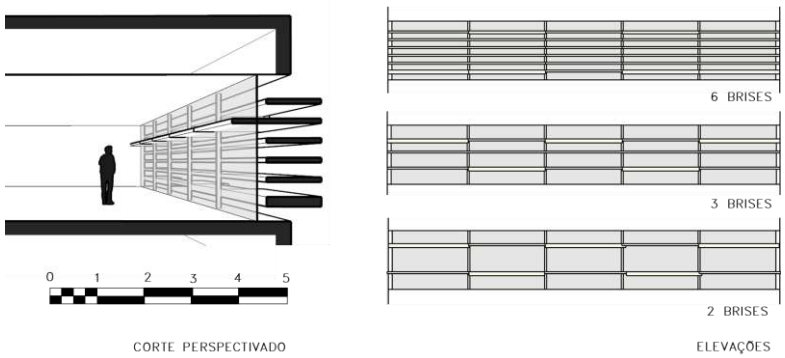


Figura 3 – Desenho da proteção e possíveis variações. Fonte: os autores

Não obstante a disponibilidade de modelos e ferramentas de parametrização para automatizar o processo de composição da envoltória, optou-se nesta pesquisa por adotar um processo de concepção tradicional, possibilitando um comparativo com o método automatizado proposto por Queiroz e Pereira (2021).

Simulações lumínicas dinâmicas foram realizadas por meio do plug-in *Honeybee* para auxiliar na concepção dos elementos de proteção e, posteriormente, verificar seu desempenho. A análise se restringiu ao escritório maior, orientado para Norte. Todos os pavimentos tipo foram simulados, considerando-se um plano de trabalho a 0,75m do piso e uma malha computacional com pontos espaçados em 0,25 m. A Tabela 1 apresenta as propriedades ópticas dos materiais externos e internos.

Tabela 1 – Propriedades ópticas dos materiais. Fonte: os autores

Componente	Característica	Refletância	Transmissão raios visíveis
Piso	carpete cinza	0,15	-
Parede	branco	0,84	-
Teto	branco	0,84	-
Vidro	incolor monolítico 6mm	-	0,86
Rua	asfalto preto	0,03	-
Calçada	pedra portuguesa	0,39	-
Edifícios vizinhos	cinza	0,39	-

Os resultados foram analisados considerando a métrica dinâmica *Useful Daylight Illuminance* (UDI), que indica a frequência anual de três faixas de iluminância em ambientes de trabalho: <100 lux (insuficiente), 100-2000 lux (satisfatória) e >2000 lux (excessiva) (NABIL; MARDALJEVIC, 2006).

4. RESULTADOS

4.1. Análise do sombreamento do entorno

As simulações de radiação (Figura 4) evidenciam os diferentes níveis de sombreamento gerado pelo entorno na fachada Norte do edifício, sendo os cenários C1 e C3 os extremos desta gradação. Nos cenários com edifícios vizinhos (C2-C5), os pavimentos próximos ao nível da rua são os mais sombreados, enquanto no topo do edifício, tem-se acesso solar semelhante ao de um cenário sem obstrução (C1).

Verifica-se que a justaposição e uniformidade da altura dos edifícios vizinhos torna mais homogêneo o nível de radiação ao longo do pavimento (C2 e C3), ao passo que o espaçamento (C4) e a variação de altura entre edifícios (C5) torna este comportamento menos previsível nos eixos horizontal e vertical da fachada.

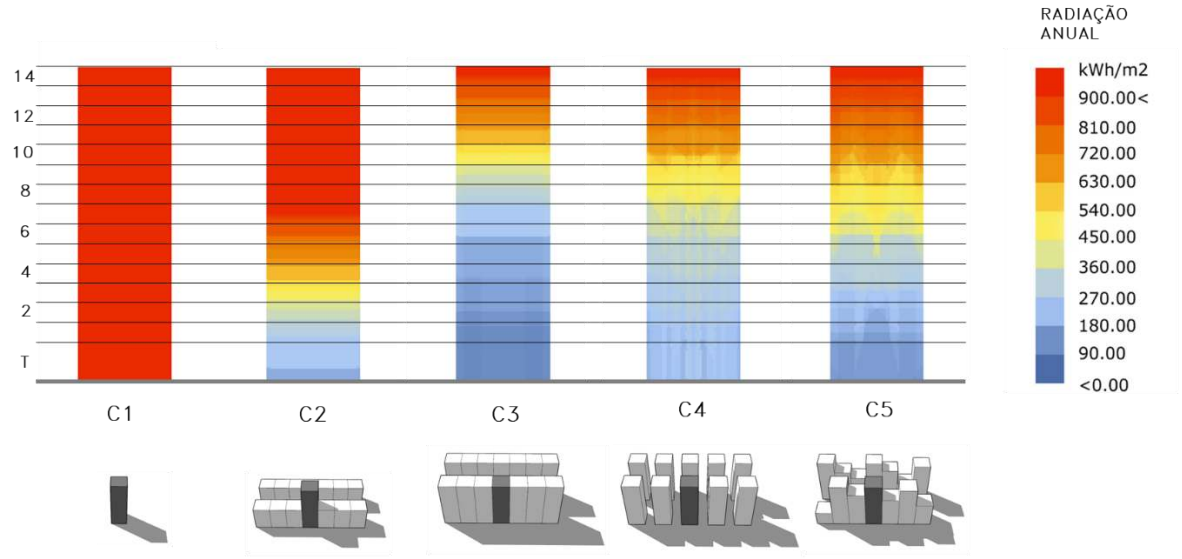


Figura 4 – Radiação solar anual direta na fachada Norte. Fonte: os autores

A ausência de um valor de referência de radiação solar anual que indique a necessidade ou não de sombreamento em um dado ponto da fachada, bem como a insuficiência das simulações para indicar os ângulos de sombreamento para cada pavimento conduziu a produção de máscaras de sombreamento do entorno, apresentadas na Figura 5.

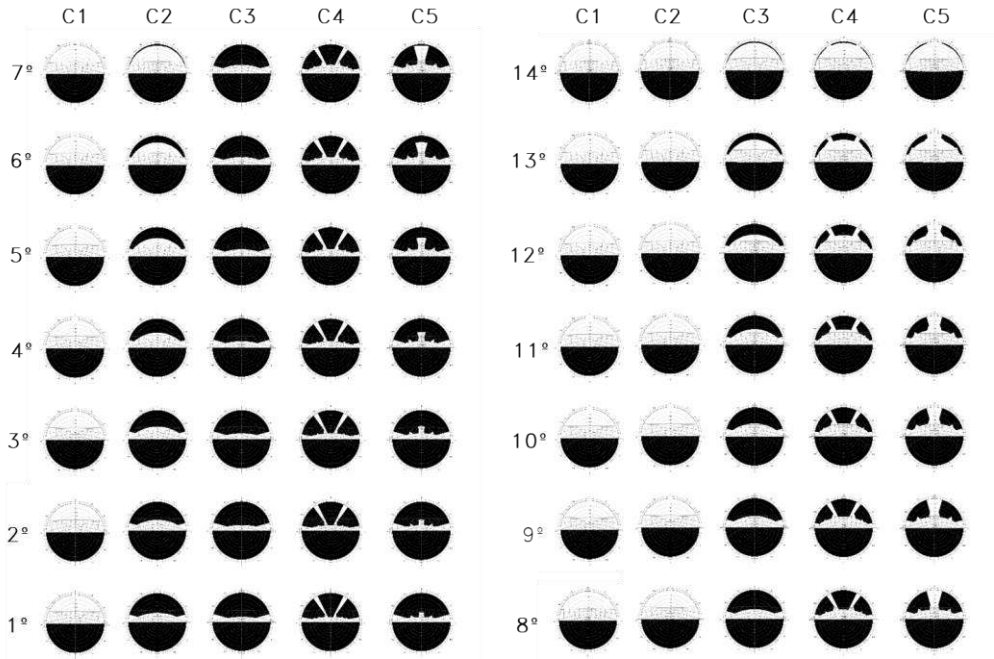


Figura 5 – Máscaras de sombra do entorno. Fonte: os autores

As máscaras reforçam que, na maioria dos cenários estudados, o sombreamento do entorno é mais evidente na base e corpo da edificação, no entanto é pouco eficiente no seu coroamento. O espaçamento entre edifícios vizinhos e variação das alturas pode comprometer o bloqueio solar nas horas mais críticas de insolação, conforme se observa em C4 e C5.

Comparando-se as máscaras e simulações, verifica-se que é possível alcançar níveis de radiação semelhante com número de horas de sombreamento distintos, pois a hora protegida é decisiva no aporte solar anual. Como exemplo disto, pode-se citar o 5º pavimento de C5 e 4º pavimento de C4. Ambos apresentam intensidade de radiação semelhante, a despeito do número de horas sombreadas (51% das horas de insolação no primeiro e 37% no segundo). No 4º pavimento de C3, tem-se um aporte solar reduzido em comparação ao mesmo andar em C4, apesar do mesmo número de horas sombreadas, em função de uma proteção mais consistente ao longo do dia no primeiro caso.

Verifica-se que em nenhum pavimento e cenário investigado, o entorno protege integralmente a fachada Norte durante o horário de ocupação do edifício (8-18h). Nos andares mais elevados, o sombreamento do entorno é bastante ineficiente, e, quando existe, bloqueia apenas os raios solares menos intensos, no início da manhã e fim da tarde. Mesmo nos andares mais baixos, o entorno não obstrui a radiação mais intensa do Rio de Janeiro (10h-15h), que pode provocar um ofuscamento e distribuição heterogênea da luz natural no plano de trabalho. Deste modo, para evitar a incidência solar direta, faz-se necessário incluir, mesmo que com ângulos de sombreamento reduzidos, dispositivos externos de proteção para assegurar o conforto lumínico ao longo de todo o ano.

O diagnóstico apresentado sugere que o desenho da proteção solar é mais complexo em meios urbanos (C2-C5) e que a lógica da "fachada tipo", acriticamente adotada na maioria dos edifícios de escritório, somente faz sentido em edifícios isolados (C1). A rigor, em cenários urbanos mais heterogêneos (C5), bastante recorrentes nas cidades brasileiras, pode ser necessário variar o ângulo de sombreamento em um mesmo pavimento.

4.2. Desenho da proteção e análise de desempenho lumínico

O projeto das proteções solares se baseou na análise de sombreamento do entorno e em simulações lumínicas que foram sendo realizadas ao longo do processo de concepção, antes e após aplicação dos elementos de proteção solar.

A Figura 6 aponta o resultado das simulações antes da aplicação dos brises. Observa-se um desempenho lumínico insatisfatório na maioria dos cenários, sobretudo pelo excesso de luminosidade provocado pela radiação solar direta no plano de trabalho.

A ausência de sombreamento do entorno em C1 acarreta níveis excessivos de luz natural em mais de 60% das horas do ano. A variação entre pavimentos é pouco expressiva e acontece sobretudo no térreo e, de forma mais discreta, nos pavimentos que seguem. Isto pode ser explicado pela influência da reflexão do solo, que, segundo Cabús (2002) e Mohelnikova e Hirs (2016), tem um impacto significativo no desempenho lumínico. Estes resultados associados às análises de sombreamento do entorno sugerem a possibilidade de explorar um desenho único de proteção para todos os pavimentos tipo em C1.

Em contrapartida, os cenários C2-C5 apresentam uma maior variação nas condições de iluminação entre os pavimentos, sendo os andares mais altos aqueles com maior demanda por sombreamento, conforme indica a elevada frequência de iluminâncias acima de 2000 lux. A despeito da menor penetração solar entre edifícios, a reflexão do solo continua impactando as condições lumínicas no térreo. Além disso, quanto maior a obstrução solar pelo entorno, mais recorrente é faixa de iluminância abaixo de 100 lux, conforme se observa em C3 e C5. Faz-se necessário adotar alguma estratégia para melhor aproveitar os raios solares que penetram nos cânions urbanos, além de minimizar a excessiva incidência solar no topo da edificação.

Em C2, observa-se que os pavimentos acima dos edifícios vizinhos (a partir do 8º) apresentam desempenho lumínico muito semelhante ao dos pavimentos tipo de C1. A análise das máscaras de sombra já apontava esta tendência.

C4 é o cenário mais favorecido pelo sombreamento do entorno, pois reduz em até 50% a faixa de iluminâncias excessivas sem compensar na faixa de iluminâncias insatisfatórias. Isto evidencia os benefícios de um tecido urbano mais permeável para a iluminação natural, o que reforça as conclusões de Hoppe, Alvarez e Laranja (2021).

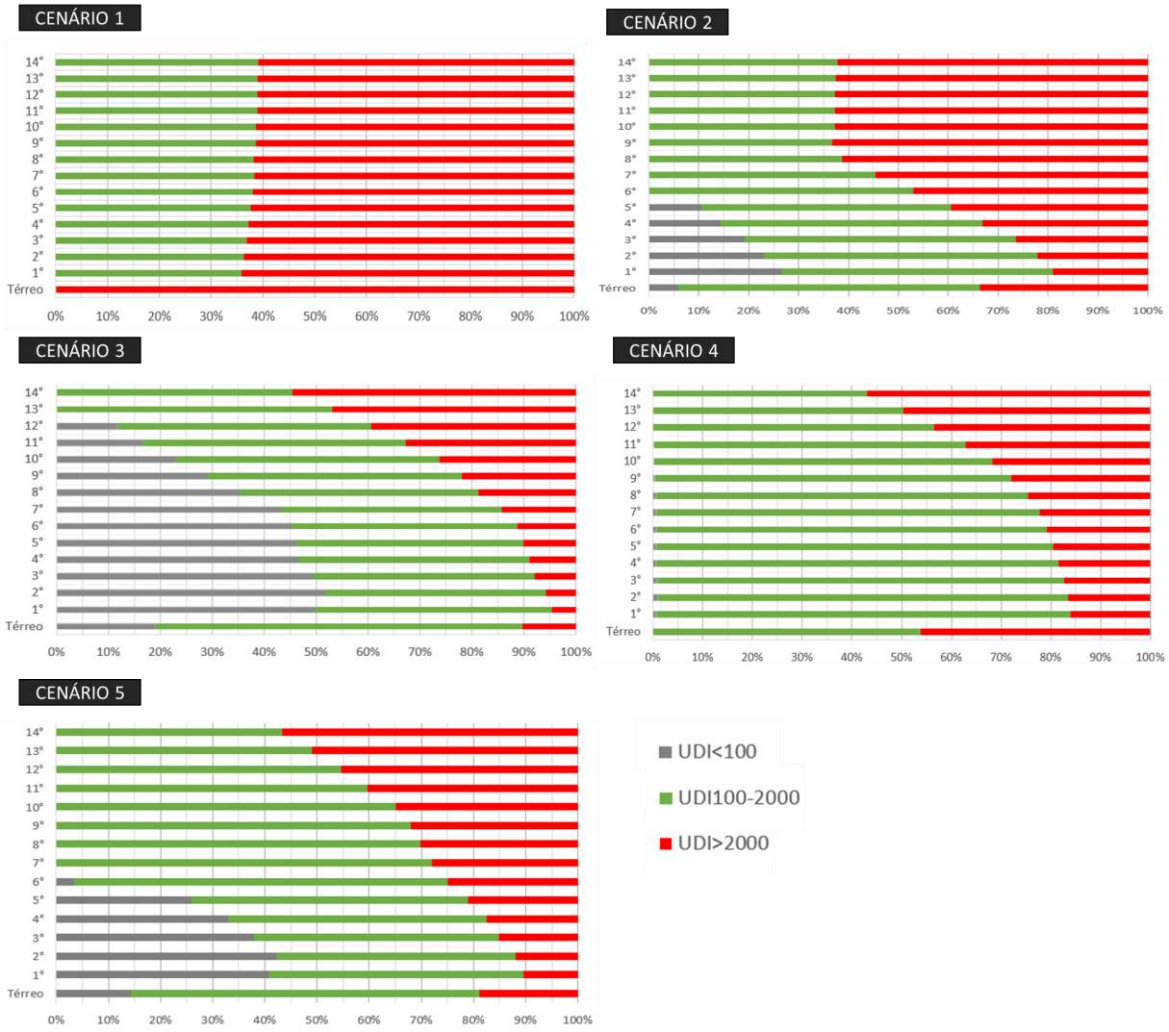


Figura 6 – Desempenho lumínico sem brise. Fonte: os autores

Com base nas conclusões apresentadas e nas diretrizes de projeto (seção 3.3), propôs-se soluções de proteção solar compostas por *brises* e prateleiras de luz, sendo o primeiro destinado ao bloqueio solar e o segundo, para uma distribuição mais uniforme dos raios solares no ambiente (Figura 7). O número de *brises* varia conforme o ângulo de sombreamento necessário para cada pavimento, calculado a partir da máscara de sombra do entorno (Tabela 2). As prateleiras de luz estão presentes em quase todos os casos, exceto naqueles onde este elemento se mostrou desnecessário nas simulações teste. Embora tenha-se adotado um desenho modular para possibilitar variações ao longo da janela, optou-se por adotar um único ângulo de sombreamento para todos os módulos. Isto porque verificou-se em simulações lumínicas que a largura do edifício (20 m) não é suficiente para gerar uma variação expressiva na demanda de sombreamento que justifique um desenho mais complexo.

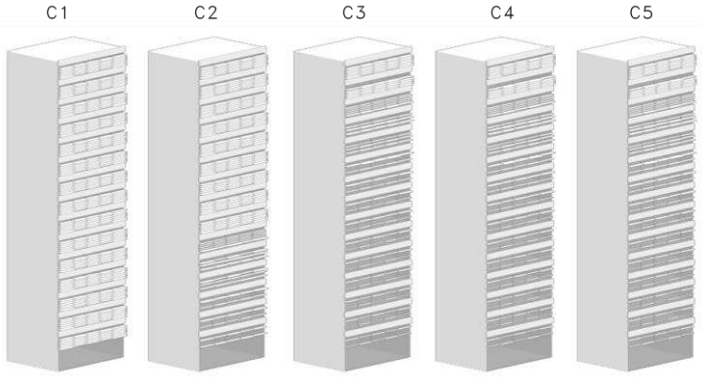


Figura 7 – Desenho das proteções. Fonte: os autores

Tabela 2 – Ângulos de sombreamento (α) e prateleiras de luz (PL). Fonte: os autores

PAV	C1		C2		C3		C4		C5	
	α	PL	α	PL	α	PL	α	PL	α	PL
14	76°	x	75°		75°	x	75°	x	75°	x
13	76°	x	75°	x	75°		75°		75°	
12	76°	x	75°	x	65°	x	65°	x	65°	x
11	76°	x	75°	x	56°	x	56°	x	56°	x
10	76°	x	75°	x	48°	x	48°	x	48°	x
9	76°	x	75°	x	42°	x	42°	x	42°	x
8	76°	x	75°		38°	x	38°	x	38°	x
7	76°	x	75°		33°	x	33°	x	33°	x
6	76°	x	75°	x	30°	x	30°	x	30°	x
5	76°	x	64°	x	27°	x	27°	x	27°	x
4	76°	x	56°	x	25°	x	25°	x	25°	x
3	76°	x	48°	x	23°	x	23°	x	23°	x
2	76°	x	42°	x	22°	x	22°	x	22°	x
1	76°	x	37°	x	20°	x	20°	x	20°	x
T	0°	x	0°	x	0°	x	0°	x	0°	x

No térreo, optou-se por aplicar elementos de proteção apenas na porção superior da abertura, para garantir a transparência no acesso ao edifício. Em C1, a uniformidade da radiação solar ao longo do eixo vertical da fachada resulta em um desenho padronizado de proteções. Em C2, a padronização ocorre apenas do 7º ao 14º pavimento, onde não há interferência do bloqueio solar gerado pelo entorno. Os demais pavimentos apresentam variações que refletem as diferenças de radiação solar entre andares. Em C3, C4 e C5, a variação dos ângulos de sombreamento entre pavimentos gera um desenho em degradê, com maior transparência nos andares mais baixos e maior opacidade no topo da edificação. Ou seja, há uma relação direta entre o nível de bloqueio solar gerado pelo entorno e o desenho dos elementos de proteção.

A Figura 8 apresenta o desempenho lumínico nos ambientes de trabalho após aplicação dos *brises*. Observa-se uma expressiva melhoria das condições de iluminação natural em todos os cenários e pavimentos, com elevada ocorrência de iluminâncias satisfatórias. Isto ocorre não somente pelo desenho eficiente das proteções solares mas também pela reduzida profundidade da sala, que possibilita uma distribuição mais uniforme da luz natural no plano de trabalho. As prateleiras de luz também contribuem para uma iluminação mais homogênea entre áreas próximas e distantes da janela.

O aumento na faixa entre 100-2000 lux é de até 60% em alguns casos, sendo mais evidente nos andares mais altos de C2-C5 e em todos os pavimentos de C1. Em contrapartida, verifica-se maior ocorrência de iluminâncias abaixo de 100 lux em C2 e C4 e, de forma mais discreta, nos pavimentos superiores de C5, o que aponta um sombreamento excessivo nestes casos.

Os resultados indicam que assegurar alto desempenho dos *brises* é aparentemente mais simples quando a proteção trabalha sozinha, sem complementação do sombreamento pelos edifícios vizinhos. Isso é perceptível tanto em C1, onde se observa um desempenho semelhante e satisfatório entre os pavimentos tipo, e nos andares mais altos em C2-C5, onde há pouca influência do sombreamento do entorno. Conclui-se que o bloqueio eficiente da radiação solar direta gerado pelos *brises* pode ser suficiente para assegurar condições satisfatórias de iluminação nos ambientes, e a obstrução da radiação solar difusa da abóbada celeste gerada pelo entorno pode ser indesejável.

Quanto ao processo de concepção das soluções de sombreamento, ressalta-se que, conforme esperado, o desenho manual dos *brises* com base nos ângulos de sombreamento se mostrou exaustivo, sobretudo ao se buscar padronizar a profundidade dos dispositivos entre pavimentos. Enquanto Queiroz e Pereira (2021) testam centenas de soluções verificando simultaneamente seu desempenho, o processo tradicional impõe a definição de uma única solução de fachada por cenário e a realização de algumas simulações a *posteriori* até se alcançar o desempenho almejado. Foram necessários cerca de seis meses entre o processo de desenho e verificação de desempenho dos cinco cenários, sendo os cenários C2-C5 os mais desafiadores, pela variação de ângulos de sombreamento entre pavimentos. Conclui-se que, considerando o ritmo de trabalho de um escritório de arquitetura, é possível manter processos de concepção tradicionais quando adotada a lógica da "fachada tipo" (como em C1), ao passo que é recomendável aplicar modelos de parametrização no auxílio a concepção de fachadas mais heterogêneas (C2-C5).



Figura 8 – Desempenho lumínico com brises. Fonte: os autores.

5. CONCLUSÕES

Neste artigo, demonstrou-se por meio de um estudo de caso os impactos da obstrução solar gerada pelo entorno imediato no projeto de proteções solares de edifícios altos.

A investigação se iniciou com um diagnóstico da radiação solar incidente em um edifício inserido em cinco cenários urbanos com níveis de obstrução solar distintos. Análises lumínicas também foram necessárias para verificar as diferenças de desempenho lumínico entre pavimentos e traçar as diretrizes para o desenho das proteções solares.

Foram propostas soluções distintas de fachada que refletem diretamente o nível de bloqueio solar gerado pelo entorno. O Cenário 1 composto pelo edifício isolado foi o único que resultou em soluções padronizadas de proteção solar para todos os pavimentos, em decorrência da uniformidade da radiação solar incidente ao longo da fachada. Os demais cenários, com edificações vizinhas, geraram um desenho de proteção em degradê, resultante da variação do ângulo de sombreamento entre pavimentos.

As simulações lumínicas do edifício sem sombreamento apontam um desempenho lumínico insatisfatório na maioria dos cenários, sobretudo pelo excesso de luminosidade provocado pela radiação solar direta no plano de trabalho. Após aplicação da proteção solar, observou-se uma expressiva melhoria das condições de iluminação natural em todos os cenários e pavimentos, com um aumento de até 60% da ocorrência da faixa de iluminância entre 100-2000 lux.

Os resultados indicam que assegurar alto desempenho dos *brises* é mais simples quando a proteção trabalha sozinha, sem complementação do sombreamento pelos edifícios vizinhos, pois estes obstruem a radiação solar difusa da abóbada celeste, o que, em alguns casos, pode resultar em um excesso de sombreamento. No entanto, o edifício isolado é uma condição de exceção em meios urbanos densos e, por isso, os arquitetos precisam estar cientes dos desafios que envolvem o projeto de proteções solares em edifícios

altos quando inseridos em cânions urbanos.

Neste sentido, destaca-se a importância de adotar um ferramental compatível com o desafio enfrentado. O processo manual adotado demonstrou-se muito trabalhoso e demorado quando variado o ângulo de sombreamento entre pavimentos (C2-C5), sendo altamente recomendável adotar processos parametrizados para resultados mais rápidos e eficientes, especialmente em cenários urbanos mais heterogêneos.

Se por um lado fica evidente que replicar a lógica do "pavimento tipo" para a "fachada tipo" é ineficiente, por outro questiona-se a viabilidade de executar *brises* com profundidades diferentes em cada pavimento para atender a ângulos de sombreamento distintos. Uma alternativa seria desenvolver soluções em módulo, que permita uma variação mais limitada da profundidade dos dispositivos, o que pode, inclusive, simplificar a adequação da envoltória às transformações urbanas futuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CABÚS, R. The influence of ground-reflected light in tropical daylighting. **Proceedings…**Passive and Low Energy Architecture – PLEA, Toulouse, 2002.

GUIDI, C. R.; ABRAHÃO, K. C. de F. J. Influência dos parâmetros urbanísticos e da topografia na admissão da luz natural em edifícios residenciais. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 3, p. 49-66, 2018.

HOPPE, S. B.; ALVAREZ, C. E. de; LARANJA, A.C. A influência de variáveis urbanísticas na disponibilidade de luz natural no ambiente interno. XVI Encontro Nacional e XII Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...**Palmas, 2021.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** 3ª edição. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2014.

LEAL, L. Q.; LEDER. S. M. Iluminação natural e ofuscamento: estudo de caso em edifícios residenciais multipavimentos. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 4, pp. 97-117, 2018.

MOHELNIKOVA, J.; HIRS, J. Effect of externally and internally reflective components on interior daylighting. **Journal of Building Engineering**, v. 7, p. 31-37, 2016.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminances: a replacement for daylight factors. **Energy and Buildings**, 38, p. 905-913, 2006.

QUEIROZ, N.; DANTAS, N.; NOME, C. Projetando uma envoltória otimizada a partir de processos paramétricos e algorítmicos. XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...**Campinas, 2015.

QUEIROZ, N.; PEREIRA, F. O. R. A faster multi-criteria optimization model to parametric facades for daylighting and thermal performance. XVI Encontro Nacional e XII Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...**Palmas, 2021.

STROMANN-ANDERSEN, J.; SATTRUP, P. A. The urban canyon and building energy use: urban density versus daylight and passive solar gains. **Energy and Buildings**, 43, p. 2011-2020, 2011.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPERJ para desenvolvimento desta pesquisa.