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

Análise da disponibilidade e da autonomia da luz do dia em ambientes internos de três cidades paulistas na Zona Bioclimática 3B.

Análisis de la disponibilidad y de la autonomía de la luz diurna en espacios interiores de tres ciudades paulistas en la Zona Bioclimática 3B.

Analysis of the availability and autonomy of daylight in indoor spaces of three cities in São Paulo within Bioclimatic Zone 3B.

Iluminação natural e artificial / *iluminación natural y artificial / daylight and electric lighting*

Matos, Jéssica Cristine da Silva Fonseca
Doutora, Professora Colaboradora da Universidade Estadual de Campinas - FECFAU, São Paulo, Brasil, jessica@jfm.arq.br

Resumo

A norma ABNT NBR 15220-3 classificou os municípios brasileiros com base em dados de temperatura e umidade, sem considerar a disponibilidade de luz do dia. Este estudo busca complementar essas informações por meio da análise da disponibilidade e autonomia da luz natural em ambientes internos nas cidades paulistas de Campinas, Bauru e São Carlos, todas inseridas na Zona Bioclimática 3B (mista e seca). A metodologia baseou-se em simulações computacionais com o software Rhinoceros e o plugin Climate Studio, considerando dois períodos do ano: primavera/verão e outono/inverno. Os resultados, apresentados por meio de gráficos e mapas visuais, incluem métricas como iluminâncias médias, UDI e ASE 1000/250. As análises revelaram semelhanças na distribuição da luz natural nos três municípios, com destaque para o excesso de luz como a principal preocupação. O estudo reforça a importância da adoção de estratégias específicas por orientação, visando otimizar o controle da luz solar direta e reduzir desconfortos visuais.

Palavras-chave: Luz do dia. Disponibilidade de luz. Autonomia de luz. Zoneamento Bioclimático.

Resumen

La norma ABNT NBR 15220-3 clasificó los municipios brasileños en función de datos de temperatura y humedad, sin considerar la disponibilidad de luz natural. Este estudio tiene como objetivo complementar esa información mediante el análisis de la disponibilidad y la autonomía de la luz diurna en ambientes interiores de las ciudades paulistas de Campinas, Bauru y São Carlos, todas ubicadas en la Zona Bioclimática 3B (mixta y seca). La metodología se basó en simulaciones computacionales con el software Rhinoceros y el complemento Climate Studio, considerando dos períodos del año: primavera/verano y otoño/invierno. Los resultados, presentados a través de gráficos y mapas visuales, incluyen métricas como iluminancias medias, UDI y ASE 1000/250. Los análisis revelaron similitudes en la distribución de la luz natural entre los tres municipios, destacándose el exceso de luz como principal preocupación. El estudio resalta la importancia de estrategias específicas según la orientación para optimizar el control solar y reducir molestias visuales.

Palabras clave: Luz diurna. Disponibilidad de luz. Autonomía de luz. Zonificación bioclimática.

Abstract

The ABNT NBR 15220-3 standard classified Brazilian municipalities based on temperature and humidity data, without addressing daylight availability. This study aims to complement such information by analysing daylight availability and autonomy in indoor environments of the São Paulo state cities Campinas, Bauru, and São Carlos, all located in Bioclimatic Zone 3B (mixed and dry). The methodology relied on computational simulations using Rhinoceros software and the Climate Studio plugin, considering two seasonal periods: spring/summer and autumn/winter. The results, presented through graphs and visual maps, include metrics such as average illuminance, UDI, and ASE 1000/250. The analyses revealed similarities in daylight distribution among the three municipalities, highlighting excess light as the main concern. The study underscores the importance of adopting orientation-specific strategies to optimise direct sunlight control and mitigate potential visual discomfort.

Keywords: Daylight. Light availability. Light autonomy. Bioclimatic zoning.

1. Introdução

A inclusão da luz do dia nos projetos arquitetônicos apresenta benefícios amplamente reconhecidos, com impactos positivos tanto na qualidade ambiental quanto no desempenho energético dos edifícios. Sob a perspectiva humana, a luz do dia desempenha um papel crucial ao influenciar diretamente o conforto visual e o bem-estar dos usuários, evidenciando efeitos fisiológicos e psicológicos extensivamente documentados. Em termos ambientais, o uso estratégico da luz do dia reduz a dependência de iluminação elétrica durante o período diurno, um aspecto associado ao conceito de autonomia luminosa.

No âmbito projetual, a integração da luz do dia demanda uma análise criteriosa das condições climáticas locais, geometria dos espaços e orientação, posicionamento e dimensão das aberturas, com o objetivo de otimizar a distribuição luminosa e mitigar efeitos indesejados, como o ofuscamento ou a incidência excessiva de radiação solar. Nesse contexto, o uso da luz do dia como ferramenta projetual desempenha um papel fundamental na criação de ambientes sustentáveis, que não apenas promovem maior conforto para os usuários, mas também se adaptam às variações de clima e insolação da região.

A prática de zoneamento bioclimático é amplamente utilizada para generalizar soluções em diversas áreas (WALSH et al., 2017), como arquitetura (VERICHEV e CARPIO, 2018), comportamento de módulos fotovoltaicos (DASH et al., 2017) e sistemas de ar-condicionado e coleta de água da chuva (PALLA et al., 2012). No entanto, uma única classificação climática para todos os propósitos pode não ser viável, pois os indicadores climáticos variam conforme o sistema analisado. Assim, um zoneamento climático específico pode ser preciso para determinada finalidade, mas menos adequado para outras aplicações (MACHADO et al., 2024).

No caso do Brasil, temos o zoneamento bioclimático proposto pela ABNT NBR 15220-3 (ABNT, 2024a) que divide o território brasileiro em seis zonas bioclimáticas, considerando características climáticas regionais como temperatura, umidade e radiação solar. Essa norma visa orientar projetos arquitetônicos mais adequados às condições locais, promovendo maior eficiência energética e conforto ambiental nos edifícios. Na atualização de 2024, cada uma das seis zonas foi subdividida em dois tipos, com base em especificidades climáticas. As zonas 1 e 2, as mais frias, foram classificadas segundo invernos rigorosos ou moderados. A zona 3, de clima misto, e

as zonas mais quentes (4 a 6) foram subdivididas em regiões de clima seco ou úmido. Essa versão da norma traz os dados climáticos, mas não forneceu diretrizes de projeto para cada zona. Aspectos específicos relacionados à disponibilidade de luz do dia nesses municípios também não foram abordados.

2. Objetivo

O estudo tem como objetivo analisar a disponibilidade de luz do dia e a autonomia luminosa nas cidades de Campinas, Bauru e São Carlos, avaliando as condições de iluminação natural em ambientes internos no contexto climático da Zona Bioclimática 3B – mista e seca.

3. Método

A Zona 3B – mista e seca - caracteriza-se por apresentar duas estações bem definidas ao longo do ano, com temperaturas médias externas variando entre 20,9 °C e 22,9 °C (TBSm). Essa faixa térmica corresponde ao Intervalo 1 da ABNT NBR 15575-1 (ABNT, 2024b), e a umidade relativa média anual do ar externo é de até 73,2%, indicando condições predominantemente secas. Composta por 601 municípios, sendo Brasília/DF a cidade representativa, essa zona demanda estratégias específicas para o conforto térmico das edificações. As três cidades selecionadas para este estudo - Campinas, Bauru e São Carlos - estão classificadas na Zona Bioclimática 3B e estão situadas na região Sudeste e possuem dados climáticos semelhantes (Tabela 1).

Tabela 1: Dados climáticos dos municípios selecionados

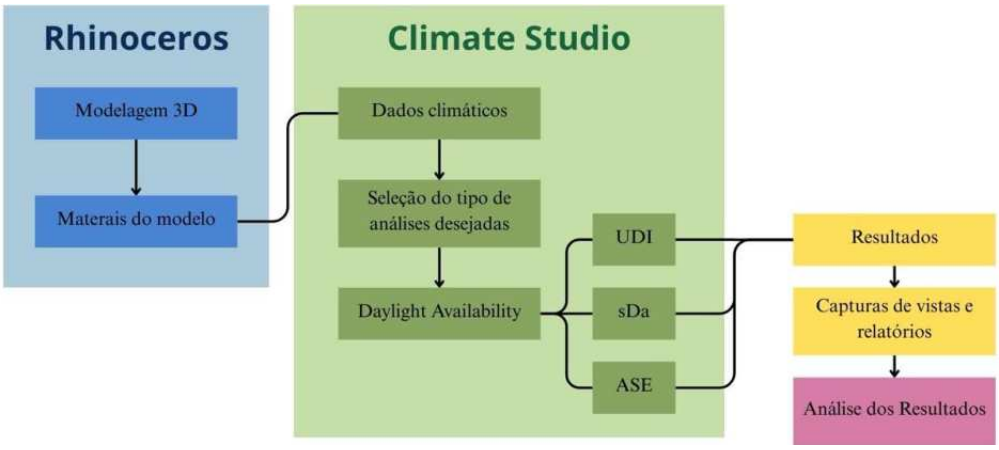
Município	Latitude	Longitude	Altitude	TBSm ºC	UR %	Média anual da Radiação Horizontal Global Diária W/m²	Média anual da Velocidade do Vento m/s	Média anual da Amplitude Térmica ºC
Campinas, SP	-22,91	-47,07	685	21,6	69	5.088	4	10,5
Bauru, SP	-22,32	-49,09	512	22,1	71	5.284	1,6	11,5
São Carlos, SP	-22,02	-47,89	844	21,2	70	4.971	4,1	10,4

Fonte: ABNT (2024).

O método adotado neste estudo baseia-se em simulação computacional, conforme detalhado na Figura 1. Inicialmente, o modelo arquitetônico foi desenvolvido no software Rhinoceros, onde ocorreu a etapa de modelagem 3D e a definição dos materiais do modelo. Em seguida, os dados

do modelo foram integrados ao Climate Studio, ferramenta utilizada para realizar as simulações de iluminação. Nessa etapa, foi feita a seleção do tipo de análise desejada - *Daylight Availability* - bem como a inserção de dados climáticos, específicos para o local de estudo. As análises geraram métricas de desempenho luminoso, incluindo iluminância, UDI – Useful Daylight Illuminance (NABIL e MARDALJEVIC, 2005), sDa – Spatial Daylight Autonomy (IES, 2022) e ASE – Annual Sunlight Exposure (IES, 2022). Esses resultados foram capturados em forma de vistas e relatórios, que permitem a análise dos resultados para a compreensão e avaliação das condições de iluminação natural e seus impactos no ambiente interno.

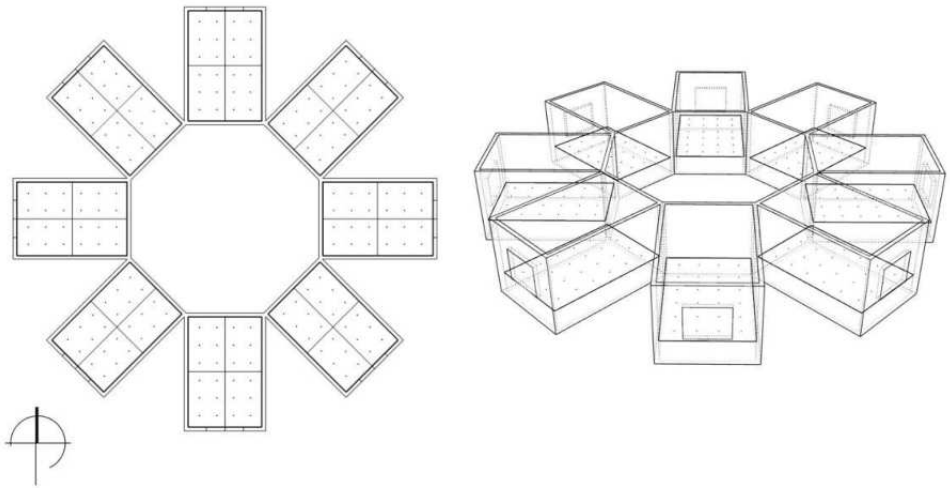
Figura 1: Fases da simulação computacional



A proposta do modelo tridimensional consiste em um modelo simplificado, composto por um octógono, com oito ambientes de geometria retangular com dimensões de 3,0 metros de largura, 4,5 metros de profundidade e pé-direito de 3 metros. Cada ambiente possui uma única abertura, com dimensões de 150 x 120 cm e peitoril a 100 cm do piso, centralizada em uma das paredes. Neste volume genérico, a orientação da abertura foi definida para as quatro direções cardeais — norte, sul, leste e oeste —, além das quatro orientações intermediárias: nordeste, noroeste, sudeste e sudoeste. Para os materiais de acabamentos, foram utilizadas pintura clara nas paredes e no forro, com refletância de 83%, e piso cerâmico na tonalidade bege, com refletância de 33%. Os vidros empregados são simples e incolores (transmitância luminosa de 0,88; refletância luminosa 0,08; fator de ganho solar de 0,82). Por se tratar de um estudo cujo objetivo é analisar a disponibilidade e a autonomia da luz no contexto climático das cidades, não foram considerados

volumes na envoltória da geometria analisada, assumindo-se, portanto, um ambiente com aberturas totalmente desobstruídas.

Figura 2: Modelo tridimensional genérico em planta e perspectiva

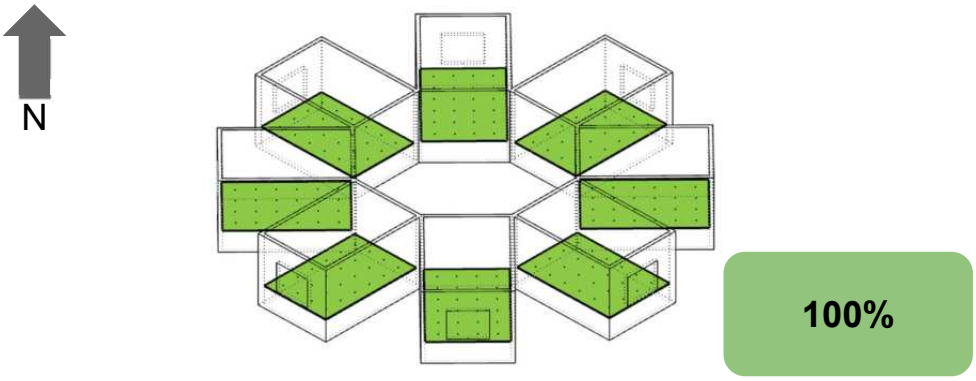


O ClimateStudio utiliza arquivos meteorológicos *Typical Meteorological Year* (TMY), que contêm dados horários medidos para uma variedade de grandezas físicas necessárias para a análise de desempenho ambiental. Esses dados incluem informações sobre radiação solar direta e difusa, temperatura, umidade relativa, velocidade e direção do vento. Por se tratar de regiões com clima bem definido para as estações do ano, há especificidades distintas entre os períodos. Dessa forma, optou-se por separar as simulações em dois intervalos: outono/inverno de 21 de março a 22 de setembro, e o primavera/verão, de 23 de setembro a 20 de março. O horário considerado para as análises foi das 8h às 18h.

4. Resultados

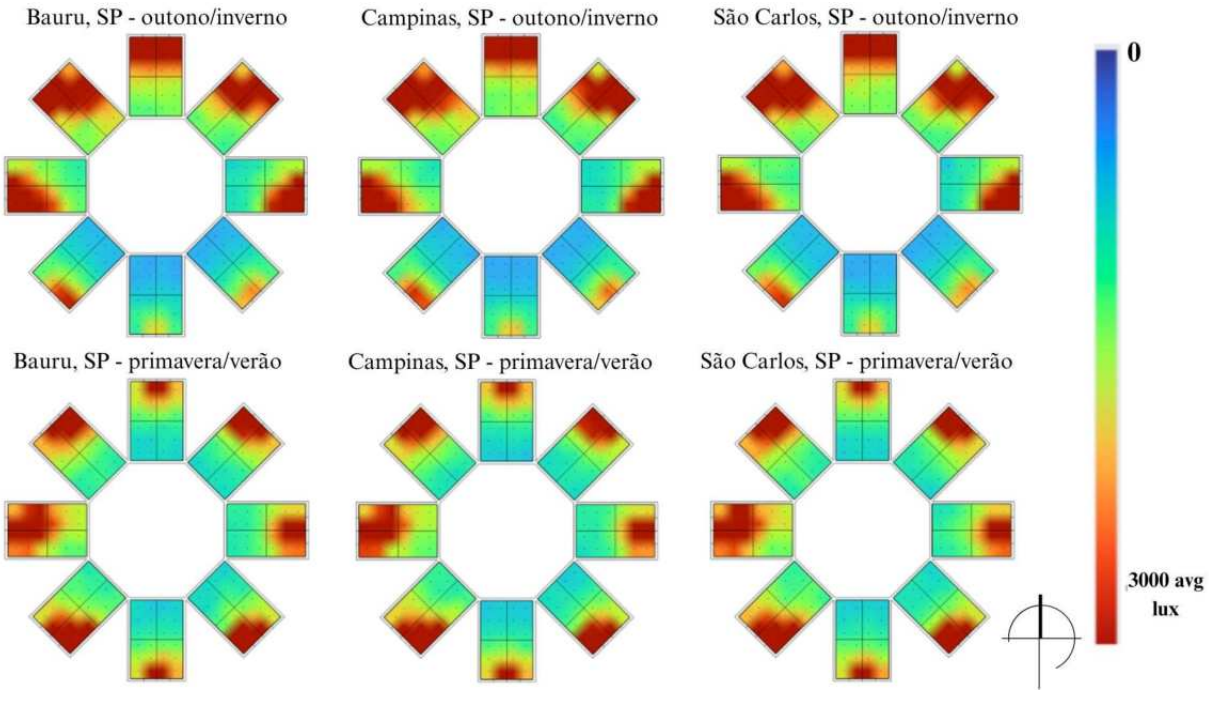
A primeira métrica analisada foi a sDA 300/50% (*Spatial Daylight Autonomy*) - Autonomia Espacial de Luz Natural. Ela indica a porcentagem da área do piso que atende aos níveis de iluminância alvo (300 lux) usando apenas a luz natural por pelo menos 50% das horas ocupadas. As três cidades analisadas atingiram o nível de 100% do tempo, na geometria simulada para todas as orientações, conforme indica na figura 3.

Figura 3: Resultado do sDA300/50% para as três cidades.



Para a análise da disponibilidade de luz natural, também foram consideradas as médias de iluminância nos dois períodos anuais distintos para cada cidade, na figura 4 encontram-se os dados referentes ao período primavera/verão e outono/inverno.

Figura 4: Resultado das médias de iluminância para os dois períodos analisados

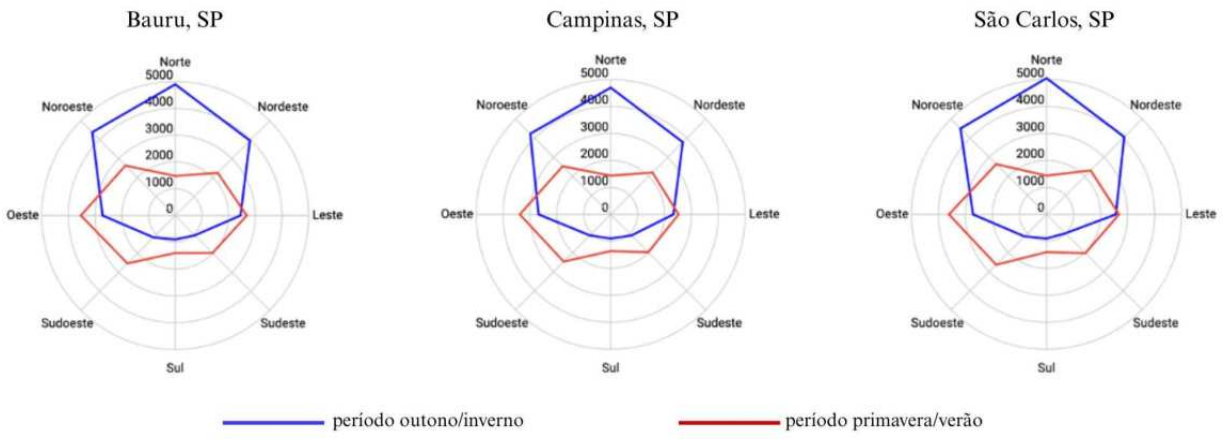


As três cidades apresentam padrões de distribuição de iluminância bastante similares. Durante o período outono/inverno, caracterizado por uma altura solar mais baixa, a maior disponibilidade de luz natural ocorre nas direções norte, nordeste e noroeste. Nessa estação, a distribuição da luz no interior dos ambientes é mais profunda, especialmente nas orientações nordeste e noroeste. Já no período primavera/verão, observa-se uma redução na iluminância dos ambientes com aberturas voltadas para noroeste e nordeste, sendo a diminuição ainda mais significativa para as aberturas orientadas ao norte. Em contrapartida, os ambientes com aberturas voltadas para o sul, sudeste e sudoeste apresentam aumento na iluminância durante essa estação. Por fim, os ambientes com aberturas orientadas para o leste e oeste mantêm uma boa disponibilidade de luz natural ao longo de ambos os períodos, variando apenas na distribuição interna da luz, em função da posição solar característica de cada estação.

Os gráficos em formato de teia de aranha das três cidades (Figura 5) evidenciam de maneira clara as diferenças de iluminância nos ambientes, conforme a orientação das aberturas e os dois períodos do ano. A linha azul representa o período outono/inverno, no qual há uma maior concentração de iluminância em ambientes com aberturas voltadas para o norte, nordeste e noroeste, enquanto as orientações sul, sudeste e sudoeste apresentam valores significativamente menores. Essa variação é crucial para decisões de projeto, especialmente considerando que essas cidades estão classificadas na zona bioclimática 3b — mista e seca, onde os climas são bem definidos, com períodos distintos de frio e calor. Durante os meses mais frios, a entrada de luz nos ambientes voltados para norte, nordeste e noroeste pode ser estratégica, uma vez que essas orientações apresentam maior disponibilidade de radiação solar nesse período de temperaturas mais baixas.

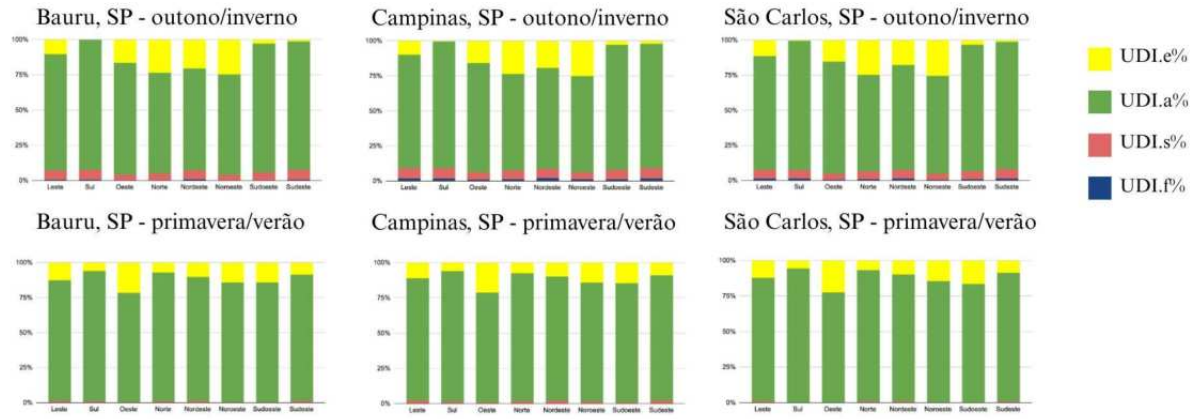
A linha vermelha, correspondente ao período primavera/verão, revela uma redução significativa da iluminância em ambientes com aberturas voltadas para norte, nordeste e noroeste. No entanto, é importante ressaltar que as orientações sul, sudeste e sudoeste também recebem iluminância considerável nesse período, contrariando a ideia equivocada de que essas aberturas não necessitam de proteção solar. Essa iluminação, mais expressiva no período primavera/verão, pode impactar o conforto térmico e visual, demandando estratégias de controle, como dispositivos de sombreamento ou o uso de materiais que reduzam o ganho excessivo de calor. Assim, os gráficos reforçam a importância de um planejamento arquitetônico que considere essas variações sazonais para maximizar o aproveitamento da luz natural e mitigar seus efeitos adversos.

Figura 5: Gráficos de teia de aranha da iluminância média para os dois períodos



Os gráficos UDI das cidades de Bauru, Campinas e São Carlos (figura 6) demonstram o comportamento da iluminância nos ambientes, classificando-a nas categorias: falha (UDI.f% - menos de 100lux), suplementar (UDI.s% - entre 100 e 300 lux), autônomo (UDI.a% - entre 300 e 3000 lux) e excessivo (UDI.e% - mais de 3000 lux). A análise considera os dois períodos do ano (outono/inverno e primavera/verão), bem como as diferentes orientações dos ambientes.

Figura 6: Gráficos - UDI falha (UDI.f%), suplementar (UDI.s%), autônomo (UDI.a%) e excessivo (UDI.e%)



Durante o período primavera/verão, há uma melhor distribuição da iluminância na faixa autônoma (UDI.a%), representada pela cor verde, nas três cidades. Este período apresenta condições mais equilibradas para a utilização de luz natural, com maior percentual de ambientes

adequados (300–3000 lux). Entretanto, neste período se verificam também índices de iluminância excessiva (UDI.e%), em amarelo, para todas as orientações e principalmente à oeste. Isso destaca a necessidade de estratégias para evitar possível ofuscamento e desconforto visual em tais áreas.

Durante o período outono/inverno, a iluminância autônoma (UDI.a%) ainda é predominante, mas observa-se um pequeno percentual de área com falhas (UDI.f%) e suplementar (UDI.s%), em todas as orientações. Esses ambientes apresentam valores de iluminância abaixo de 300 lux, o que pode exigir complementação artificial em algumas situações, além de atenção especial à profundidade do ambiente. A iluminância excessiva (UDI.e%) também é expressiva neste período, principalmente para as orientações leste, oeste, norte, nordeste e noroeste.

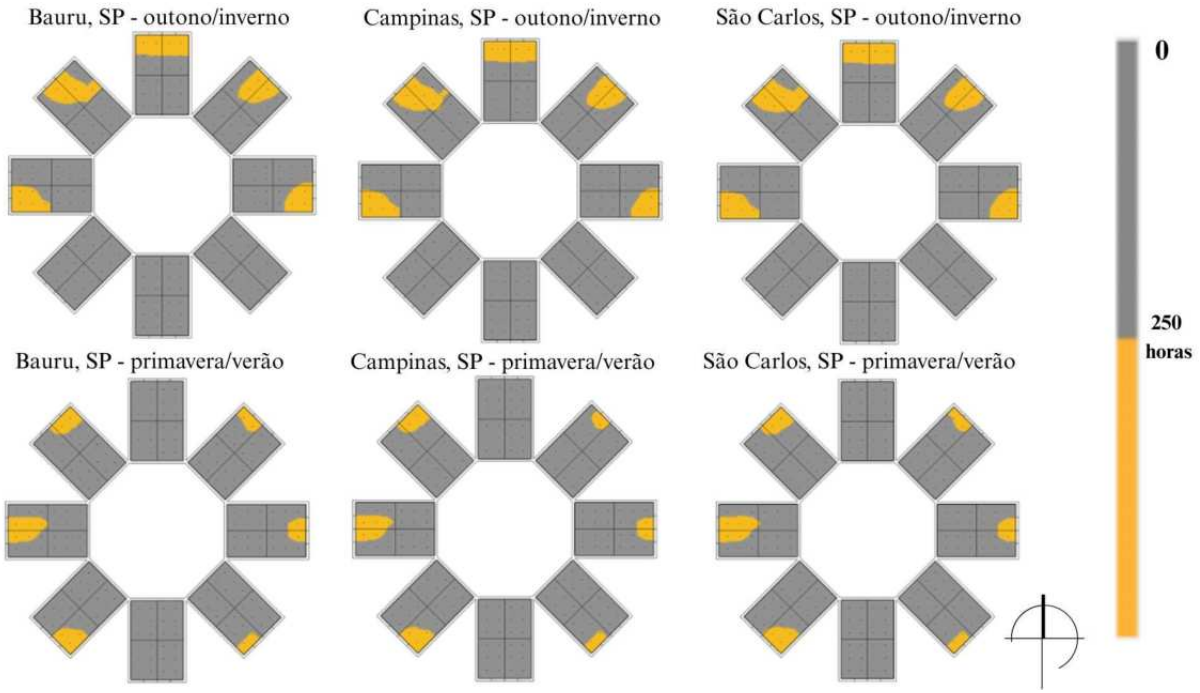
Conforme evidenciado pelos gráficos de média de iluminância e pelos gráficos de UDI, o principal cuidado em relação à luz natural nos ambientes das três cidades analisadas, em ambos os períodos do ano, está relacionado ao excesso de luz. Todas as orientações apresentam a necessidade de proteção em algum momento. Para ilustrar essa necessidade de forma mais clara, apresentamos os gráficos referentes à análise da métrica ASE 1000,250, que identificam as áreas dentro dos ambientes que registram níveis superiores a 1000 lux por mais de 250 horas ao longo do ano. Essa métrica permite uma compreensão detalhada das zonas de maior exposição à luz solar direta, auxiliando no planejamento de estratégias para controle da iluminação natural, garantindo conforto visual e térmico em ambos os períodos do ano.

Os gráficos apresentados na figura 7, com as zonas de superexposição luminosa de ASE 1000,250, permitem uma análise detalhada das áreas que recebem iluminância superior a 1000 lux por mais de 250 horas nos dois períodos do ano. As observações principais destacam padrões claros relacionados às orientações e à posição solar em períodos distintos.

- Sul: Não apresenta áreas de ASE 1000,250 em nenhum dos dois períodos do ano. Isso reforça que esta orientação é menos impactada por excessos de luz.
- Sudoeste e Sudeste: No período outono/inverno, não há registro de áreas de superexposição nessas orientações. No período primavera/verão, surgem pequenas áreas de superexposição, indicando que a luz solar direta impacta de forma moderada esses quadrantes.
- Norte: Curiosamente, não há áreas de ASE 1000,250 no período primavera/verão, evidenciando que a distribuição da luz solar direta nesta orientação é equilibrada durante essa época do ano. Durante o período outono/inverno, áreas de superexposição aparecem, especialmente em áreas próximas às aberturas, sugerindo uma maior exposição ao sol direto quando o ângulo solar está mais baixo.

- Nordeste, Noroeste, Leste e Oeste: Essas orientações apresentam áreas de ASE 1000,250 em ambos os períodos do ano, sendo as mais afetadas pela luz solar direta. A distribuição interna das áreas de superexposição varia conforme a posição solar, com maior intensidade em áreas adjacentes às aberturas e mudanças na profundidade de penetração da luz dependendo do período.

Figura 7: Resultado ASE 1000,250 das três cidades para os dois períodos analisados.



Os gráficos de áreas de ASE 1000,250 apresentam um caráter didático significativo, sendo uma ferramenta valiosa para o desenvolvimento de propostas de dispositivos de proteção solar. A representação visual das áreas permite uma análise clara e objetiva, auxiliando na definição da geometria ideal desses dispositivos. Além disso, os gráficos destacam a necessidade de soluções específicas para cada orientação, em vez de uma abordagem única para todas as aberturas, evidenciando que diferentes orientações demandam estratégias personalizadas para controlar a luz solar direta de maneira eficiente.

4.1. Diretrizes de projeto

As diretrizes finais para o projeto com foco na luz do dia do dia em Campinas, Bauru e São Carlos consideram as especificidades de cada orientação das aberturas, o controle da luz natural e a distribuição interna da luz. Para as orientações norte, nordeste e noroeste, é recomendada a adoção de estratégias que aproveitem a luz natural durante o período outono/inverno, garantindo uma boa distribuição de luz nos ambientes, enquanto no período primavera/verão deve-se considerar dispositivos de sombreamento ajustáveis para evitar o superaquecimento. Nas orientações sul, sudeste e sudoeste, é indicado o uso de proteções moderadas no período primavera/verão, devido ao aumento da iluminância. Já para as orientações leste e oeste, o uso de sombreamentos ou brises é essencial para controlar a entrada de luz direta e minimizar o risco de ofuscamento, especialmente no período primavera/verão, quando o impacto é mais significativo.

O controle da luz natural deve incluir dispositivos ajustáveis, como persianas, brises ou elementos vegetais, para reduzir a incidência direta nas orientações críticas (leste, oeste, nordeste e noroeste). Além disso, a aplicação de vidros com controle solar ou películas específicas pode ajudar a diminuir a iluminância excessiva (UDI.e%) sem comprometer a autonomia luminosa (UDI.a%). A distribuição interna da luz deve considerar o planejamento da geometria e da profundidade dos ambientes, visando maior profundidade de luz no período outono/inverno. Para ambientes mais expostos, é importante avaliar o uso de elementos refletivos internos que favoreçam a dispersão homogênea da luz natural.

5. Conclusões

A análise revelou padrões sazonais e variações na distribuição da luz natural, destacando a necessidade de estratégias específicas para cada orientação das aberturas, de modo a equilibrar a disponibilidade de luz, minimizar os possíveis riscos de ofuscamento e garantir o conforto visual e térmico. Diretrizes como o uso de dispositivos de sombreamento ajustáveis, materiais com controle solar e um planejamento cuidadoso das aberturas e da geometria interna mostraram-se essenciais para maximizar o potencial da luz natural. Como restrição do estudo, não foram considerados volumes na envoltória da geometria analisada, tratando-se, portanto, de condições luminosas de um ambiente com aberturas não obstruídas. Essa análise é fundamental para complementar as informações necessárias ao projeto. Para desenvolvimentos futuros, este estudo faz parte de uma pesquisa em andamento que está expandindo as análises para outros municípios, com diferentes latitudes e classificações de zonas bioclimáticas, ampliando o conhecimento sobre as interações entre clima e iluminação natural.

Referências Bibliográficas

ABNT. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático por desempenho. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2024a.

ABNT. NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2024b.

DASH, P. K.; GUPTA, N. C.; RAWAT, R.; PANT, P. C. A novel climate classification criterion based on the performance of solar photovoltaic technologies. **Solar Energy**, v. 144, p. 392–398, 1 mar. 2017.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY (IES). ANSI/IES LM-83-22: Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). New York: IES, 2022.

MACHADO, R.; BRE, F.; MAZZAFERRO, L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Bioclimatic zoning for building performance using tailored clustering method and high-resolution climate data. **Energy and Buildings**, v. 311, p. 114157, maio 2024.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminance: A new paradigm for assessing daylight in buildings. **Lighting Research & Technology**, v. 37, n. 1, p. 41–59, 2005.

PALLA, A.; GNECCO, I.; LANZA, L. G.; LA BARBERA, P. Performance analysis of domestic rainwater harvesting systems under various European climate zones. **Resources, Conservation and Recycling,** v. 62, p. 71–80, maio 2012.

VERICHEV, K.; CARPIO, M. Climatic zoning for building construction in a temperate climate of Chile. **Sustainable Cities and Society**, v. 40, p. 352–364, 1 jul. 2018.

WALSH, A.; CÓSTOLA, D.; LABAKI, L. C. Review of methods for climatic zoning for building energy efficiency programs. Building and Environment, v. 112, p. 337–350, fev. 2017.