XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8652

Avaliação paramétrica do desempenho lumínico em fachadas com brises de geometria senoidal

Parametric evaluation of daylighting performance in facades with sinusoidal shading devices

Rodrigo Mendonça
PROARQ FAU UFRJ | Rio de Janeiro | Brasil | rodrigo.mendonca@fau.ufrj.br
Patrizia Di Trapano
PROARQ FAU UFRJ | Rio de Janeiro | Brasil | patrizia.trapano@fau.ufrj.br
Aline Marques
PROARQ FAU UFRJ | Rio de Janeiro | Brasil | alinecalazans@fau.ufrj.br

Resumo

Em tecidos urbanos densos, o conforto ambiental exige equilibrar o aproveitamento da luz natural e o controle da radiação solar. Este estudo avalia, por abordagem paramétrica, o desempenho lumínico de uma fachada residencial com brises senoidais. A metodologia integrou modelagem algorítmica, simulação de cinco indicadores — Autonomia Espacial da Luz Natural (sDA), Exposição Anual à Luz Solar Direta (ASE), Mapa de Radiação (RM), percentual de vistas com ofuscamento perturbador calculado a partir do DGP e iluminância média — e análise multicritério WSM/MAUT para comparar três cenários. Os resultados mostram que a densidade linear e a profundidade máxima das aletas alteram a distribuição da luz e o controle solar. O cenário de maior profundidade apresentou o melhor equilíbrio relativo, com maior sDA entre as alternativas com brises e menores valores de ASE, ofuscamento e radiação incidente. O estudo evidencia o potencial da modelagem paramétrica como suporte à decisão projetual e propõe envoltórias "meta-responsivas": soluções estáticas calibradas algoritmicamente para conciliar iluminação natural, controle solar e conforto visual.

Palavras-chave: Desempenho lumínico. Modelagem paramétrica. Brises senoidais. Análise multicritério. MAUT.

Abstract

In dense urban environments, environmental comfort requires balancing daylight use and solar radiation control. This study evaluates, through a parametric approach, the daylighting performance of a residential facade with sinusoidal louvers. The method integrated algorithmic modeling, simulation of five indicators—Spatial Daylight Autonomy (sDA), Annual Sunlight Exposure (ASE), Radiation Map (RM), percentage of views with disturbing glare calculated from the Daylight Glare Probability (DGP), and average illuminance—and a WSM/MAUT multi-criteria analysis to compare three scenarios. Results show that linear louver density and maximum depth affect daylight distribution and solar control. The deepest configuration presented the best relative balance, with the highest sDA among the louvered alternatives and the lowest values of ASE, glare, and incident radiation. The study highlights the potential of parametric modeling as design decision support and proposes "meta-responsive" envelopes: static solutions algorithmically calibrated to balance daylighting, solar control, and visual comfort.

Keywords: Daylighting performance. Parametric modeling. Sinusoidal louvers. Multicriteria analysis. MAUT.

MENDONÇA, R. D.; DI TRAPANO, P.; MARQUES, A. C. Avaliação paramétrica do desempenho lumínico em fachadas com brises de geometria senoidal. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

INTRODUÇÃO

A concepção de fachadas tem incorporado processos de avaliação do desempenho ambiental, especialmente quanto ao aproveitamento da luz natural. Em edifícios altos, a repetição de pavimentos-tipo e de aberturas com intervalos e orientações constantes produz respostas uniformes a condições de exposição distintas [1]. Nesse contexto, a envoltória deixa de ser compreendida como fechamento entre interior e exterior e passa a atuar como interface de mediação ambiental [2][3].

O desenvolvimento de ferramentas digitais ampliou a exploração de geometrias curvas e não euclidianas na arquitetura [4]. Entre elas, as geometrias senoidais permitem variações contínuas de curvatura e podem ser parametrizadas para controlar a profundidade e a distribuição de elementos de fachada [5]. Por meio do design paramétrico, essas características geométricas podem ser relacionadas a variáveis ambientais, como orientação solar, radiação incidente e obstruções do entorno [6]. Aplicada a dispositivos de sombreamento, essa abordagem permite testar diferentes combinações de angulação, profundidade e densidade de brises e avaliar seus efeitos sobre a autonomia de luz natural e a exposição solar direta [1][7][8].

Este artigo avalia parametricamente o desempenho lumínico de uma fachada residencial com brises de geometria senoidal. O estudo de caso é um edifício localizado na Rua Acre, no centro do Rio de Janeiro, cuja fachada noroeste possui esquadrias de apartamentos sem dispositivos externos de sombreamento. A investigação compara três configurações paramétricas, definidas por variações na densidade linear e na profundidade máxima das aletas, com o cenário-base sem brises. O objetivo é examinar em que medida essas variações modificam a admissão de luz natural, o ofuscamento e a radiação solar incidente.

A avaliação foi realizada no *ClimateStudio* por meio de cinco indicadores: sDA300/50%, ASE1000,250, iluminância média, percentual de vistas com ofuscamento perturbador e radiação solar incidente. As métricas sDA e ASE foram calculadas segundo a IES LM-83-2012 [8], enquanto os demais indicadores foram obtidos pelos fluxos de simulação da ferramenta [9]. Os resultados foram empregados para comparar o desempenho relativo dos cenários, sem finalidade de verificar conformidade ou certificação da edificação.

MÉTODO

A estrutura metodológica adotada nesta pesquisa fundamenta-se em uma abordagem quantitativa e exploratória, desenvolvida por meio da simulação computacional integrada aos princípios do *design* paramétrico e algorítmico. O método avalia a influência dos brises senoidais sobre o desempenho lumínico dos ambientes internos e o controle da radiação solar incidente. Para isso, foram considerados cinco indicadores: Autonomia Espacial da Luz Natural (sDA300/50%), Exposição Anual à Luz Solar Direta (ASE1000,250), iluminância média, percentual de vistas com ofuscamento perturbador, calculado a partir do DGP, e radiação solar incidente, quantificada por meio do *Radiation Map* [9]. As métricas sDA e ASE foram calculadas segundo os

procedimentos da IES LM-83-2012 [8], enquanto o conjunto dos resultados foi empregado comparativamente na avaliação dos cenários e como suporte à tomada de decisão projetual.

CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO E CONDICIONANTES AMBIENTAIS

O edifício Áureos Rio Residencial, localizado na Rua Acre, no centro do Rio de Janeiro, foi selecionado por apresentar uma fachada noroeste sem dispositivos externos de sombreamento. A aplicação dos brises constitui, portanto, uma intervenção projetual proposta para avaliar seus efeitos sobre o desempenho lumínico e o controle da radiação solar incidente.

Em uma etapa preliminar, o cenário-base foi simulado em todos os pavimentos-tipo para verificar a influência da posição vertical. Como os resultados apresentaram pouca variação entre os níveis, o pavimento superior, correspondente à maior exposição solar, foi adotado para a aplicação e a comparação dos três cenários paramétricos. O recorte compreende oito unidades habitacionais contíguas: quatro apartamentos centrais recuados em relação ao plano da fachada, com varandas, e quatro unidades nas extremidades, cujas esquadrias permanecem alinhadas ao plano externo (Figura 1) [10]. Essa variação tipológica foi mantida no modelo analítico por produzir condições distintas de exposição.

Figura 1: Pavimento tipo do edifício Áureos Rio Residencial – Trecho analisado



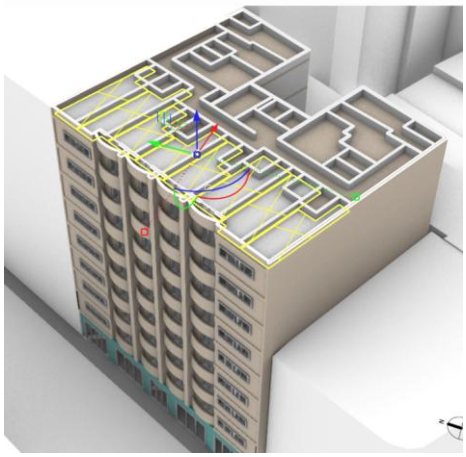
Fonte: Adaptado de Áureos Rio Residencial (2025).

As varandas proporcionam sombreamento parcial às unidades centrais, enquanto as esquadrias das extremidades permanecem mais expostas à radiação vespertina. A geometria senoidal foi adotada por permitir a variação contínua e paramétrica da profundidade dos brises ao longo da fachada. Em comparação com um sistema uniforme, essa configuração possibilita graduar o ângulo de bloqueio solar e a admissão de luz natural conforme as condições de cada trecho da envoltória, articulando a geometria do dispositivo às premissas do projeto orientado ao desempenho [4][7].

MODELAGEM GEOMÉTRICA DA EDIFICAÇÃO E DO ENTORNO URBANO

O edifício e seu entorno urbano foram modelados tridimensionalmente no *SketchUp*, com ênfase na fachada noroeste. O modelo reproduziu as proporções da edificação, os vãos, as esquadrias, as varandas e as lajes relevantes para as simulações (Figura 2).

Figura 2: Modelo tridimensional base para simulação



Fonte: os autores.

As propriedades ópticas dos materiais foram atribuídas a partir da biblioteca do *ClimateStudio*, associada ao motor de simulação *Radiance*. Para as superfícies opacas, considerou-se a refletância visível (*Visible Light Reflectance* — VLR); para os fechamentos transparentes, considerou-se também a transmitância visível (*Visible Light Transmittance* — VLT). Os valores adotados encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1 – Propriedades ópticas dos materiais atribuídos no modelo computacional

Elemento	Material Atribuído	VLR (%)	VLT (%)
Paredes internas e tetos	Grey Painted Wall	45,8	-
Paredes externas	Concrete Exterior Wall 3	38,0	-
Esquadrias	Grey Aluminium Facade Cladding	20,0	-
Brises senoidais	Aluminium Grey Overhang	19,6	-
Fechamentos transparentes	Optigray[1]	6,0	63,0

Fonte: os autores.

As edificações vizinhas foram representadas por volumes correspondentes aos gabaritos existentes, de modo a incorporar ao modelo as principais obstruções externas à incidência solar.

MODELAGEM ALGORÍTMICA E ESTRATÉGIAS PARAMÉTRICAS

A transição para a lógica paramétrica foi realizada por meio da integração entre os softwares *Rhinoceros 3D*[2] e o *plugin* de programação visual *Grasshopper*, ferramentas amplamente empregadas na literatura para o desenvolvimento de projetos orientados ao desempenho. O ambiente de programação visual do *Grasshopper* possibilita a geração e manipulação de geometrias paramétricas por meio da variação de

[1] Para o vidro *Optigray*, foram adotados SHGC de 0,65 e transmitância térmica *(U-Value)* de 5,82 W/m²·K.

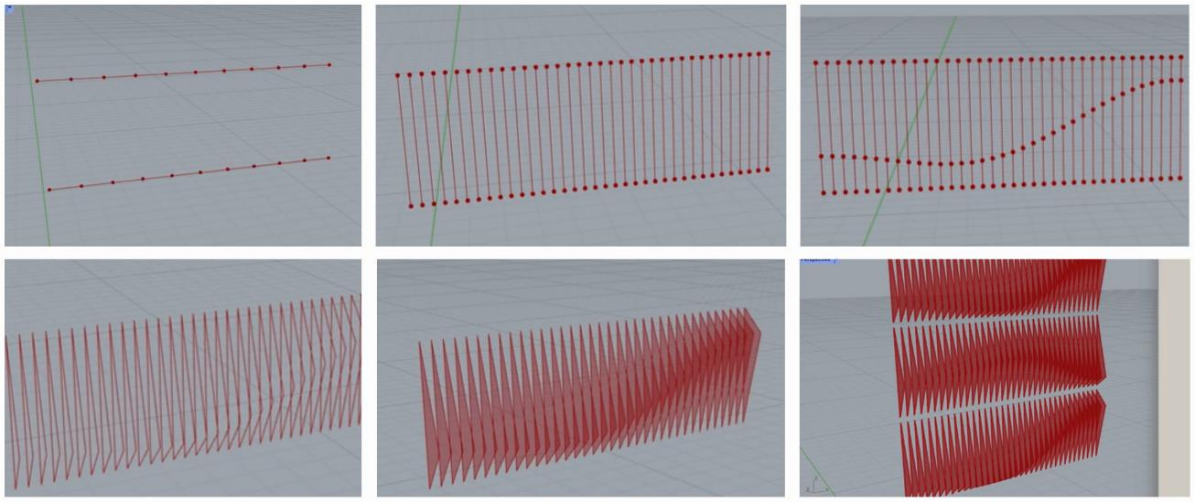
[2] Softwares utilizados*: SketchUp 2023 (Trimble Inc.); Rhinoceros 3D 8* e *Grasshopper 1.0.0008*, compilação de 8 de setembro de 2025 (Robert McNeel & Associates); e *ClimateStudio (Solemma LLC)*.

parâmetros morfológicos, permitindo explorar diferentes configurações formais de maneira rápida e sistemática. Além disso, sua interoperabilidade com o *ClimateStudio*, baseado no motor de cálculo *Radiance*, viabiliza a integração entre a modelagem algorítmica e a avaliação do desempenho lumínico, permitindo que alterações geométricas sejam analisadas continuamente por meio de métricas quantitativas.

Nesse ambiente, a fachada originalmente estática foi convertida em um modelo algorítmico capaz de gerar múltiplas configurações formais a partir da modificação de parâmetros numéricos. Para esse propósito, foi desenvolvido um algoritmo específico para a modelagem de brises com geometria senoidal.

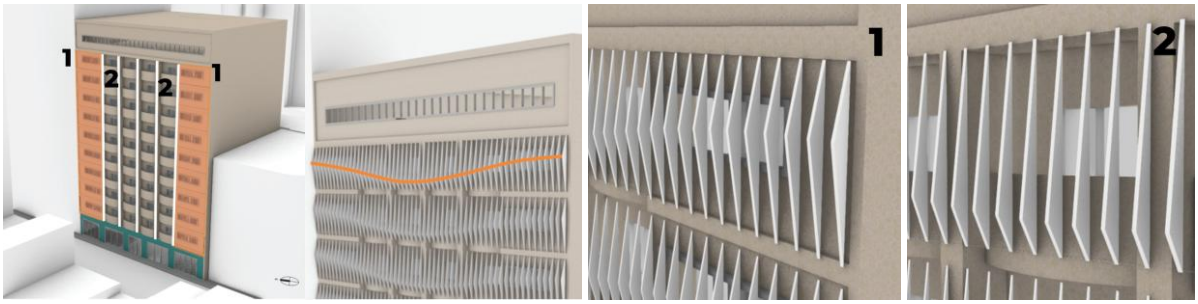
A configuração geométrica da curva senoidal, que alterna concavidades voltadas ora para cima, ora para baixo, afeta diretamente o ângulo de incidência dos raios solares sobre a superfície, alterando de modo sensível a porção de radiação que consegue atravessar a barreira e atingir os interiores (Figuras 3 e 4). A estrutura algorítmica desenvolvida no *Grasshopper* possibilitou o controle da amplitude e da frequência da curva senoidal, da profundidade máxima e mínima dos elementos e de sua distribuição ao longo da fachada. Essa estrutura permitiu graduar a profundidade dos brises conforme as diferentes condições de exposição das unidades habitacionais. No recorte experimental adotado, os cenários foram diferenciados pela densidade linear das aletas — expressa por sua quantidade e pelo espaçamento resultante — e pela profundidade máxima em relação ao plano da fachada. A manipulação articulada destas variáveis permitiu explorar dinamicamente a proporção entre os "cheios e vazios" da pele arquitetônica, configurando o que se entende por adaptação ao contexto como princípio projetual contemporâneo.

Figura 3: Estrutura paramétrica de brises senoidais



Fonte: os autores.

Figura 4: Distribuição variável da profundidade dos brises ao longo da fachada



Fonte: os autores.

A decisão intrínseca ao algoritmo priorizou o adensamento da massa de sombreamento nos pontos mais vulneráveis. Estabeleceu-se que as regiões de maior curvatura (ou seja, os pontos geométricos onde as arestas superiores e inferiores dos brises se aproximam, criando maior bloqueio físico) coincidissem com os eixos das esquadrias das unidades habitacionais onde incide de modo mais direto a radiação vespertina (trecho 1) (Figura 4). Nas unidades centrais, parcialmente protegidas pela geometria do edifício, a profundidade dos brises foi reduzida algoritmicamente para favorecer a iluminação natural e a permeabilidade visual (trecho 2) (Figura 4).

DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS ANALÍTICOS E PARÂMETROS GEOMÉTRICOS

Com base no modelo paramétrico, foram definidos três cenários, diferenciados pela densidade linear e pela profundidade máxima das aletas. A densidade linear foi expressa pela quantidade de brises distribuídos ao longo da fachada e pelo espaçamento resultante entre eles. A espessura dos elementos de sombreamento permaneceu constante em 6 cm, permitindo concentrar a comparação nos efeitos das demais variáveis geométricas sobre o desempenho lumínico e o controle da radiação solar (Tabela 1).

Tabela 1 – Parâmetros geométricos dos cenários analíticos de fachada

Cenário Analítico	Quantidade de aletas (unidades)	Espaçamento entre Aletas (cm)	Profundidade Máxima (cm)	Espessura do elemento (cm)
Cenário 1	56	40	25	6
Cenário 2	76	26	20	6
Cenário 3	56	40	35	6

Fonte: os autores.

O Cenário 1 constituiu a primeira alternativa paramétrica, com 56 aletas, espaçamento de 40 cm e profundidade máxima de 25 cm. O Cenário 2 ampliou a quantidade para 76 aletas, reduzindo o espaçamento para 26 cm e a profundidade máxima para 20 cm. O Cenário 3 manteve a densidade linear do Cenário 1, mas aumentou a profundidade máxima para 35 cm.

CONFIGURAÇÃO DAS SIMULAÇÕES E MÉTRICAS DE DESEMPENHO LUMÍNICO

Os três cenários paramétricos foram simulados no pavimento-tipo superior, selecionado após a análise preliminar do cenário-base. As avaliações de iluminação natural, ofuscamento e radiação solar incidente foram realizadas no *ClimateStudio*,

com o modelo de céu de Perez [11] e um arquivo climático TMY (*Typical Meteorological Year*) correspondente ao Rio de Janeiro.

Foram extraídos cinco indicadores. A Autonomia Espacial da Luz Natural (sDA300/50%) representa o percentual da área que alcança iluminância igual ou superior a 300 lux durante pelo menos 50% das horas de ocupação. A Exposição Anual à Luz Solar Direta (ASE1000,250) corresponde ao percentual da área submetida a iluminância solar direta superior a 1.000 lux durante mais de 250 horas anuais. Ambas foram calculadas segundo os procedimentos da IES LM-83-2012 [8].

O Mapa de Radiação Solar (*Radiation Map*) quantificou a radiação anual incidente nas superfícies analisadas, expressa em kWh/m²·ano, permitindo comparar a capacidade dos cenários de controlar a incidência solar. Valores menores indicam menor potencial de ganhos solares, embora o estudo não inclua simulação termoenergética. A análise de ofuscamento foi baseada no *Daylight Glare Probability* (DGP), utilizando-se na comparação o percentual de vistas classificadas pelo *ClimateStudio* como sujeitas a ofuscamento perturbador. Por fim, a iluminância média correspondeu à média, em lux, dos valores registrados na malha de sensores, sendo empregada para comparar os níveis de luz natural produzidos pelas configurações de sombreamento [9].

RESULTADOS E DISCUSSÕES

CENÁRIO BASE: DIAGNÓSTICO PRÉ-INTERVENÇÃO

Antes de avaliar o impacto das modulações senoidais, estabeleceu-se o diagnóstico do comportamento lumínico e de controle solar da edificação em seu estado original. A avaliação da fachada noroeste, desprovida de dispositivos adicionais de sombreamento, constata a vulnerabilidade dos espaços internos frente à insolação vespertina, conforme demonstrado na Tabela 2 e na Figura 5.

Tabela 2 – Diagnóstico do desempenho lumínico e da radiação solar no cenário-base

Indicador Analisado	Resultado Bruto
Iluminância Média	631 lux
Autonomia (sDA)	25,6%
Exposição (ASE)	6,1%
Vistas com ofuscamento (DGP)	5,8%
Radiação solar incidente	10 kWh/m²

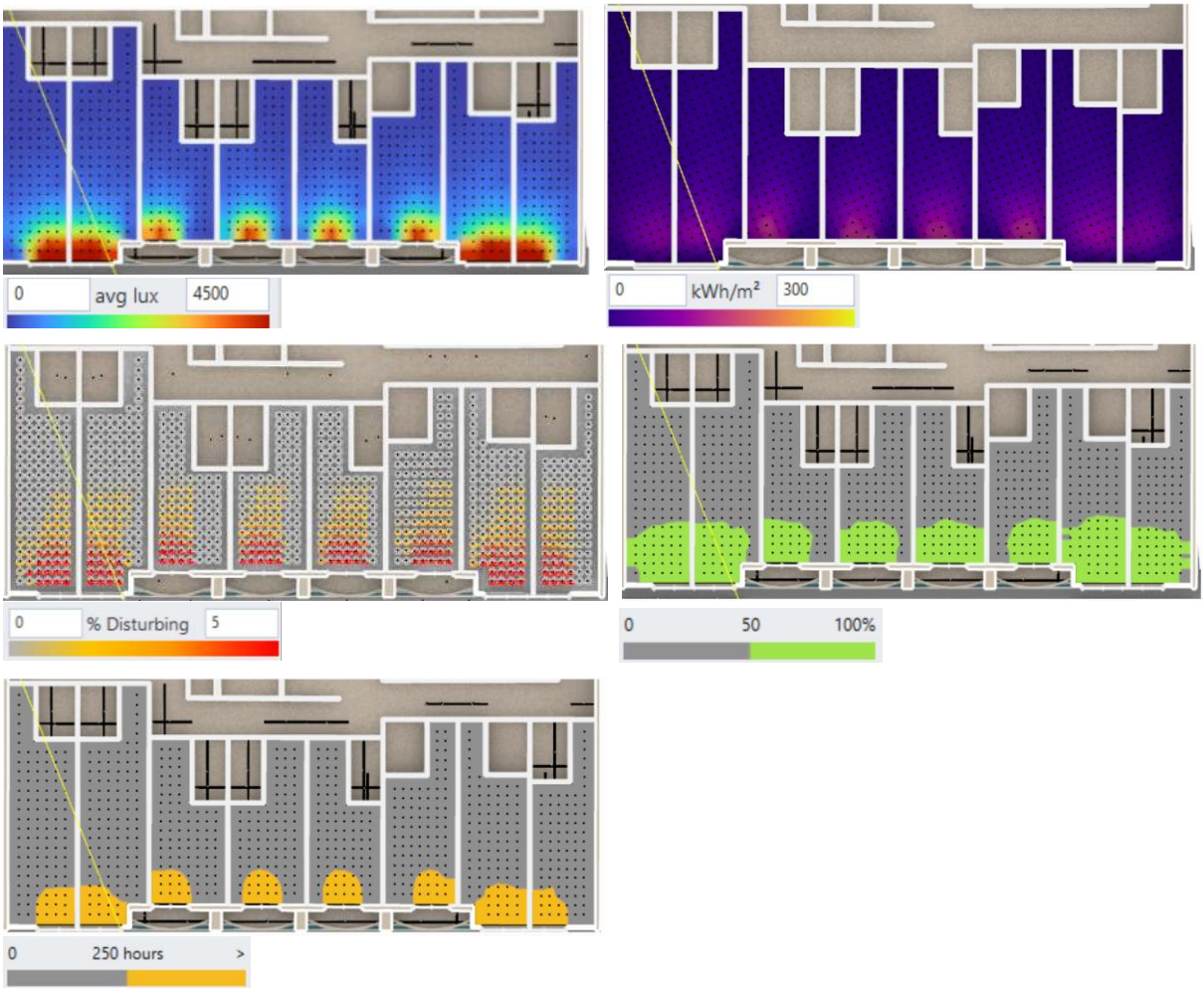
Fonte: os autores.

A Figura 5 ilustra o diagnóstico do comportamento lumínico no interior dos *studios*. A verificação preliminar do cenário-base indicou pouca variação entre os pavimentos-tipo. Assim, a Figura 5 apresenta o pavimento superior, posteriormente adotado como recorte para a aplicação e a comparação dos três cenários paramétricos. Os resultados demonstram valores mais elevados de iluminância na zona perimetral adjacente às esquadrias (pontos críticos com índices próximos de 9000 lux), em oposição à atenuação luminosa na porção mais profunda da planta.

A análise espacial revela que o sDA apresenta acentuada desuniformidade em sua distribuição: a suficiência lumínica restringe-se quase exclusivamente aos primeiros

metros a partir da envoltória, resultando em baixa penetração ao longo do espaço e elevada dependência de iluminação artificial no fundo das unidades. Adicionalmente, o ASE concentra-se na faixa próxima ao plano envidraçado, indicando maior ocorrência de exposição prolongada à luz solar direta na zona perimetral. Nessa mesma região, o contraste entre as altas iluminâncias próximas às esquadrias e os níveis mais baixos nas superfícies profundas dos *studios* contribui para a ocorrência de ofuscamento visual (Figura 5. Essa condição também pode estar associada a maior potencial de ganhos solares, aspecto que não foi quantificado por simulação termoenergética neste estudo.

Figura 5: Resultados das simulações do edifício em seu estado original (sem brises)



Fonte: os autores.

DESEMPENHO LUMÍNICO E CONTROLE DA RADIAÇÃO

Os dados extraídos das simulações mostram que a variação das configurações geométricas dos brises produz efeitos sobre a admissão de luz natural, o ofuscamento e a radiação solar incidente nos ambientes analisados. Os resultados das métricas avaliadas encontram-se sintetizados na Tabela 3.

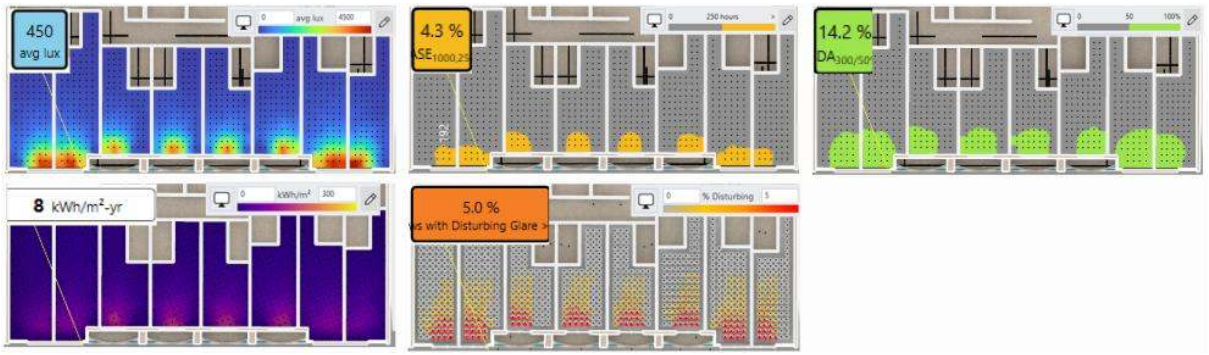
Tabela 3 – Síntese das métricas de desempenho lumínico e controle da radiação por cenário

Cenário Analítico	(sDA)	(ASE)	Vistas com ofuscamento (DGP)	Iluminância Média	Radiação solar incidente
Cenário Base (Sem brises)	25,6%	6,1%	5,8%	631 lux	10 kWh/m²·ano
Cenário 1 (Moderado)	14,2%	4,3%	5,0%	450 lux	8 kWh/m²·ano
Cenário 2 (Alta Densidade)	12,8%	4,2%	3,4%	421 lux	7 kWh/m²·ano
Cenário 3 (Alta Profundidade)	15,0%	2,6%	3,1%	420 lux	6 kWh/m²·ano

Fonte: os autores.

A análise comparativa indica que a iluminância média apresentou pouca variação entre as alternativas com brises, passando de 450 lux no Cenário 1 para 421 lux no Cenário 2 e 420 lux no Cenário 3. No Cenário 1 (Figura 6), a introdução dos elementos de sombreamento reduziu o sDA de 25,6%, no cenário-base, para 14,2%, ao mesmo tempo que diminuiu o ASE de 6,1% para 4,3% e o percentual de vistas com ofuscamento perturbador de 5,8% para 5,0%. O Cenário 2 (Figura 7), caracterizado pelo aumento da densidade linear das aletas, apresentou o menor sDA entre as alternativas, de 12,8%, enquanto o ASE permaneceu próximo ao resultado do Cenário 1, com 4,2%. Embora essa configuração tenha reduzido o percentual de vistas com ofuscamento perturbador para 3,4%, o adensamento dos elementos intensificou a redução da autonomia de luz natural. No Cenário 3 (Figura 8), o aumento da profundidade máxima das aletas resultou no maior sDA entre as alternativas com brises, de 15,0%, e nos menores valores de ASE e de vistas com ofuscamento perturbador, correspondentes a 2,6% e 3,1%, respectivamente. Em relação ao cenário-base, essa configuração reduziu o ASE em 57,4% e o ofuscamento em 46,6%, embora também tenha reduzido o sDA em 41,4%. Os resultados evidenciam, portanto, um compromisso entre o aumento da proteção solar e a redução da autonomia luminosa, tendo o Cenário 3 apresentado o equilíbrio relativo mais favorável entre as configurações testadas.

Figura 6: Resultados das simulações do Cenário 1 no pavimento-tipo superior



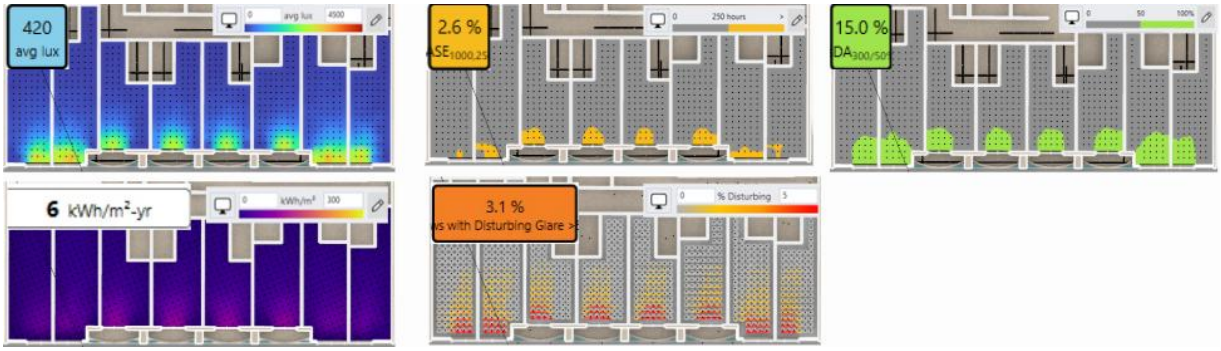
Fonte: os autores.

Figura 7: Resultados das simulações do Cenário 2 no pavimento-tipo superior



Fonte: os autores.

Figura 8: Resultados das simulações do Cenário 3 no pavimento-tipo superior



Fonte: os autores.

RANQUEAMENTO E AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO

A consolidação dos resultados das três alternativas paramétricas foi realizada por meio do método da Média Ponderada (*Weighted Sum Model* — WSM), articulado a uma aplicação simplificada da Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT) [12][13]. O procedimento permitiu integrar indicadores com unidades e sentidos de avaliação distintos em uma medida comum de utilidade relativa.

Os resultados brutos foram normalizados em uma escala entre 0 e 1, na qual 0 corresponde ao resultado menos favorável e 1 ao mais favorável dentro do conjunto de alternativas analisadas. Esses limites são relativos à amostra e não representam, respectivamente, condições absolutas de inadequação ou desempenho ótimo. Para o sDA, adotou-se o sentido de maximização; para o ASE, o percentual de vistas com ofuscamento perturbador e a radiação solar incidente, adotou-se o sentido de minimização.

A iluminância média também foi tratada como critério de minimização relativa, com o objetivo de favorecer a redução dos níveis médios mais elevados observados entre as alternativas. Entretanto, esse indicador foi interpretado conjuntamente com a maximização do sDA, de modo que a redução da iluminância não fosse considerada isoladamente como melhoria do desempenho lumínico. Os sentidos de avaliação, os pesos e suas justificativas são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Critérios de avaliação, pesos e justificativas conceituais

Critério	Sentido	Peso	Justificativa conceitual
Iluminância média	Minimização relativa	35%	Favorece a redução dos níveis médios mais elevados entre as alternativas, sendo interpretada conjuntamente com o sDA para evitar a valorização de condições excessivamente escuras.
Autonomia Espacial da Luz Natural — sDA	Maximização	25%	Representa a disponibilidade espacial e temporal de luz natural nos ambientes internos.
Exposição Anual à Luz Solar Direta — ASE	Minimização	20%	Indica a parcela do espaço submetida à exposição prolongada à luz solar direta.
Vistas com ofuscamento perturbador	Minimização	15%	Representa a ocorrência de condições de ofuscamento perturbador nas vistas analisadas.
Radiação solar incidente	Minimização	5%	Permite comparar a capacidade das configurações de reduzir a incidência solar sobre a fachada.

Fonte: os autores.

Os pesos foram definidos pelos autores de acordo com o escopo da pesquisa e com a prioridade atribuída ao desempenho lumínico e ao conforto visual, não correspondendo a ponderações estabelecidas por norma. Para os critérios de maximização e minimização, a normalização foi realizada, respectivamente, pelas Equações 1 e 2:

$$u_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \qquad (1)$$

$$u_{ij} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}} \qquad (2)$$

Em seguida, a utilidade global de cada cenário foi calculada pela soma dos produtos entre os valores normalizados e os pesos atribuídos aos critérios, conforme a Equação 3:

$$U_i = \left(\sum_{j=1}^{n} w_j \, u_{ij} \right) \times 100 \qquad (3)$$

em que u_{ij}corresponde à utilidade normalizada do cenário i no critério j, e w_j representa o peso atribuído ao respectivo critério. A matriz normalizada e o resultado da utilidade global são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Matriz normalizada, cálculo de utilidade global e classificação dos cenários

Cenário	Iluminância média (0,35)	sDA (0,25)	ASE (0,20)	Vistas com ofuscamento (0,15)	Radiação (0,05)	Utilidade global (0–100)	Classificação
Cenário 1	0,000	0,636	0,000	0,000	0,000	15,9	3º
Cenário 2	0,967	0,000	0,059	0,842	0,500	50,1	2º
Cenário 3	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	100,0	1º

Fonte: os autores.

A aplicação do WSM/MAUT resultou na maior utilidade global relativa para o Cenário 3, com 100 pontos, seguido pelos Cenários 2 e 1, com 50,1 e 15,9 pontos, respectivamente. O Cenário 3 alcançou o resultado mais favorável nos cinco critérios

segundo os sentidos de avaliação adotados, apresentando o maior sDA e os menores valores de iluminância média, ASE, percentual de vistas com ofuscamento perturbador e radiação solar incidente entre as alternativas testadas.

A pontuação de 100 atribuída ao Cenário 3 representa o limite superior da normalização dentro do conjunto analisado, não uma condição ótima ou universal de desempenho. O ranqueamento indica, portanto, que essa configuração apresentou o desempenho relativo mais favorável entre as três alternativas, considerando os indicadores, os pesos e os procedimentos de normalização adotados.

CONCLUSÃO

Os resultados indicam o potencial da modelagem paramétrica como suporte à concepção de fachadas com níveis diferenciados de iluminação natural e proteção solar ao longo de uma mesma envoltória. A variação algorítmica da geometria dos brises permitiu ajustar sua profundidade e distribuição conforme as condições espaciais dos apartamentos com e sem varandas, reduzindo a uniformidade característica de sistemas de sombreamento com configuração constante. A proposta constitui, assim, uma possibilidade de meta-responsividade aplicada à envoltória: uma solução estática cujo desempenho é previamente ajustado por meio da parametrização, sem depender de mecanismos de movimentação.

Entre as alternativas analisadas, o Cenário 3 apresentou o desempenho relativo mais equilibrado, com maior sDA entre os cenários com brises e menores valores de ASE, ofuscamento e radiação solar incidente. Entretanto, a redução do sDA em relação ao cenário-base evidencia o conflito entre proteção solar e autonomia de luz natural, indicando a necessidade de calibrar a profundidade e a densidade das aletas para evitar sombreamento excessivo nos ambientes internos.

Como limitação, a análise anual de ofuscamento utilizou o cálculo do DGP implementado no *ClimateStudio*, que não considera fontes refletidas de ofuscamento. Ainda assim, a integração entre modelagem algorítmica, simulação ambiental e avaliação multicritério mostrou-se útil para comparar alternativas e fundamentar decisões projetuais com base em indicadores quantitativos de desempenho lumínico e controle da radiação solar.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq – Brasil, por meio da Bolsa de Pesquisa (processo número 140506/2025-0).

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, os autores utilizaram o ChatGPT, da OpenAI (modelo GPT-5.6), para apoio à revisão linguística, à melhoria da coesão textual, à verificação da consistência metodológica e à conferência dos cálculos. A ferramenta

não foi utilizada para gerar os dados das simulações nem as imagens apresentadas no estudo. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] SCHMID, Aloísio Leoni. Edifícios altos: a regularidade das aberturas (de cima até embaixo) questionada do ponto de vista ambiental. **Arquitextos, São Paulo**, v. 8, n. 094.02, 2008.

[2] RAMOS, Cristina Vélez. Des-velos: autonomía de la envolvente en la arquitectura contemporánea. **DC PAPERS**, revista de crítica y teoría de la arquitectura, n. 17, p. 323, 2009.

[3] TROVATO, Graziella. **Des-velos – Autonomía de la envolvente en la arquitectura contemporánea**. Ediciones AKAL S.A., Madrid, 2007.

[4] MORAIS, Euler José de Oliveira. **Do projeto à montagem: parametrização e fabricação digital em arquiteturas complexas contemporâneas**. 2023. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

[5] ROMCY, Neliza Maria e Silva; CARDOSO, Daniel Ribeiro. A introdução da abordagem paramétrica no ensino de projeto arquitetônico: relato de uma experiência. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019018-e019018, 2019.

[6] MARIANO, Pedro Oscar Pizzetti; PEREIRA, Alice Theresinha Cybis; MALLMANN, Gabriela Pinho. Elementos de fachada com características fractais: processo de projeto paramétrico e seu consequente comportamento à luz do dia. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 17, n. 2, p. 39-55, 2022.

[7] OMENA, Thiago Henrique et al. Arquitetura paramétrica orientada por desempenho por meio de algoritmo evolutivo. **ARACÊ**, v. 7, n. 12, p. e11009-e11009, 2025.

[8] IESNA - Illuminating Engineering Society of North America. LM-83-12: Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). New York, 2012.

[9] SOLEMMA LLC. ClimateStudio **Frequently Asked Questions**. Somerville, MA: Solemma LLC, [s.d.]. Disponível em: https://www.solemma.com/faqs. Acesso em: 23 jul. 2026

[10] ÁUREOS RIO RESIDENCIAL. **Plantas humanizadas**. 2025. Disponível em: https://aureosrioresidencial.com/. Acesso em: 19 out. 2025.

[11] PEREZ, Richard; SEALS, Robert; MICHALSKY, Joseph. All-weather model for sky luminance distribution—preliminary configuration and validation. **Solar energy**, v. 50, n. 3, p. 235-245, 1993.

[12] TRIANTAPHYLLOU, Evangelos. Multi-criteria decision making methods. In: **Multi-criteria decision making methods: A comparative study**. Springer, Boston, MA, 2000. p. 5-21.

[13] FISHBURN, Peter C. Methods of estimating additive utilities. **Management science**, v. 13, n. 7, p. 435-453, 1967.