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

Desempenho lumínico de aberturas zenitais tipo *shed*: uma análise com base no Código de Obras de Vitória – ES (Brasil)

Desempeño lumínico de aberturas cenitales tipo shed: un análisis basado en el Código de Obras de Vitória – ES (Brasil)

Luminous performance of shed-type zenith openings: an analysis based on the Building Code of Vitória - ES (Brazil)

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

Orlandi, Ludmila Brunow
Especialista em Eficiência Energética, Ufes, Vitória, Brasil, ludmila.brunow@gmail.com

Laranja, Andréa Coelho
Doutora em Ciências em Arquitetura, Ufes, Vitória, Brasil, andrea.laranja@ufes.br

Resumo

Aberturas zenitais podem ser dimensionadas, de acordo com o Código de Obras de Vitória – ES, em função de uma redução da área da abertura lateral. O objetivo deste estudo é analisar o desempenho lumínico de aberturas zenitais do tipo *shed* a partir das premissas do Código de Obras de Vitória - ES. A metodologia envolve simulações no *software* Troplux 8, em quatro modelos sendo um com abertura lateral (MJ) e três com abertura zenital (MS15, MS30 e MS45). As simulações ocorreram no céu dinâmico de Vitória - ES com aberturas orientadas para Norte, Sul, Leste ou Oeste. As métricas são a Iluminância Útil de Luz Natural (IULN), a Autonomia de Luz Natural (ALN) e a Iluminância Média Mensal. O principal resultado demonstra que para a IULN, o MS30, modelo que representa o limite máximo de redução da área envidraçada, oferta somente 1/30 da faixa suficiente do MJ na orientação Sul.

Palavras-chave: Simulação computacional. Iluminação natural. Código de edificações. Abertura zenital. Shed.

Resumen

Las aberturas cenitales pueden dimensionarse, según el Código de Obras de Vitória – ES, en función de la reducción del área de la abertura lateral. Este estudio analiza el desempeño lumínico de aberturas cenitales tipo shed según las premisas del Código de Obras de Vitória - ES. La metodología incluye simulaciones en el software Troplux 8 en cuatro modelos: uno con abertura lateral (MJ) y tres con abertura cenital (MS15, MS30 y MS45). Las simulaciones se realizaron con el cielo dinámico de Vitória - ES y aberturas orientadas al Norte, Sur, Este u Oeste. Se utilizaron las métricas Iluminancia Útil de Luz Natural (IULN), Autonomía de Luz Natural (ALN) e Iluminancia Media Mensual. El principal resultado muestra que, para la IULN, el modelo MS30, que representa el límite máximo de reducción del área acristalada, ofrece solo 1/30 de la franja suficiente del MJ en la orientación Sur.

Palabras clave: Simulación computacional. Iluminación natural. Código de edificación. Abertura cenital. Shed.

Abstract

Zenith openings can be sized, according to the Building Code of Vitória – ES, based on a reduction in the area of the lateral opening. The objective of this study is to analyze the luminous performance of shed-type zenith openings based on the premises of the Building Code of Vitória - ES. The methodology involves simulations using the Troplux 8 software, in four models: one with a lateral opening (MJ) and three with zenith openings (MS15, MS30, and MS45). The simulations were conducted under the dynamic sky of Vitória - ES, with openings oriented to the North, South, East or West. The metrics used are Useful Daylight Illuminance (UDI), Daylight Autonomy (DA), and Monthly Average Illuminance. The main result shows that for UDI, the MS30 model, which represents the maximum limit of glazed area reduction, provides only 1/30 of the sufficient range of MJ in the south orientation.

Keywords: Computational simulation. Daylighting. Building code. Zenithal opening. Shed.

Introdução

A luz natural desempenha papel essencial na saúde humana, auxiliando na regulação do ciclo circadiano (Mardaljevic, 2021; Park, 2021) e impactando na produtividade dos usuários do ambiente (Beck *et al*., 2016; Mayhoub e Rabboh, 2022). Nesse sentido a iluminação natural deve ser incorporada no ambiente interno através de aberturas laterais (janelas) ou zenitais, em suas diversas tipologias, domos, lanternins, *sheds*, claraboias, dentre outros. Contudo, é necessário compreender a interação entre a luz do dia e as aberturas do ambiente, pois a exposição excessiva à radiação solar pode comprometer o conforto lumínico.

Pesquisas tem apresentado a boa performance de aberturas zenitais, distribuindo mais uniformemente a luz no ambiente interno, quando comparadas com aberturas laterais, sendo que para localidades de clima quente, lanternins ou *sheds* podem proporcionar melhor desempenho lumínico (Amorim, 2007; Mapelli; Laranja e Alvarez, 2018; Schmidlin e Silva, 2023).

No entanto, o código de obras, instrumento regulador municipal, estabelece dimensões e áreas mínimas de compartimentos e aberturas, as quais, muitas vezes, não asseguram conforto lumínico adequado para a realização das atividades. Albuquerque e Amorim (2012) apontam que no Brasil há uma compreensão limitada das variáveis arquitetônicas que influenciam o desempenho da iluminação natural no ambiente construído, destacando que diversas lacunas não são abordadas de maneira satisfatória em normas, manuais e códigos de obras de edificações. Castro *et al*. (2015) em pesquisa a códigos de obras detectaram que limites mínimos dos critérios do código não favorecem o aproveitamento de iluminação natural.

Neste contexto, observa-se que o Código de Obras de Vitória - ES (1998), local de aplicação desta investigação, permite dimensionar a área da abertura zenital a partir de um percentual de redução máximo de 30% da área da abertura lateral (Vitória, 1998). Assim, considerando as premissas do Código (Vitória, 1998) e pesquisas que comprovam a boa performance do *shed,* este trabalho investiga o desempenho de *sheds* com diferentes reduções da área envidraçada.

Objetivo

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa é analisar o desempenho lumínico de aberturas zenitais do tipo *shed* a partir das premissas dispostas no Código de Obras de Vitória - ES.

Método

Os procedimentos metodológicos foram estruturados em três etapas: (1) caracterização do ambiente e definição das aberturas; (2) definição dos parâmetros e processamento das simulações no *software* Troplux 8.0.71 (Cabús *et al*., 2020); (3) extração e organização dos dados.

Caracterização do ambiente e definição das aberturas

A definição da geometria do ambiente teve como referência um ambiente retangular existente em *shopping center* em Vitória - ES, caracterizado como espaço laboral, enquadrado no Grupo A do Código de Obras de Vitória – ES (1998). Deste modo, foi definido um ambiente com área de aproximadamente 50m² e dimensões de 7,10m x 7,10m x 5,30m, respectivamente, largura, profundidade e pé-direito (Tabela 1).

Com base nas diretrizes do Código (Vitória, 1998), foram estabelecidas áreas mínimas para abertura lateral e abertura zenital: para ambientes com abertura lateral, a área envidraçada deve corresponder, no mínimo, a 1/8 da área do piso do ambiente; para aberturas zenitais, permite-se que a área envidraçada seja função da área da abertura lateral, com redução de até 30% da área (Vitória, 1998). A Tabela 1 indica as dimensões e áreas adotadas:

Tabela 1: Parâmetros adotados para o ambiente e aberturas de acordo com o Código de Obras de Vitória – ES.

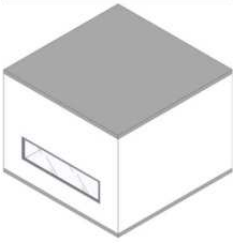
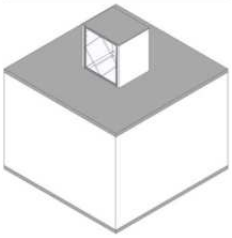
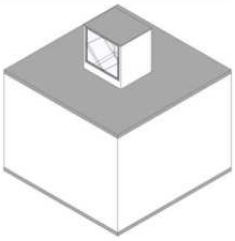
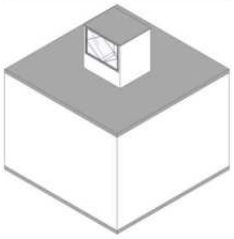
Dimensão	Exigência do Código	Dimensão adotada
Pé-direito (Pd)	Pd ≥ 2,60m	Pd = 5,30m
Largura (L)	L ≥ 2,00m	L = 7,10m
Profundidade (P)	P ≤ 4x L	P = 7,10m
Área (A)	A ≥ 7,50m²	A = 50,41² ≈ 50m²
Área Abertura Lateral (AAL)	AAL ≥ ⅛ A e ≥ 0,6m²	AAL = 6,25m²
Área Abertura Zenital (AAZ)	AAZ ≥ 0,7 AAL	AAZ = 4,375m² ≈ 4,4m²

Fonte: Autoras (2024, p. 4).

A partir dessas definições, foram estabelecidos os modelos de ambiente a serem simulados: um modelo com abertura lateral (MJ), utilizado como referência do desempenho lumínico atingido pela janela; e três modelos com abertura zenital do tipo *shed*, centralizadas no teto do ambiente, caracterizadas como um volume retangular na proporção 4/3 (altura/largura) indicada por Acosta

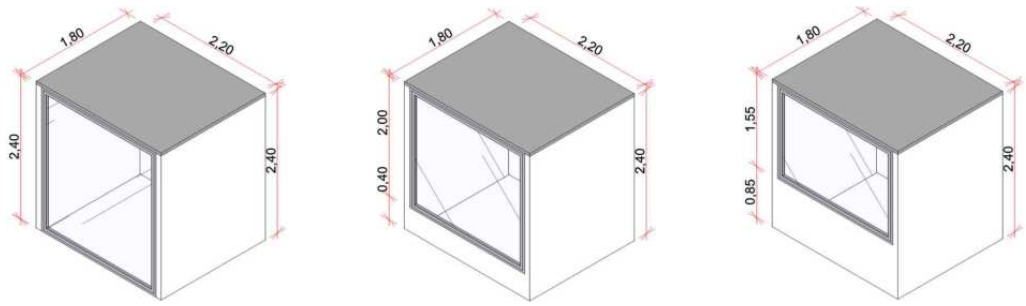
et al. (2012) e com 2,40m de altura e 1,80 de largura (Figura 1). Optou-se por utilizar o *shed*, uma vez que ele permite abertura para apenas uma orientação. A Tabela 2 discrimina os modelos utilizados, sua área envidraçada e dimensões adotadas em cada abertura:

Tabela 2: Parâmetros adotados para cada modelo de abertura MJ, MS15, MS30 e MS45.

	MJ	MS15 (-15% AAL MJ)	MS30 (- 30% AAL MJ)	MS45 (-45% AAL MJ)
Modelo				
Área envidraçada	6,25m²	5,28m²	4,4m² área mínima indicada pelo Código (Vitória, 1998)	3,41m²
Dimensões da abertura (largura, comprimento e peitoril)	1,25m x 5,00m x 1,10m	2,40m x 2,20m x 0,00m	2,00m x 2,20m x 0,40m	1,55m x 2,20m x 0,85m

Fonte: Autoras (2024, p. 5).

Figura 1: Dimensões adotadas para cada modelo de *shed* (MS15, MS30 e MS45).



MS15 MS30 MS45

Fonte: Autoras (2024, p. 5).

Definição dos parâmetros das simulações computacionais

As simulações foram realizadas no *software* Troplux 8.0.71 (Cabús *et al*., 2020) para Vitória - ES (LAT 20°19’15” S e LONG 40°20'10"O) de clima tropical úmido. Foi definido o Céu com Distribuição Dinâmica de Luminâncias (CDDL), que se baseia no arquivo climático da cidade e considera as componentes diretas e difusas da luz. As simulações ocorreram de 7h30 às 17h30 todos os dias do ano e as aberturas foram orientadas para Norte, Sul, Leste e Oeste.

As refletâncias das superfícies foram definidas com base nos valores preconizados pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), sendo: 0,5 para o piso; 0,8 para as paredes; 0,9 para o teto e 0,4 para as superfícies externas. Para o cálculo das métricas adotou-se uma malha ortogonal a 75cm do piso (ABNT, 2013), de 144 pontos, baseada na norma internacional IES LM-83-12 (Illuminating Engineering Society Of North America, 2012).

Definição das métricas para análise dos resultados

Nas análises lumínicas, as métricas utilizadas foram: Iluminância Útil de Luz Natural (IULN), proposta por Nabil e Mardaljevic (2005); Autonomia de Luz Natural (ALN), desenvolvida por *Association Suissedes Electriciense* (ASE, 1989) e aperfeiçoado por Reinhart e Walkenhorst (2001); e Iluminância Média Mensal.

A IULN expressa a porcentagem de instantes em um período, neste estudo anual e mensal, em que a iluminância do ambiente permanece em cada uma das quatro faixas, indicando conforto ou desconforto lumínico. Para a IULN admitiram-se: $E \leq 100lx$ (iluminância insuficiente); $100lx \leq E \leq 500lx$ (iluminância suficiente com necessidade de iluminação complementar); $500lx \leq E \leq 3000lx$ (iluminância suficiente); $E \geq 3000lx$ (iluminância excessiva).

A ALN corresponde ao percentual anual em que uma quantidade mínima de iluminância é atingida somente por luz natural. O cálculo da Iluminância Média Mensal consiste na média das iluminâncias mensais no plano de trabalho em horários específicos (8h30, 10h30, 12h30, 14h30 e 16h30). Tanto para a ALN, como para a Iluminância Média Mensal, o valor de iluminância adotado corresponde a 500lx, satisfazendo as atividades de escrita, digitação e leitura (ABNT, 2013).

Resultados

A seguir são apresentados os resultados para os quatro modelos simulados MJ, MS15, MS30 e MS45. Na faixa de iluminância excessiva (E ≥ 3000lx), como esperado, a janela apresenta os maiores valores. Por outro lado, os modelos de abertura zenital apresentam potencial em reduzir estes percentuais, com valores que não atingem 1,0%, contribuindo na redução do ofuscamento, com maior conforto visual ao usuário (Figura 2).

Para a faixa de iluminância suficiente (500lx ≤ E ≤ 3000lx), como também já era esperado, a janela apresenta o melhor desempenho. Porém, de modo geral, todos os modelos zenitais em todas as orientações acarretam reduções que chegam a quase 40% em relação a abertura lateral no qual a orientação Sul apresenta os piores resultados, além disso constatou-se que o MS45 é o que apresenta o pior desempenho (Figura 2).

Para a faixa de iluminância suficiente com necessidade de iluminação complementar (100lx ≤ E ≤ 500lx), bem como para a faixa de iluminância insuficiente (E ≤ 100lx), os modelos zenitais apresentam quedas expressivas no desempenho, com o aumento dos percentuais, onde também a orientação Sul apresenta os piores resultados (Figura 2).

Desta forma, apesar do potencial das aberturas zenitais em reduzir a iluminância excessiva, os modelos com *shed* terão maior demanda por iluminação artificial. Assim, ao substituir uma abertura lateral por zenital do tipo *shed*, há uma queda no desempenho lumínico do ambiente, no qual a abertura zenital não garante o mesmo desempenho de uma abertura lateral. Nesse sentido, destaca-se o MS30, que representa o limite de área mínima do Código de Obras de Vitória - ES (1998) e que só oferta cerca de 1/30, 1/5, 1/8 e 1/8 do percentual de iluminância suficiente da janela para a orientação Sul, Norte, Leste e Oeste respectivamente. Este resultado corrobora com o já apontado por Albuquerque e Amorim (2012), que destacam uma abordagem insatisfatória nos parâmetros estabelecidos por códigos de obras.

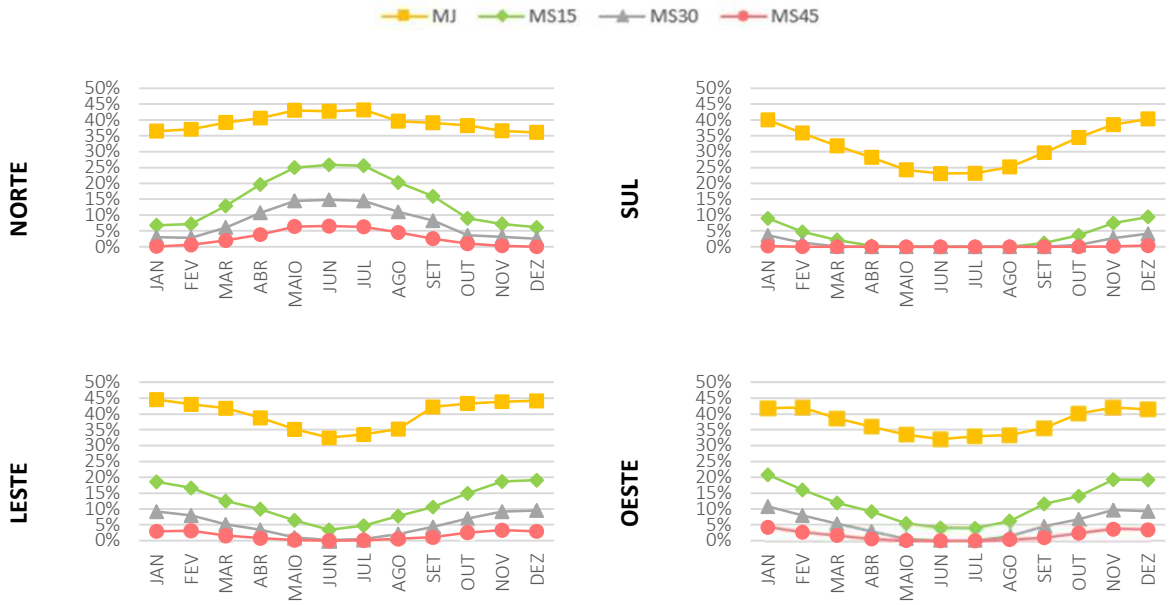
Figura 2: Intervalos anuais de IULN dos quatro modelos para as orientações (N, S, L e O).



Fonte: Autoras (2024, p. 8).

Os percentuais mensais de IULN foram analisados somente na faixa de iluminância suficiente (500lx ≤ E ≤ 3000lx) (Figura 3). Para Norte, nos meses de maior altura solar (outubro a fevereiro) apesar de ter sido observada uma semelhança nos resultados nos modelos de *shed*, constatou-se que à medida que se aumenta a área envidraçada zenital nota-se que os modelos têm uma elevação dos percentuais nesta faixa de valores nos meses de menor altura solar (março a setembro), chegando a uma diferença de quase 20% entre o melhor e o pior desempenho, respectivamente MS15 e MS45. Já para Sul os modelos de *shed* não apresentam diferenças percentuais relevantes entre eles, ocorrendo apenas para o MS15 percentuais máximos em torno de 9% nos meses de novembro, dezembro e janeiro. Para Leste e Oeste, o aumento das diferenças percentuais é evidente nos meses de outubro a março, chegando a cerca de 16% entre o maior e o menor valor. Estes resultados são decorrentes da trajetória solar da localidade, a qual permite maior acesso da incidência solar direta para Norte entre março a setembro, e no que se refere a Sul entre outubro a fevereiro. No caso de Leste e Oeste, os percentuais estão concentrados no período da manhã (para Leste) e tarde (para Oeste), como pode ser observado nas médias mensais de iluminância (Figuras 5 e 6).

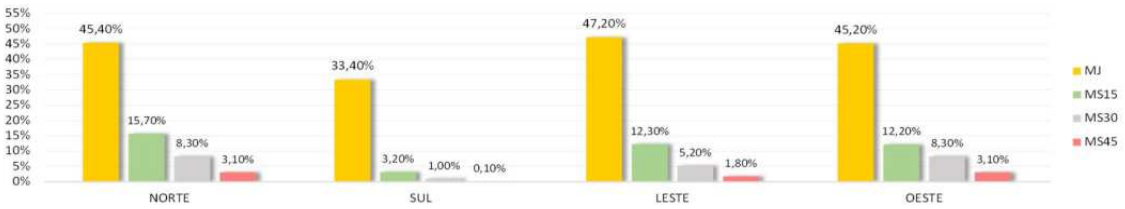
Figura 3: Percentuais mensais de IULN na faixa de iluminância suficiente (500lx ≤ E ≤ 3000lx).



Fonte: Autoras (2024, p. 9).

Em relação a ALN (Figura 4), todos os modelos apresentam percentuais insuficientes, de acordo com a norma internacional IES LM-83-12 (Illuminating Engineering Society of North America, 2012). Apesar do melhor desempenho da janela é importante lembrar do ganho de iluminância excessiva proveniente dela, o qual conduzirá o usuário a fazer o uso de elementos controladores (cortinas e persianas, por exemplo). Para Norte, Leste e Oeste, a escolha pelo MS15 garante percentuais que chegam a quase 16%, porém para Sul pode-se afirmar que os modelos zenitais, independente da área de abertura, apresentam resultados similares e insignificantes.

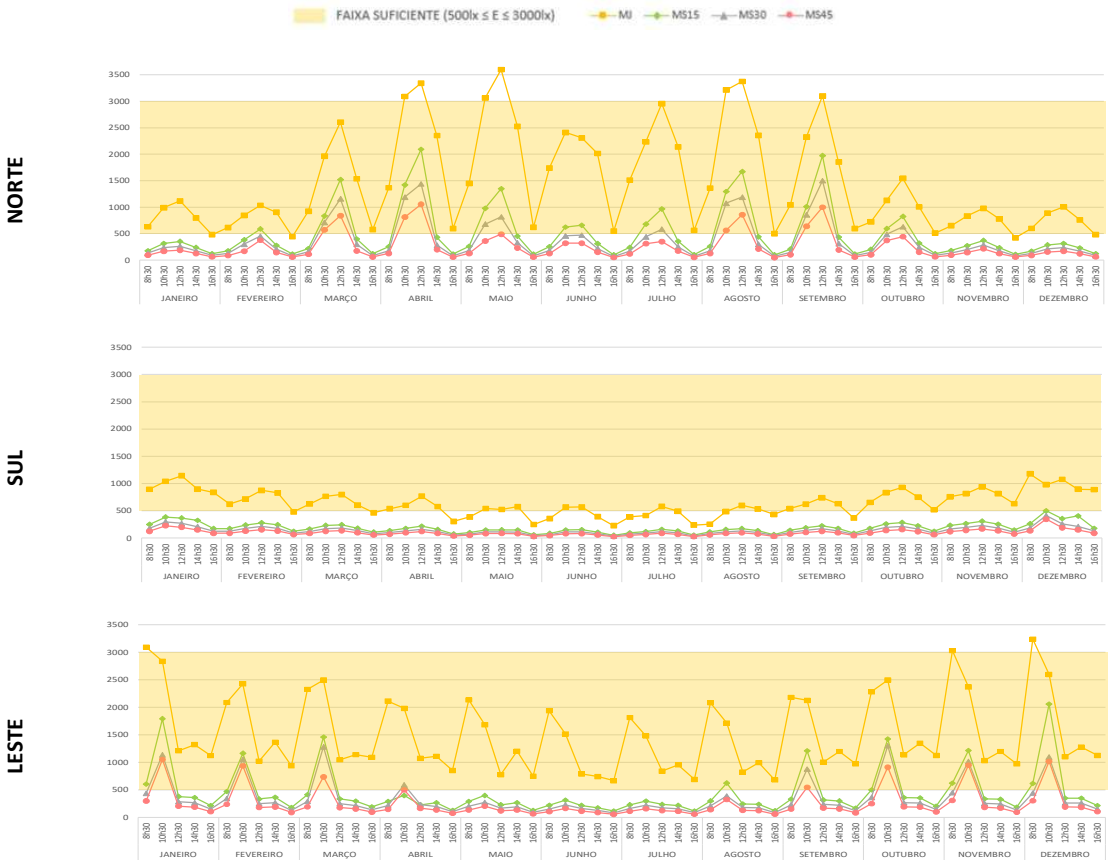
Figura 4: Percentuais de ALN dos quatro modelos de abertura para todas as orientações (N, S, L e O).



Fonte: Autoras (2024, p. 10).

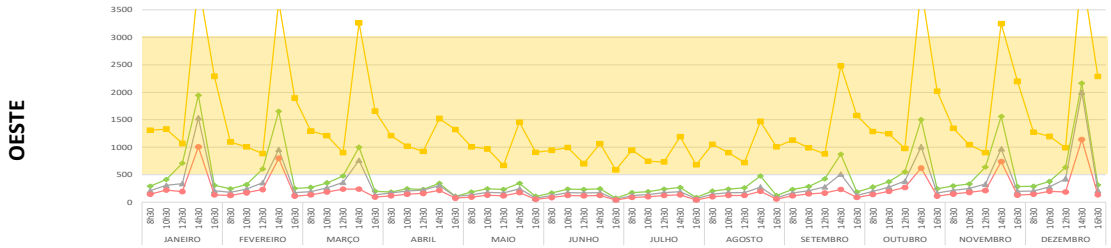
Para a Iluminância Média Mensal, somente para a orientação Sul (Figura 5) a abertura lateral nos horários de 8h30 e/ou 16h30 não atinge 500lx, já os modelos de abertura zenital não conseguem suprir este valor em nenhum dos horários investigados. Para Norte (Figura 5), entre fevereiro e outubro, é possível observar o potencial dos *sheds* em atingir o valor de 500lx, no qual o MS15 possui melhor desempenho com relação aos demais modelos zenitais, no qual este desempenho se eleva à medida que se aproxima do horário das 12h30. Para Leste (Figura 5) e Oeste (Figura 6), os modelos zenitais alcançam o valor de 500lx em pouco mais da metade dos meses do ano (de setembro a março), para Leste, no horário próximo as 10h30 e para Oeste, próximo as 14h30.

Figura 5: Iluminância Média Mensal – Global (lx), Norte, Sul e Leste.



Fonte: Autoras (2024, p. 10).

Figura 6: Iluminância Média Mensal – Global (lx), Oeste.



Fonte: Autoras (2024, p. 11).

Conclusão

O objetivo deste estudo foi analisar o desempenho lumínico de aberturas zenitais do tipo *shed* a partir das premissas dispostas no Código (Vitória, 1998). Como principais resultados, no que se refere a IULN, destaca-se o desempenho negativo do MS30, modelo que representa o limite de área mínima do Código de Obras de Vitória - ES. Este modelo só oferta cerca de 1/30, 1/5, 1/8 e 1/8 do percentual de iluminância suficiente do MJ para as orientações Sul, Norte, Leste e Oeste respectivamente. O modelo MS15 (redução de 15% da área do MJ) apresenta o melhor desempenho dentre os *sheds*, no qual para Norte observa-se a melhor performance e para Sul um desempenho levemente superior aos demais *sheds*. Já para a ALN, todos os modelos apresentam percentuais insuficientes, destaca-se que para Norte, Leste e Oeste, a escolha pelo MS15 garante percentuais que chegam a quase 16%; para Sul todos os modelos de *shed* apresentam resultados insignificantes. Em relação a Iluminância Média Mensal, para Sul, os modelos zenitais não atingem o valor mínimo de 500lx; para Norte, entre fevereiro e outubro, observa-se o potencial dos *sheds* em atingir o valor de 500lx, no qual o MS15 possui melhor desempenho dentre os modelos. Para Leste e Oeste, os *sheds* alcançam o valor de 500lx em pouco mais da metade dos meses do ano (de setembro a março), ora pela manhã, ora pela tarde.

Conclui-se que ao substituir uma janela por uma abertura zenital do tipo *shed* não será garantido o mesmo desempenho lumínico de uma abertura lateral. Pode-se afirmar que apesar do potencial das aberturas zenitais em reduzir a iluminância excessiva, os modelos com *shed* acarretam maior demanda do ambiente por iluminação artificial, ademais há uma influência da orientação da abertura zenital no ganho de luminosidade. Assim, a pesquisa amplia a discussão sobre as premissas dos códigos ao destacar a performance lumínica do ambiente com base na

recomendação desse documento, o qual não considera variáveis que afetam o desempenho lumínico, como: a tipologia e a orientação das aberturas e as características da geometria solar da região. Os resultados obtidos se restringem a quantificar a iluminância e a análise temporal de sua ocorrência. Ressalta-se que esta pesquisa é exploratória e aplicável apenas ao ambiente específico estudado e que outras tipologias de abertura zenital podem apresentar novos resultados. Pesquisas futuras investigarão o comportamento e a distribuição da luz no ambiente.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (Fapes).

Referências

ACOSTA, I.; NAVARRO, J.; SENDRA, J. J.; ESQUIVIAS, P. Daylighting design with lightscoop skylights: Towards an optimization of proportion and spacing under overcast sky conditions. **Energy and Buildings**, v. 49, p. 394–401, jun. 2012.

ALBUQUERQUE, M. S. C. de; AMORIM, C. N. D. Iluminação natural: indicações de profundidade-limite de ambientes para iluminação natural no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais –RTQ-R. **Ambiente Construído**, *[S. l.],* v. 12, n. 2, p. 37–57, 2012.

AMORIM, C. N. D. Diagrama morfológico Parte I: instrumento de análise e projeto ambiental com uso de luz natural. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, Brasília, n. 3, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO -CIE 8995: Iluminação em Ambientes de Trabalho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS. **SN 418911: eclairage intérieur par la lumière du jour.** Zurich, 1989.

BECK, L. M.; ZOCCOLI, A.; FRANÇA, A. B.; PEREIRA, F. O. R.; FONSECA, R. W da. Estudo das medidas dinâmicas de desempenho da luz natural frente às preferencias dos usuários. In:

ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

CABÚS, R. C.; RIBEIRO, P. V. S.; BASTOS, O. M. K.; SILVA, L. F. **TropLux 8**. Universidade Federal de Alagoas, Instituto Lumeeiro. BR512020002087-9. Criação: 10 set. 2019. Registro: 06 out. 2020.

CASTRO, G. N. de; LEDER, S. M.; SILVA, L. B. da; SOUZA, E. L. de. Componentes de condução da luz natural em edifícios multifamiliares: análise de um código de obras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 25-45, abr./jun. 2015.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. **LM-83-12: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)**. New York, 2012.

MARDALJEVIC, John. The implementation of natural lighting for human health from a planning perspective. **Lighting Research & Technology**, v. 53, n. 5, p. 489-513, 2021.

MAPELLI, Y. R.; LARANJA, A. C.; ALVAREZ, C. E. de. Avaliação de desempenho entre as tipologias de aberturas zenital e lateral no quesito iluminação natural de ambientes internos. **Cadernos Proarq**, v. 31, p. 83-99, 2018.

MAYHOUB, M. S.; RABBOH, E. H. Daylighting in shopping malls: Customer's perception, preference, and satisfaction. **Energy and Buildings**, v. 255, p. 111691, jan. 2022.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. **Lighting Research & Technology**, v. 37, n. 1, p. 41-57, 2005.

PARK, J.; LOFTNESS, V.; AZIZ, A.; WANG, T. Strategies to achieve optimum visual quality for maximum occupant satisfaction: Field study findings in office buildings. **Building and Environment**, v. 195, n. 107458, 2021. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107458

REINHART, C.; WALKENHORST, O. Validation of Dynamic RADIANCE-Based Daylight Simulations for a Test Office With external BLINDS. **Energy and Buildings**, v. 33, n. 1, p. 683-697, 2001.

SCHMIDLIN, F.; SILVA, F. T. Avaliação do desempenho de aberturas zenitais quanto à radiação solar e iluminação natural em espaços internos usando a modelagem paramétrica e a simulação numérica. **Gestão & Tecnologia de Projetos**. São Carlos, v.18, n.3, 2023.

VITÓRIA. Lei n°. 4821, de 30 de dezembro de 1998. **Código de Edificações do Município de Vitória**. Vitória, 1998.