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.v21i1.8732

Iluminação natural em tipologias de fachadas duplas: Efeitos da orientação e da latitude

Daylighting in Double-Skin Façade Typologies: Effects of Orientation and Latitude

Lívia Costa Gameloni Santiago dos Santos
UERJ | Rio de Janeiro | Brasil | lgameloni@esdi.uerj.br
Beatriz Moon
UFRJ | Rio de Janeiro | Brasil | beatriz.moon@fau.ufrj.br
Klaus Chaves Alberto
UFJF | Juiz de Fora | Brasil | klaus.alberto@ufjf.edu.br
Sabrina Andrade Barbosa
UERJ | Rio de Janeiro | Brasil | sandrade@esdi.uerj.br

Resumo

Fachadas Duplas (FDs) são estratégias projetuais para melhorar o desempenho ambiental e energético da construção. Entretanto, os estudos voltados à iluminação natural que consideram diferentes tipologias, orientações solares e latitudes ainda são limitados. Este estudo tem como objetivo avaliar o desempenho da iluminação natural em modelos com diferentes tipologias de FD (*multi-storey, box-window, corridor, shaft e Inverted tapered*), considerando variações na orientação solar e na latitude (4°N, 23°S e 41°S). A partir da modelagem paramétrica de um edifício de seis pavimentos no programa Rhinoceros/Grasshopper, simulações via Ladybug e Honeybee foram realizadas com base nas métricas sDA300/50% e UDI100–3000. Os resultados indicaram que a latitude e a altura do pavimento exercem maior influência sobre o desempenho da iluminação do que a tipologia, com redução do sDA em latitudes mais elevadas e aumento nos pavimentos superiores, enquanto a orientação solar apresentou efeito moderado. Entre as tipologias, a *inverted tapered* apresentou desempenho geral superior, enquanto outras, como a *shaft* e a *multi-storey*, mostraram vantagens específicas em determinadas orientações.

Palavras-chave: Fachada Dupla. Iluminação Natural. Orientação Solar. Simulação Paramétrica. Edifícios Educacionais.

Abstract

Double-skin façades (DSFs) are design strategies to enhance environmental and energy performance of the building. However, daylighting studies considering different DSF typologies, solar orientations, and latitudes remain limited. This study aims to evaluate the performance of daylighting in models with different DSF typologies (multi-storey, box-window, corridor, shaft, and inverted tapered), considering variations in solar orientation and latitude (4°N, 23°S, and 41°S). Through parametric modeling of a six-story building in Rhinoceros/Grasshopper, simulations were conducted using Ladybug and Honeybee employing the sDA300/50% and UDI100–3000 metrics. The results indicate that latitude and floor level have a greater influence on daylighting performance than typology, with a reduction in sDA at higher latitudes and an increase on upper floors, while solar orientation showed a moderate effect. Among the typologies, the inverted tapered presented overall superior performance, whereas others, such as shaft and multi-storey, showed specific advantages under certain orientations.

Keywords: Double-skin Façade. Daylighting. Solar Orientation. Parametric Simulation. Educational Buildings.

Como citar:
SANTOS, L. MOON, B. ALBERTO, K E BARBOSA, S. ENTAC 2026. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8732

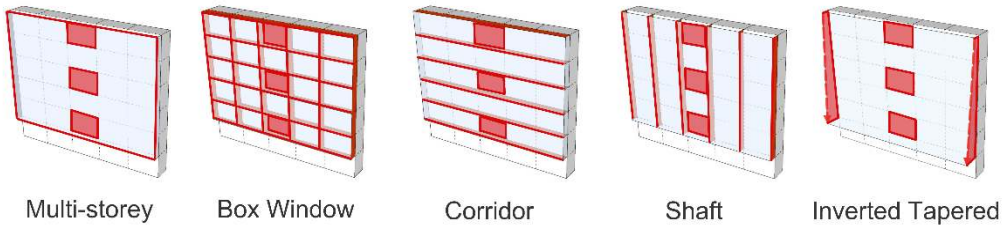
INTRODUÇÃO

A iluminação natural desempenha papel fundamental no desempenho das edificações, contribuindo para a redução do consumo de energia com iluminação artificial e para a melhoria das condições de saúde, conforto e produtividade dos usuários [1]. Além dos benefícios relacionados ao desempenho térmico e à eficiência energética, a orientação da fachada também exerce influência expressiva sobre o desempenho da iluminação natural em edifícios envidraçados, afetando tanto a disponibilidade de luz natural quanto o potencial de economia de energia. Esse efeito torna-se ainda mais complexo no contexto das fachadas duplas (FDs), nas quais a radiação incidente é modificada por múltiplas reflexões e interações no interior da cavidade antes de atingir os ambientes internos, alterando de forma significativa o comportamento da iluminação natural.

Embora nem todos os tipos de estruturas de FDs tenham sido ainda investigados, estudos disponíveis sobre tipologias específicas já evidenciam efeitos expressivos da geometria da cavidade sobre a penetração e distribuição da luz natural [2,3,4]. O tipo *box-window*, no qual a cavidade entre as duas camadas é dividida horizontal e verticalmente ao longo dos eixos construtivos — em escala de ambientes ou de elementos individuais de janela —, geralmente resulta em níveis mais baixos de iluminação natural próximos à fachada, reduzindo o ofuscamento, ao mesmo tempo em que promove uma maior penetração da luz no interior do ambiente, em comparação com outras tipologias [2]. Por outro lado, os tipos *multi-storey* e *corridor* apresentam valores mais elevados de iluminação natural, especialmente nas áreas mais próximas à fachada, com redução à medida que aumenta a distância em relação a ela [2,3].

Apesar da crescente adoção de FDs, os estudos voltados ao desempenho da iluminação natural ainda são limitados, especialmente aqueles que investigam diferentes tipologias considerando simultaneamente variações na orientação solar e na latitude [2,3,4,5]. Nesse contexto, este estudo tem como objetivo avaliar o desempenho da iluminação natural em modelos com diferentes tipologias de FDs, considerando variações na orientação solar e na latitude. Para isso, foram analisadas as tipologias *multi-storey, box-window, corridor, shaft e inverted tapered*, representativas das principais configurações de fachadas duplas descritas na literatura (Figura 1).

Figura 1: Tipologias de Fachada Dupla



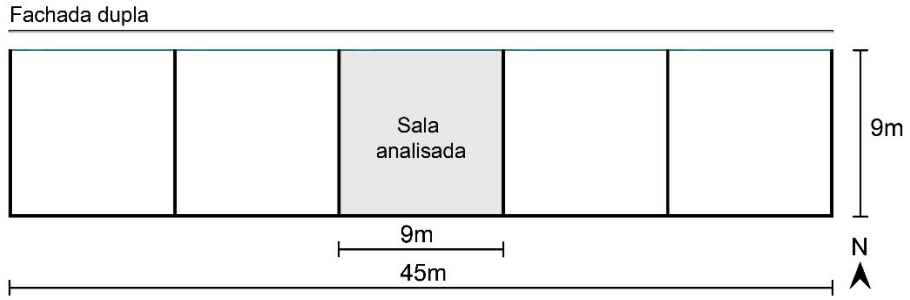
Fonte: autores

METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido por meio de modelagem paramétrica com os *softwares* Rhinoceros 3D e Grasshopper, juntamente com os *plugins* Ladybug e Honeybee para

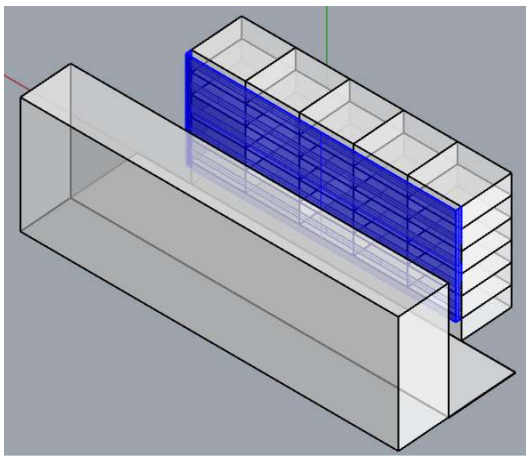
análise ambiental. O modelo de referência adotado consiste em um edifício de seis pavimentos, com salas de 9 × 9 m e pé-direito de 3,5 m, dimensionadas a partir de parâmetros típicos de salas de aula (Figura 2). As aberturas foram definidas como janelas contínuas ao longo da fachada, com 1m de altura e 9m de largura, posicionadas a partir de um peitoril de 1 m. Foi adotado vidro claro simples tanto na camada interna quanto na externa da fachada dupla, com transmitância de 87%. Obstruções urbanas ao redor foram modeladas a fim de garantir condições mais realistas de incidência solar. O volume da obstrução foi modelado com dimensões de 63 m de comprimento, 9 m de largura e 21 m de altura, posicionado a uma distância de 12 m do edifício analisado (Figura 3). Para os elementos externos, foi considerada refletância de 50% para a obstrução e o piso externo foi definido como concreto.

Figura 2: Modelos de planta baixa



Fonte: autores

Figura 3: 3D do Modelo e entorno



Fonte: autores

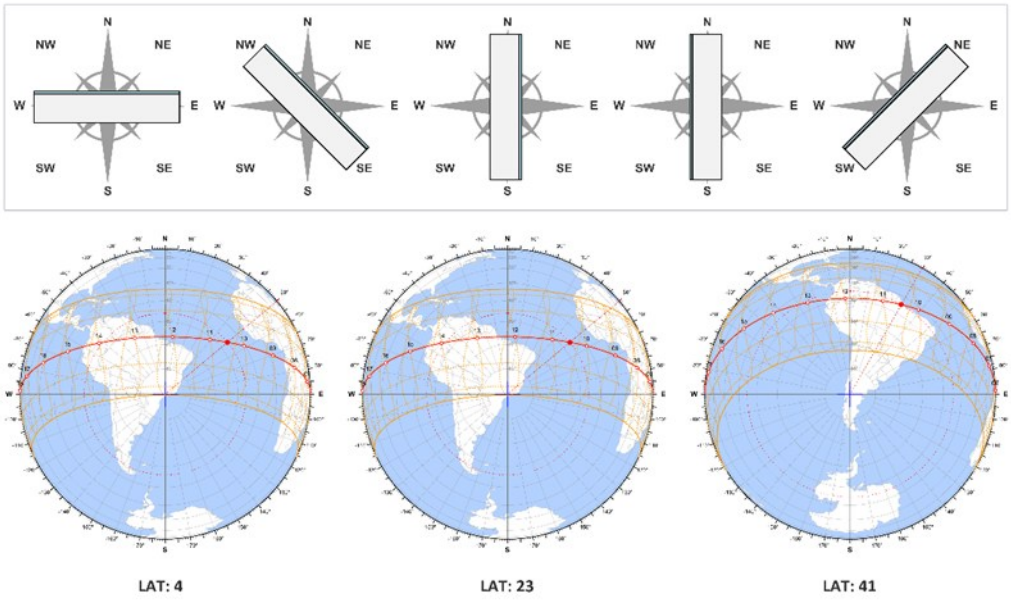
Para a análise da iluminação natural, foi adotada uma malha de sensores posicionada a 0,8 m do piso, altura correspondente ao plano de trabalho convencional para ambientes de ensino, adotada nas análises de iluminação natural baseadas no método de avaliação dinâmica de métricas climáticas [6], com espaçamento regular de 0,50m por 0,50m, permitindo a leitura da distribuição espacial da iluminância. Os sensores foram distribuídos no segundo, quarto e sexto pavimentos, com o objetivo de analisar o comportamento vertical da iluminação natural e verificar a consistência dos resultados ao longo da altura do edifício. Essa abordagem permite identificar possíveis

variações no desempenho das tipologias de fachada associadas à maior exposição solar nos pavimentos superiores e à presença de obstruções nos níveis inferiores.

As simulações foram realizadas utilizando arquivos climáticos Test Reference Year (TRY) de 2011-2025, no formato EPW, para considerar variações sazonais da radiação solar. As latitudes selecionadas para análise foram Bogotá (4°N), São Paulo (23°S) e Argentina (41°S), que representam diferentes condições de trajetória solar e variação sazonal. Bogotá apresenta trajetória solar equatorial, com altas altitudes solares ao longo do ano e baixa variação sazonal, permitindo avaliar o desempenho das tipologias sob condições quase constantes. São Paulo, por sua vez, caracteriza-se por clima subtropical com variação sazonal significativa, enquanto Bariloche, em latitude mais elevada, representa um clima temperado, com menores altitudes solares e maior contraste sazonal. Dessa forma, quatro variáveis independentes foram combinadas no estudo:

- Orientação da fachada: Norte (N), Leste (L), Oeste (O), Nordeste (NE) e Noroeste (NO) (Figura 4);
- Latitude: Bogotá (4°N), São Paulo (23°S) e Bariloche (41°S) (Figura 4);
- Tipologia de FD: *multi-storey, box-window, corridor, shaft* e *inverted tapered*;
- Pavimento: segundo, quarto e sexto andares.

Figura 4: Orientações e trajetória solares dos modelos



Fonte: autores

A avaliação de desempenho seguiu os critérios da IES LM-83-12. Foram utilizadas as métricas *Spatial Daylight Autonomy* ($sDA_{300/50\%}$), que indica o percentual da área do piso que recebe pelo menos 300 luxes durante 50% das horas ocupadas (08:00–18:00) [7], e o *Useful Daylight Illuminance* ($UDI_{100–3000}$) para quantificar o tempo em que a iluminância permanece em uma faixa aceitável (100-3000lux), bem como para identificar condições de iluminação excessiva (>3000 lux) e insuficiente (<100 lux), não captada pela métrica sDA [7].

A análise do sDA foi realizada de forma quantitativa, a partir dos valores percentuais obtidos nas simulações. Já a avaliação do UDI foi conduzida a partir da interpretação visual dos mapas de distribuição de iluminância gerados pelo modelo. Esses mapas, baseados em uma malha de sensores, permitem identificar padrões espaciais de distribuição da luz natural e a predominância relativa de cada faixa de iluminância entre os cenários analisados, possibilitando uma análise comparativa consistente entre tipologias de fachada, orientações e latitudes. A Tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados para a análise.

Tabela 1: Parâmetros de análise de sDA300 e UDI.

sDA_{300}	
>55% aceitável	>75% preferencial
UDI 100-3000	
UDI Aceitável	100-3000
UDI Excessivo	>30000
UDI Insuficiente	<100

Fonte: Nabil; Mardaljevic [8]

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta os resultados de sDA de todos os modelos simulados, que indicam que a variação nas tipologias de FD tem um efeito relativamente limitado na distribuição da luz natural, com sua influência variando conforme o pavimento e a latitude. Embora as diferenças entre tipologias sejam pequenas, observou-se que o tipo *multi-storey, shaft* e *corridor* apresentam valores muito próximos. Já o modelo *box-window* tende a apresentar valores ligeiramente menores, sobretudo nos pavimentos inferiores, enquanto o *inverted tapered* às vezes aparece com leve melhora pontual. Dessa forma, percebe-se que a tipologia não é o fator dominante para sDA nesse cenário, com um comportamento relativamente homogêneo.

Em relação às diferenças observadas entre as latitudes, há uma tendência consistente de redução dos valores de sDA com o aumento da latitude absoluta. Assim, Bogotá (4°N) apresenta os maiores valores, especialmente nos pavimentos superiores (até ~42–43%). São Paulo (23°S), por sua vez, mantém valores semelhantes nos pavimentos superiores, mas com ligeira redução nos inferiores. Por outro lado, Bariloche (41°S) apresenta reduções mais significativas, principalmente nos pavimentos mais baixos (valores chegando a 11–17%). Isso ocorre porque em latitudes mais altas, há menor disponibilidade de radiação solar anual e ângulos solares mais baixos, o que reduz a penetração da luz natural. A diferença é mais evidente nos pavimentos inferiores, onde a dependência da geometria solar é maior.

Considerando as diferenças entre orientações solares, observou-se que estas são moderadas. Em Bogotá (baixa latitude), houve diferenças pequenas entre orientações e distribuição mais homogênea. Em São Paulo e Bariloche, as fachadas oeste e noroeste tendem a apresentar valores ligeiramente maiores, enquanto as faces norte e nordeste resultaram em sDA menores, especialmente em latitudes mais altas. Dessa forma, observa-se que quanto maior a latitude, maior o impacto da orientação, uma vez que em baixas latitudes, o sol é mais alto e portanto, a orientação se torna um fator menos determinante.

As diferenças entre alturas (pavimentos) por sua vez, foi o fator mais forte, evidenciado por um aumento claro do sDA com a altura, com variações entre 11–19%, 17–22% e 39–43% nos 2º, 4º e 6º pavimentos, respectivamente. Os pavimentos superiores recebem menos obstrução externa e, portanto, maior acesso ao céu, o que domina o comportamento da iluminação natural.

Tabela 2: Resultados de sDA300/50%

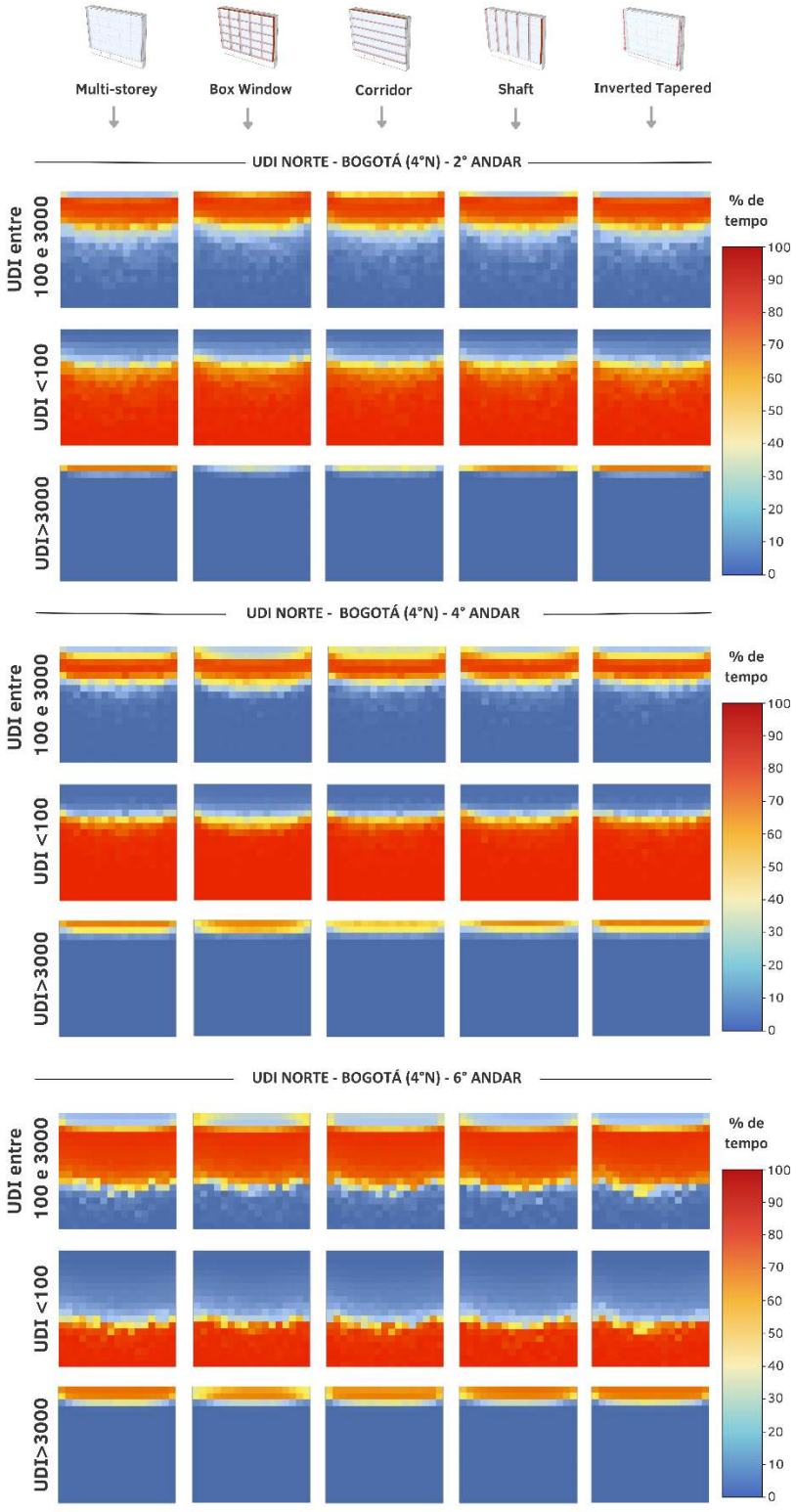
	Multi-storey (%)			Shaft (%)			Corridor (%)			Box-Window (%)			Inverted Tapered (%)		
Pavimento	2°Pav	4°Pav	6°Pav	2°Pav	4°Pav	6°Pav	2°Pav	4°Pav	6°Pav	2°Pav	4°Pav	6°Pav	2°Pav	4°Pav	6°Pav
	Bogotá (4°N)														
Norte	18	22	42	17	22	42	17	22	42	17	22	40	19	22	42
Leste	17	22	42	17	22	42	17	22	42	16	22	42	17	22	43
Oeste	16	22	43	17	22	42	17	22	43	16	21	42	17	22	43
Nordeste	18	22	42	17	22	42	17	22	43	17	22	41	17	23	43
Noroeste	17	20	43	17	22	42	17	22	43	16	21	42	17	22	43
	São Paulo (23°S)														
Norte	16	19	42	16	19	41	15	18	43	15	17	41	16	20	42
Leste	16	21	42	16	21	40	16	22	42	16	21	41	16	22	42
Oeste	17	21	42	16	21	42	16	22	42	16	21	41	17	21	42
Nordeste	16	21	42	16	21	42	16	21	42	15	20	41	16	21	42
Noroeste	16	21	42	15	21	42	16	20	42	15	18	42	16	20	42
	Bariloche (41°S)														
Norte	11	17	41	11	17	39	11	17	39	11	17	39	11	17	40
Leste	14	17	40	12	18	38	14	17	39	11	17	38	14	17	39
Oeste	16	21	38	16	21	37	15	21	38	14	21	38	16	21	39
Nordeste	11	17	42	11	17	40	11	17	41	11	17	40	11	17	40
Noroeste	12	17	40	11	17	39	11	17	41	11	17	39	12	17	40

Fonte: autores

Embora o sDA forneça uma visão geral da suficiência de luz natural, o UDI revelou diferenças qualitativas importantes. A variação vertical observada (Figura 5) não deve ser interpretada apenas como um ganho progressivo de desempenho, mas sim como uma mudança no regime de iluminação. Nos pavimentos inferiores, a maior incidência de UDI <100 lux indica dependência de iluminação artificial, já que predominam condições de iluminação insuficiente associadas à obstrução do entorno e à menor fração de céu visível. Já nos pavimentos superiores, o aumento expressivo de UDI >3000 lux revela uma condição oposta, marcada por excesso de radiação direta e maior probabilidade de ofuscamento. Esse comportamento evidencia que a altura atua como um fator de polarização do ambiente luminoso, deslocando o problema de insuficiência para excesso de luz, ao invés de promover um equilíbrio efetivo.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8732

Figura 5: Relação de variação vertical para leitura de UDI na fachada Norte – Bogotá

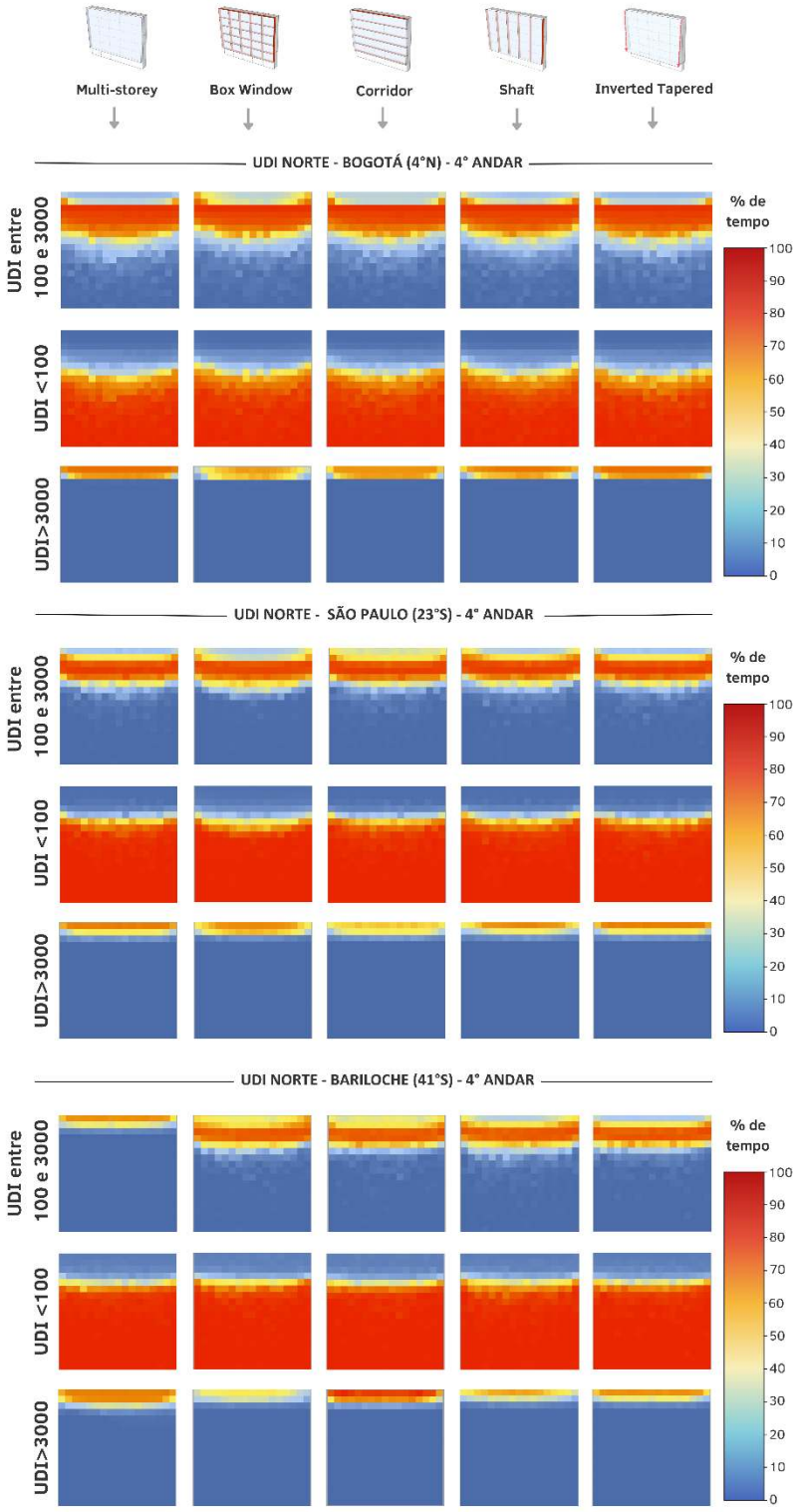


Fonte: autores

A comparação entre as três latitudes (Figura 6) evidencia que o impacto da orientação é modulado pela trajetória solar local. Em Bogotá, próxima à linha do Equador, a distribuição mais homogênea da radiação ao longo do ano resulta em diferenças menos acentuadas entre orientações, ainda que persistam problemas de excesso nos

pavimentos superiores. Em São Paulo, observa-se um comportamento intermediário, com maior distinção entre fachadas mais e menos expostas.

Figura 6: Relação de latitudes para leitura de UDI na fachada Norte – 4° andar



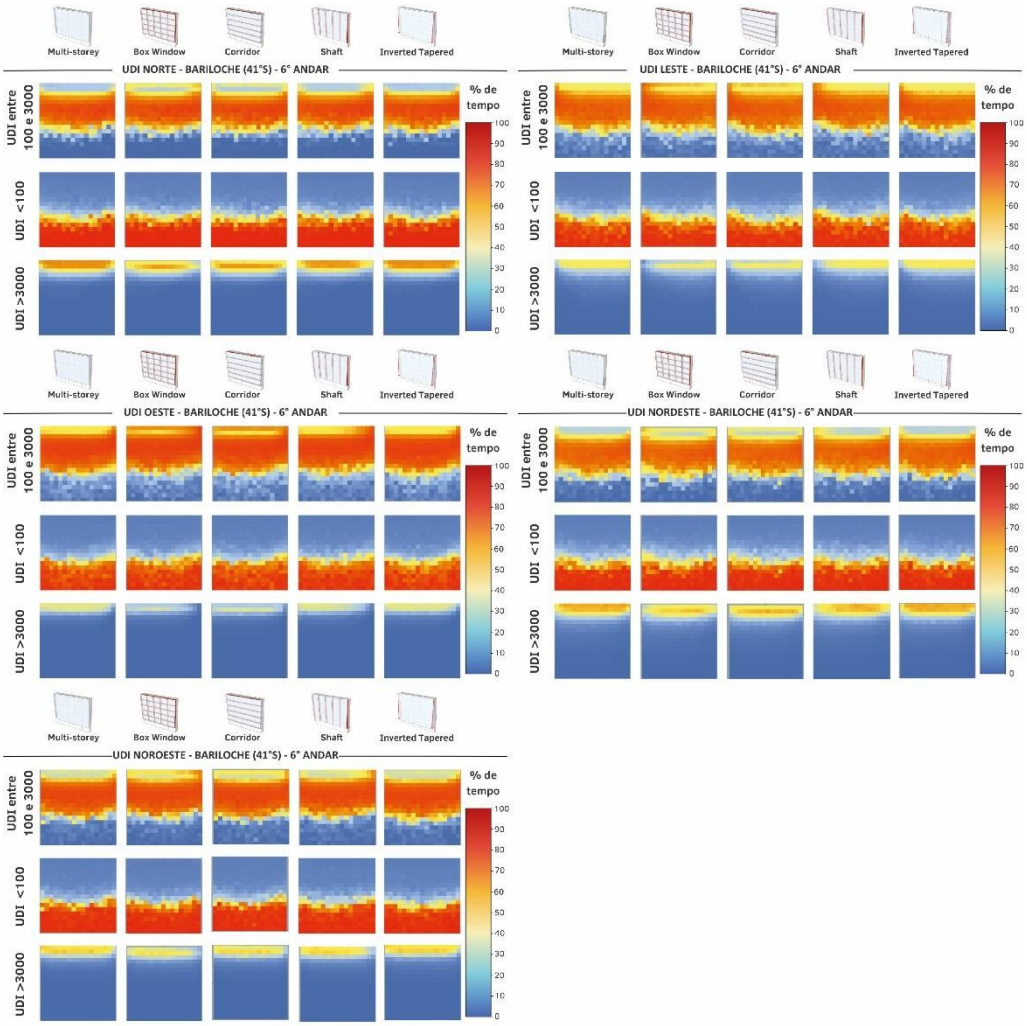
Fonte: autores

Já em Bariloche, a maior inclinação solar intensifica a dependência da orientação Norte para captação de luz, ao mesmo tempo em que reduz a eficiência das demais

orientações, especialmente nos pavimentos inferiores. Assim, a latitude não apenas altera a quantidade de luz disponível, mas redefine quais orientações são mais críticas em termos de desempenho e conforto.

A análise por orientação (Figura 7), quando associada aos resultados de UDI, revela um comportamento mais complexo do que o indicado pelo sDA. Embora fachadas Norte e Nordeste apresentem maior estabilidade e proporção de iluminâncias dentro da faixa útil ($UDI_{100–3000}$), fachadas Leste e Oeste, especialmente em pavimentos superiores, concentram maiores áreas com iluminâncias superiores a 3000 lux. Isso indica que o aumento da disponibilidade luminosa nessas orientações ocorre às custas de maior desconforto visual, reforçando que a maximização da entrada de luz não corresponde necessariamente a melhores condições ambientais. Em particular, as fachadas Oeste e Noroeste apresentam maior criticidade, devido à elevada incidência de radiação direta, resultando em maiores valores de iluminância e potencial de ofuscamento.

Figura 7: Relação de orientação solar para leitura de UDI na em Bariloche – 6° andar



Fonte: autores

De forma geral, nenhuma tipologia se destacou de maneira consistente nos resultados de sDA, indicando baixa sensibilidade dessa métrica às variações geométricas das fachadas. No entanto, a tipologia *inverted tapered* apresentou menor variação de sDA

entre as diferentes orientações, com diferenças inferiores a aproximadamente 6%, sugerindo um efeito de amortecimento da incidência solar. Esse comportamento pode ser associado às reflexões internas na cavidade da fachada dupla, que tendem a reduzir a influência direta do azimute solar e proporcionar maior uniformidade luminosa.

Embora a tipologia *inverted tapered* apresente desempenho consistentemente superior ao reduzir o sombreamento próprio, outras tipologias demonstraram vantagens específicas. A tipologia *shaft* destacou-se nas orientações Leste e Oeste, especialmente nos pavimentos intermediários, ao favorecer a entrada de luz difusa, a partir de reflexões nas superfícies laterais e, simultaneamente, reduzir o risco de ofuscamento. Em São Paulo (23°S), a tipologia *multi-storey* apresentou distribuição vertical mais uniforme para orientações Norte, embora sem atingir os níveis máximos de autonomia luminosa observados na tipologia *inverted tapered*. Esses resultados indicam que geometrias inclinadas de fachadas duplas podem compensar posicionamentos desfavoráveis da edificação em diferentes contextos geográficos.

Por fim, os resultados evidenciam a complementaridade entre as métricas analisadas, uma vez que altos valores de sDA foram frequentemente associados a excesso de iluminação indicado pela UDI. Isso sugere que o sDA, isoladamente, pode superestimar o desempenho da iluminação natural. Além disso, os mapas de UDI mostram uma distribuição espacial não uniforme, com excesso de luz próximo à fachada e deficiência nas áreas mais profundas.

CONCLUSÃO

Este estudo tem como objetivo avaliar o desempenho da iluminação natural em modelos com diferentes tipologias de FDs, considerando variações na orientação solar e na latitude. Os resultados indicam que a latitude e a altura do pavimento exercem maior influência sobre o desempenho da iluminação natural do que a tipologia de fachada dupla, com redução do sDA em latitudes mais elevadas e aumento significativo nos pavimentos superiores, enquanto a orientação solar apresentou efeito moderado. Do ponto de vista qualitativo, o pavimento intermediário apresentou melhor equilíbrio luminoso, ao passo que o superior concentrou maiores áreas de excesso de iluminância, sendo que, entre as tipologias, a *inverted tapered* apresentou desempenho geral superior, enquanto outras, como a *shaft* e a *multi-storey*, mostraram vantagens específicas em determinadas orientações.

Este estudo demonstrou ainda que o desempenho da iluminação natural em fachadas duplas não pode ser adequadamente avaliado por meio de um único parâmetro ou variável isolada. A interação entre altura de pavimento, orientação e latitude gera condições frequentemente conflitantes, nas quais ganhos em autonomia luminosa são acompanhados por perdas em conforto visual. Assim, a análise combinada de sDA e UDI mostra que alta disponibilidade de luz natural não implica necessariamente em conforto visual, reforçando a necessidade de avaliações com múltiplos indicadores.

Entre as limitações deste estudo, destacam-se a não consideração de controle dinâmico de sombreamento e a análise restrita a cinco tipologias e três latitudes. Investigações futuras podem explorar a influência de parâmetros adicionais, como profundidade da cavidade, propriedades ópticas do vidro, dispositivos de

sombreamento integrados e abordagens de otimização multiobjetivo aplicadas a diferentes contextos climáticos.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Programa de Bolsas do Centro de Treinamento e Inserção Profissional (CETREINA) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) pelo apoio institucional concedido ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, os autores utilizaram as ferramentas ChatGPT versão 5.5 e Gemini para revisão do texto. 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] KIM, R. K.; LEE, K. S.; LEE, J. **A study on the evaluation methods of indoor light environment for occupant comfort and well-being**. Journal of Green Building, v. 18, n. 4, p. 99–128, Dec. 2023. DOI: https://doi.org/10.3992/jgb.18.4.99.

[2] AKSAMIJA, A. Double-skin facades and daylight simulations: comparative study of facade typologies and effects on natural light in different climates. *In:* Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design, 17., 2017, Toronto. **Proceedings** […] Toronto: Society for Computer Simulation International, 2017, p. 1 - 8.

[3] ZIN, M. H. M.; JAMIL, M.; IBRAHIMB, N. L. N.; TAZILAN, A. S. M. Investigation on daylighting performance of double skin facade (DSF) in office building. *In:* Conference on Regional Architecture and Built Environment, 18., 2018, Putrajaya. **Proceedings** […] Putrajaya: SeniBINA, 2018, p. 197 - 204.

[4] BARBOSA, S.; ALBERTO, K. C.; PIROOZFAR, P. **Natural daylighting through double skin façades: a review**. Architectural Engineering and Design Management, v. 21, n. 2, p. 231–251, 2024. DOI: https://doi.org/10.1080/17452007.2024.2400711.

[5] ZIASISTANI, N.; MEANA-FERNÁNDEZ, A.; GUTIÉRREZ-TRASHORRAS, A. J. **Optimization of the performance of double-skin façades across six climates**. Thermo, v. 5, n. 4, p. 53, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/thermo5040053.

[6] ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY. **LM-83-23**: Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). New York, 2023.

[7] NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. **Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings**. Lighting Research and Technology, v. 37, n. 1, p. 41–57, Mar. 2005. DOI: https://doi.org/10.1191/1365782805li128oa.