ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Desempenho Luminoso de ambiente interno a partir de diferentes dimensões de lightscoops

Luminous performance of indoor environments using different lightscoop dimensions

Moisés Alves Dos Anjos
Universidade Federal Do Espírito Santo | Cariacica | Brasil | moises.anjos@edu.ufes.br
Andréa Coelho Laranja
Universidade Federal Do Espírito Santo | Vitória | Brasil | andrea.laranja@ufes.com

Resumo

Aberturas zenitais tipo lightscoops podem contribuir na performance luminosa de ambientes em clima tropical úmido, com benefícios psicológicos, fisiológicos e aumento da produtividade. A pesquisa tem como objetivo investigar o desempenho luminoso de ambiente interno a partir da variação das dimensões de abertura zenital tipo lightscoops, em Vitória – ES. A metodologia abrange simulações no software Troplux 8, céu dinâmico, aberturas orientadas para Norte e Sul, das 8h30 às 16h30, todos os dias do ano. O ambiente simulado possui lightscoops na proporção de 4/3, altura e comprimento, de 5m² de área envidraçada definindo três modelos, M1, M2 e M3. As lightscoops possuem as dimensões, 2,0m x 1,5m x 2,5m; 3,0m x 2,25m x 2,5m e 4,0m x 3,0m x 2,5m, correspondendo à altura, comprimento e largura, respectivamente para M1, M2 e M3. As métricas foram os intervalos da IULN (Iluminância Útil de Luz Natural) e a ALN (Autonomia de Luz Natural). O modelo M1, para ambas as orientações, apresentou o melhor desempenho ampliando o percentual do intervalo suficiente de iluminação em cerca de 20% com relação ao modelo de pior performance, além de apresentar performance 30% superior com relação a ALN.

Palavras-chave: Abertura Zenital. Iluminação natural. Lightscoops. Simulação computacional.

Abstract

Lightscoops can contribute to the lighting performance of environments in humid tropical climates, with psychological and physiological benefits and increased productivity. The aim of this research is to investigate the luminous performance of indoor environments by varying the dimensions of lightscoops in Vitória - ES. The methodology includes simulations using the

Como citar:
ANJOS, M. A.; LARANJA, A. C. Desempenho Luminoso de ambiente interno a partir de diferentes dimensões de lightscoops. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Troplux 8 software, dynamic skies, openings facing north and south, from 8:30 a.m. to 4:30 p.m., every day of the year. The simulated environment has lightscoops in the proportion of 4/3, height and length, of 5m² of glazed area defining three models, M1, M2 and M3. The lightscoops have the following dimensions: 2.0m x 1.5m x 2.5m; 3.0m x 2.25m x 2.5m and 4.0m x 3.0m x 2.5m, corresponding to height, length and width, respectively for M1, M2 and M3. The metrics were the IULN (Useful Illuminance of Natural Light) and ALN (Autonomy of Natural Light) ranges. Model M1, for both orientations, showed the best performance, increasing the percentage of the sufficient lighting interval by around 20% compared to the worst performing model, as well as showing 30% better performance in relation to ALN.

Keywords: Zenithal opening. Daylighting. Lightscoops. Computer simulation.

INTRODUÇÃO

A iluminação natural possibilita a realização das tarefas e aumento do desempenho energético das edificações, com benefícios psicológicos e fisiológicos para o ser humano. Emmanuel (2020) [1] cita benefícios da luz natural na prevenção e controle de infecções, com inibição da sobrevivência e transmissão de vírus e bactérias além da melhoria na saúde dos usuários. Park *et al*. (2021) [2] alertam para redução da satisfação e produtividade em ambientes sem contato com a luz natural.

O envoltório das edificações que são contemplados com aberturas laterais e por vezes zenitais, deve permitir o acesso adequado de iluminação natural, sem incorrer, porém, em excessos nem situações com baixos níveis lumínicos. Nesse sentido, inúmeras são as pesquisas que investigam a performance lumínica do ambiente a partir das aberturas zenitais. Lima *et al* (2011) [3] apresentam benefícios da abertura zenital com relação à economia de energia com iluminação artificial. Mapelli *et al* (2018) [4] apontam aquisição de níveis mais adequados de iluminância, aumento da uniformidade e menores contrastes lumínicos em aberturas caracterizadas por lanternim. Acosta *et al* (2012) [5] acrescentam que ambientes em condição de céu nublado tiveram uma melhor performance na iluminação a partir de abertura zenitais com proporções próximas a 4/3, relação de altura/largura da abertura zenital, independente das dimensões do ambiente.

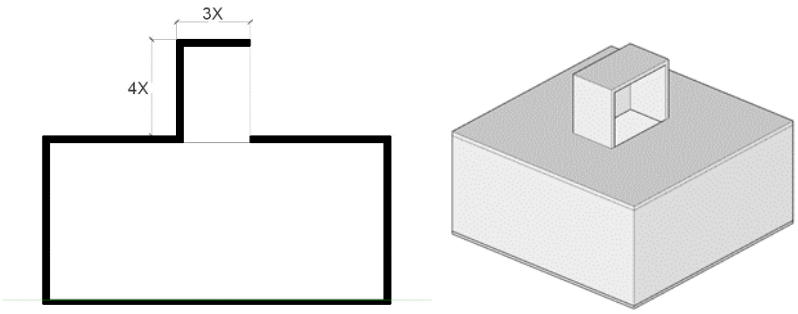
Assim essa pesquisa quer responder qual é o desempenho luminoso do ambiente interno a partir da inserção de aberturas zenitais tipo lightscoops em Vitória-ES, localidade de clima quente-úmido, utilizando-se para isto a proporção de 4/3 em diferentes dimensões.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia compreendeu duas etapas: a) definição do modelo utilizado como objeto de análise; b) simulações computacionais. O modelo arquitetônico baseou-se em sala de aula padrão da Prefeitura de Vitória - ES, conforme as unidades mais recentes Escolas Municipais de Ensino Fundamental (EMEF) em especifico a escola “Alvimar Silva” no bairro Santo Antônio, Vitória - ES. Trata-se de ambiente com 7,50 m de largura por 7,50 m de comprimento e 3,50 m de pé direito e área de 56,25 m², e

janela com área de vidro de 7m². A partir do modelo base foi inserida abertura zenital tipo lightscoops, composta de fechamento transparente na vertical (Figura 1).

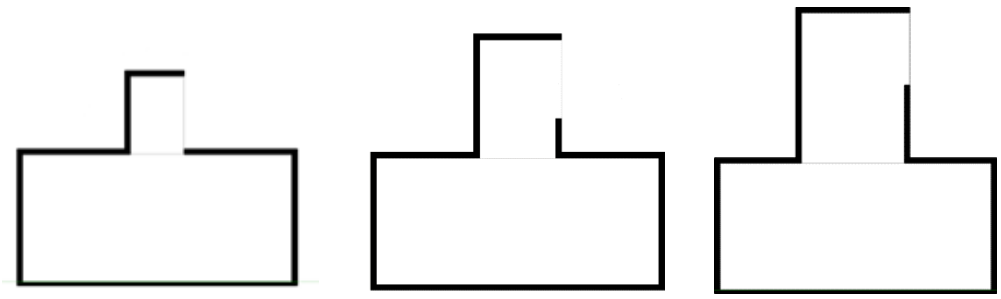
Figura 1: Corte (à esquerda) e isometria externa do ambiente simulado com a lightscoops, sem escala (à direita).



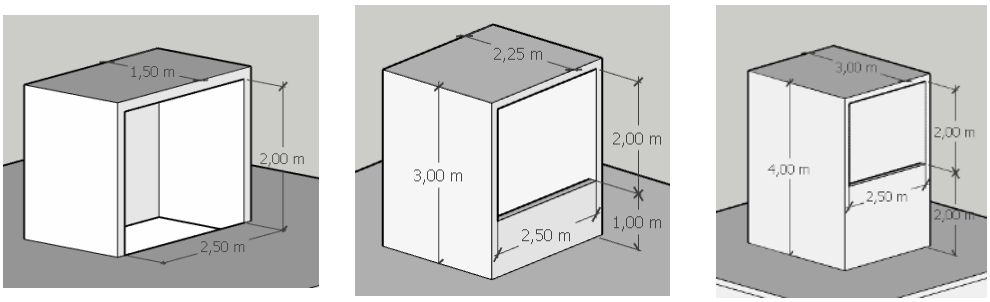
Fonte: Produção do autor (2023)

Nas simulações foi desconsiderada a abertura lateral adotando-se apenas uma área de vidro de 5m² na abertura zenital de acordo com o preconizado pelo Código de Obras de Vitória o qual permite que estas aberturas zenitais possam ter sua área envidraçada reduzida em até 30% comparadas à abertura lateral. Também foram adotados os resultados já observados por Acosta *et al* (2012) [5] o qual destacaram a melhor performance da lightscoops quando esta apresenta uma relação de altura/largura igual a 4/3. Sendo assim os modelos apresentam lightscoops na proporção 4/3 sendo M1 o primeiro modelo com lightscoops de 2 m de altura; 1,5 m de comprimento e 2,5 m de largura. O segundo modelo é o M2 que se caracteriza por 3 m de altura; 2,25 m de comprimento e 2,5 m largura. O terceiro modelo é o M3 que se caracteriza por 4 metros de altura; 3 metros de comprimento e 2,5 m largura (Figura 2).

Figura 2: Cortes e detalhes do modelo M1 (à esquerda); M2 (ao centro) e M3 (à direita), sem escala.



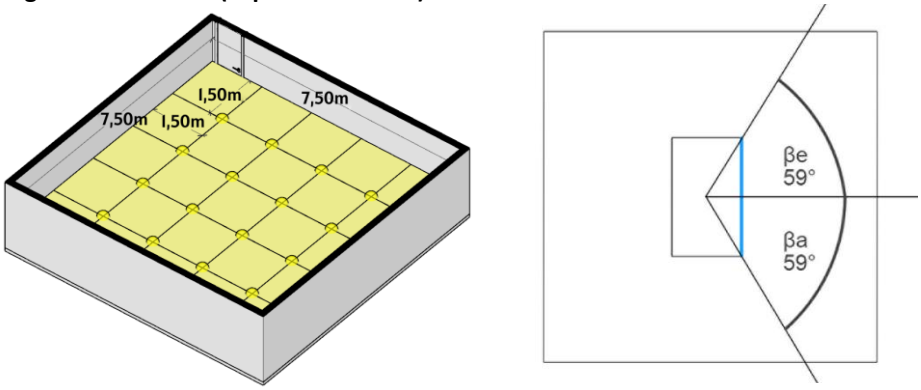
M1 M2 M3



Fonte: Produção do autor (2023)

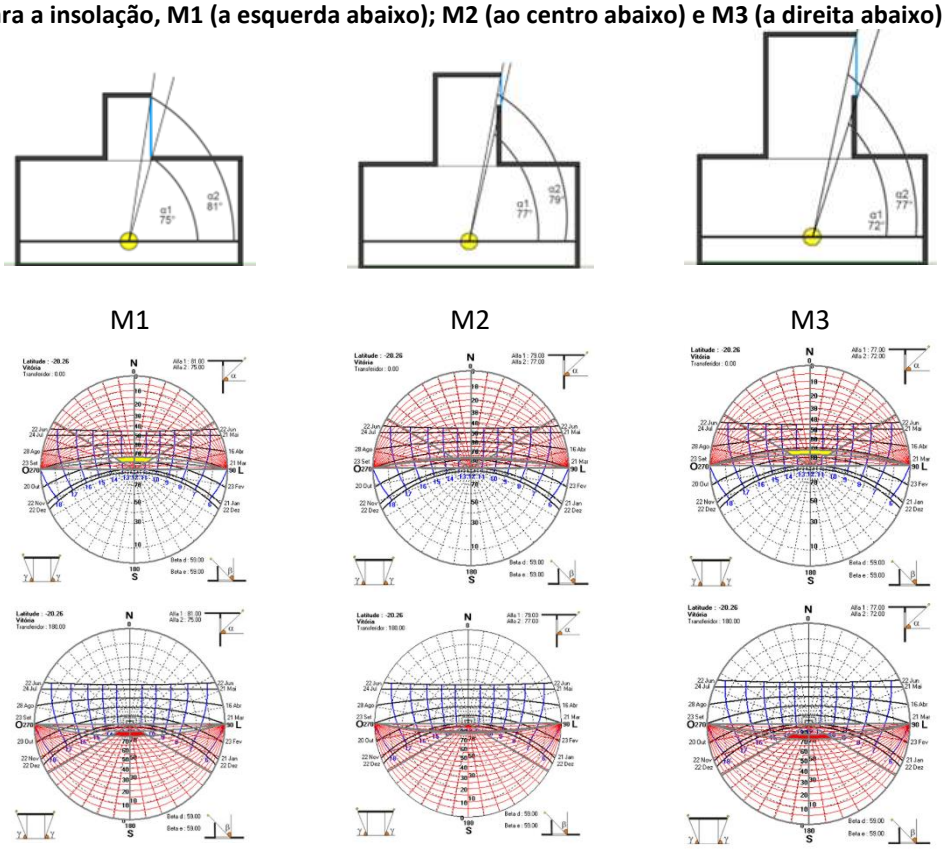
As simulações ocorreram das 8h30 às 16h30 para todos os dias do ano, adotando-se o céu dinâmico de Vitória, que se baseia nos dados meteorológicos da cidade. Os pontos de medição de iluminância estão localizados em uma malha ortogonal no ambiente interno, em um plano de trabalho a 0,75 m do piso interno como recomendado pela ABNT (2005) [6] (Figura 3). Nas simulações as aberturas estão orientadas para Norte e Sul, onde se apresenta a análise da geometria solar para cada um dos modelos a partir de um ponto de análise central ao ambiente (Figura 4).

Figura 3: Isometria do ambiente com malha de pontos para obtenção dos dados de iluminância (superior à esquerda); Vista superior com identificação de ponto central e ângulos horizontais (superior à direita).



Fonte: Produção do autor (2024)

Figura 4: Corte com identificação de ponto central e ângulos verticais, M1 (a esquerda); M2 (ao centro) e M3 (a direita); e estudo da geometria solar com destaque em amarelo para a insolação, M1 (a esquerda abaixo); M2 (ao centro abaixo) e M3 (a direita abaixo).



Fonte: Produção do autor (2024)

Foram adotadas as refletâncias internas baseadas na NBR ISO - CIE 8995 (2013) [7]. A seguir apresentam-se as refletâncias das superfícies internas do ambiente e da superfície do lightscoops (Tabela 1).

Tabela 1: Refletâncias utilizadas nas superfícies do modelo.

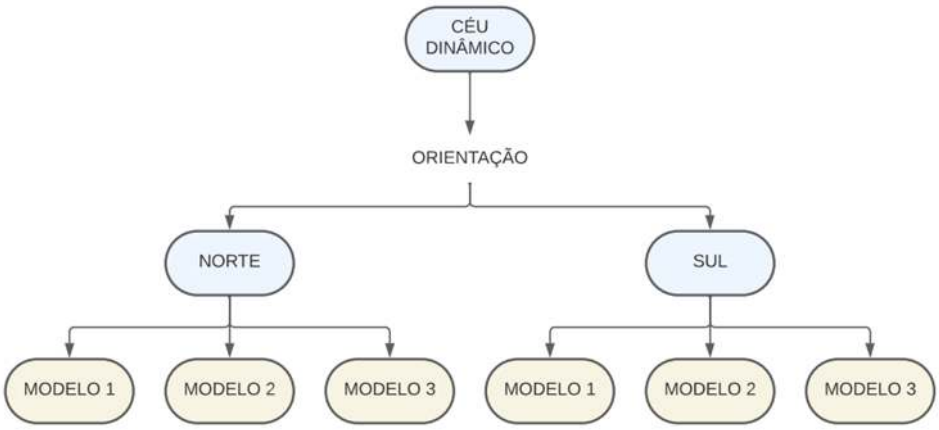
	SUPERFICIE INTERNA DO AMBIENTE			SUPERFICIE LIGHTSCOOPS	
REFLETÂNCIA	TETO	PAREDE	PISO	INTERNO	EXTERNO
	0,9	0,6	0,2	0,9	0,5

Fonte: Produção do autor (2023)

As simulações ocorreram no do software TropLux (CABÚS *et al*, 2019) [8] onde foram investigados os valores de iluminância em função das métricas IULN (Iluminância Útil de Luz Natural), proposta por Mardaljevic et al (2011) [9] e ALN (Autonomia de Luz Natural). Para a IULN foram os seguintes intervalos analisados: 0-100 lx (intervalo de iluminação insuficiente); 100-300 lx (intervalo de iluminação suficiente com

necessidade de iluminação complementar); 300-3000 lx (intervalo de iluminação suficiente); >3000 lx (intervalo excessivo). Para a ALN considerou-se como insuficientes percentuais <55%; aceitável ≥55%; preferível ≥75%, tendo como referência o valor de 500lux, para espaço de leitura, como indicado pela NBR ISO - CIE 8995 (2013) [7]. O organograma apresenta os três modelos simulados, associando-os ao céu dinâmico e as orientações adotadas (Figura 5).

Figura 5: Organograma.

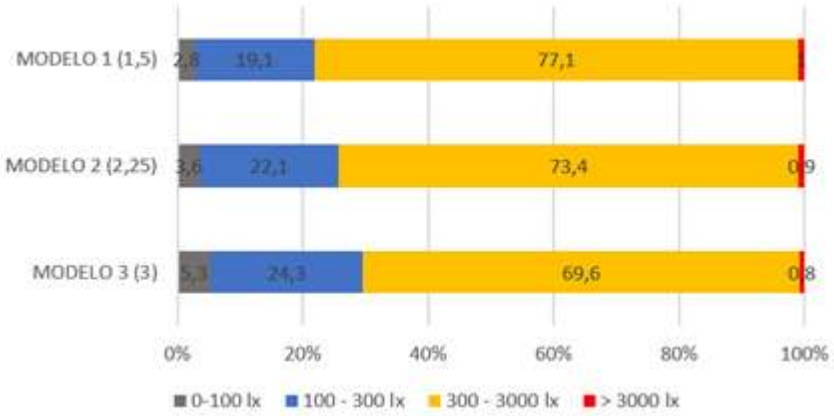


Fonte: Produção do autor (2023)

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para a orientação Norte, é possível observar que os modelos apresentam percentuais insignificantes de iluminação excessiva (>3000 lux), podendo-se afirmar que a abertura zenital lightscoops, ao garantir a redução deste percentual de iluminação contribui na mitigação do ofuscamento e contrastes visuais na sala de aula, aprimorando o conforto visual do usuário (Gráfico 1 e 2).

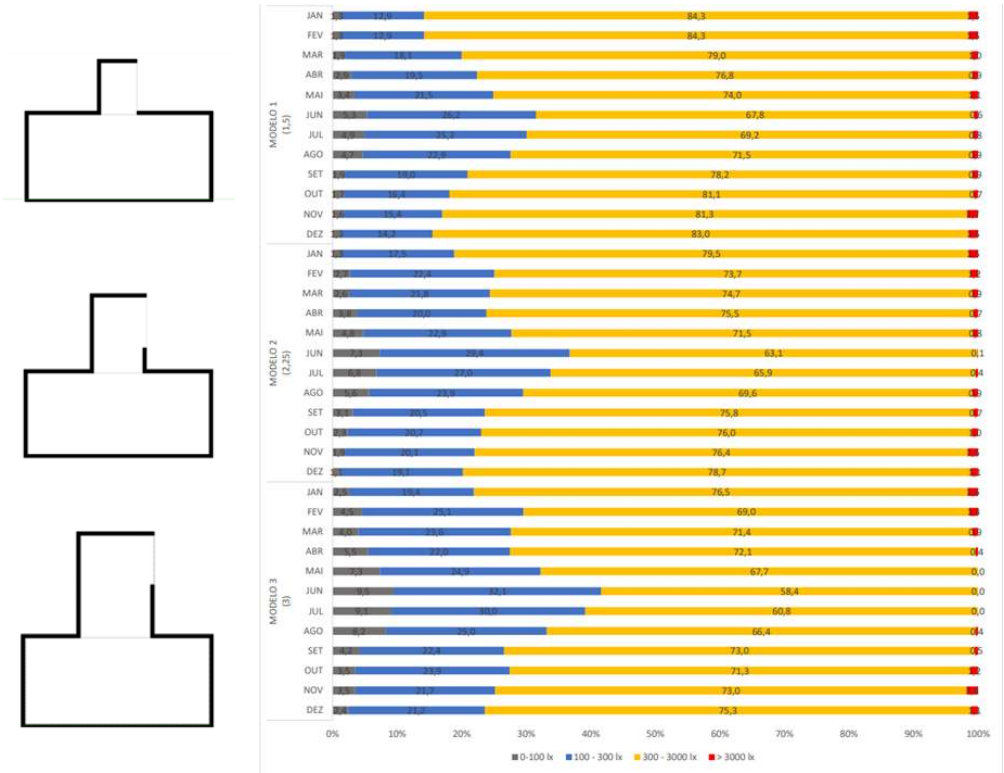
Gráfico 1: Percentuais da IULN para Norte.



Fonte: Produção do autor (2023)

Em relação ao intervalo de iluminação suficiente (300-3000 lux), verificam-se que todos os modelos apresentam percentuais superiores a 50% ao longo de todos os meses do ano havendo, porém, uma redução no desempenho de todos os modelos nos meses de menor altura solar (maio, junho, julho e agosto) (Gráfico 2). Observa-se também que o M1 é o de melhor desempenho com percentuais que chegam a 22% a mais do que o de pior performance (Tabela 2) e (Gráfico 3).

Gráfico 2: Percentuais da IULN mensal para Norte.



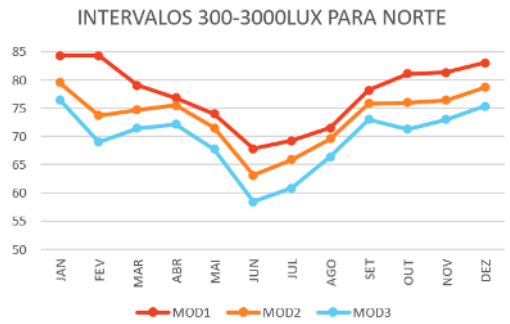
Fonte: Produção do autor (2023)

Tabela 2: Tabela com intervalo suficiente (300-3000 lux) e diferença percentual entre o maior e menor valor.

INTERVALOS 300 - 3000LUX DA IULN NORTE DIFERENÇA PERCENTUAL				
MÊS	MOD1	MOD2	MOD3	DIF %
JAN	84,3	79,5	76,5	10,2
FEV	84,3	73,7	69,0	22,2
MAR	79,0	74,7	71,4	10,6
ABR	76,8	75,5	72,1	6,5
MAI	74,0	71,5	67,7	9,3
JUN	67,8	63,1	58,4	16,1
JUL	69,2	65,9	60,8	13,8
AGO	71,5	69,6	66,4	7,7
SET	78,2	75,8	73,0	7,1
OUT	81,1	76,0	71,3	13,7
NOV	81,3	76,4	73,0	11,4
DEZ	83,0	78,7	75,3	10,2

Fonte: Produção do próprio autor (2024)

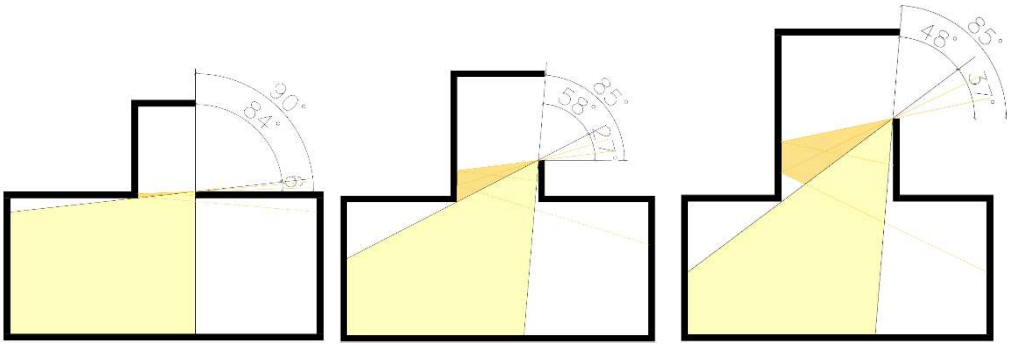
Gráfico 3: Gráfico do intervalo suficiente. Orientação NORTE.



Fonte: Produção do próprio autor (2024)

É possível constatar duas situações que provavelmente contribuem no aumento potencial da iluminação do ambiente interno no modelo M1: a) há uma maior área de superfície interna de parede acessada pela luz, o que pode colaborar na reflexão da luz para o ambiente interno; b) o maior ângulo vertical de abertura permite maior acesso da luz direta (Figura 6).

Figura 6: Corte esquemático do acesso da radiação solar dos modelos M1 (a esquerda); M2 (ao centro) e M3 (a direita).

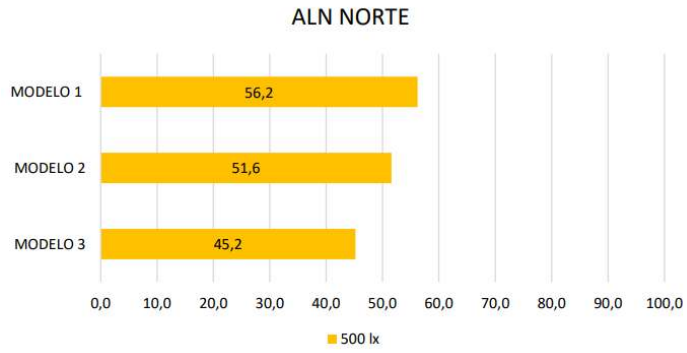


Fonte: Produção do próprio autor (2024)

No que se refere ao intervalo suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar (100-300 lux), bem como no intervalo insuficiente (0-100 lux), é possível observar que o M3 apresenta a pior performance em todos os meses do ano, com maior demanda por energia elétrica, ao contrário do modelo M1 que apresenta a melhor performance.

De acordo com ALN observa-se que cerca de 50% do percentual consegue manter o mínimo de 500lux, de acordo como indicado pela NBR ISO - CIE 8995 (2013) [7]. Observa-se que o resultado do M1 pode ser considerado “neutro” e do restante “insuficiente” podendo-se afirmar que os resultados se tornam melhores à medida que o volume do lightscoops reduz (Gráfico 4).

Gráfico 4: Percentuais da ALN anual para Norte.



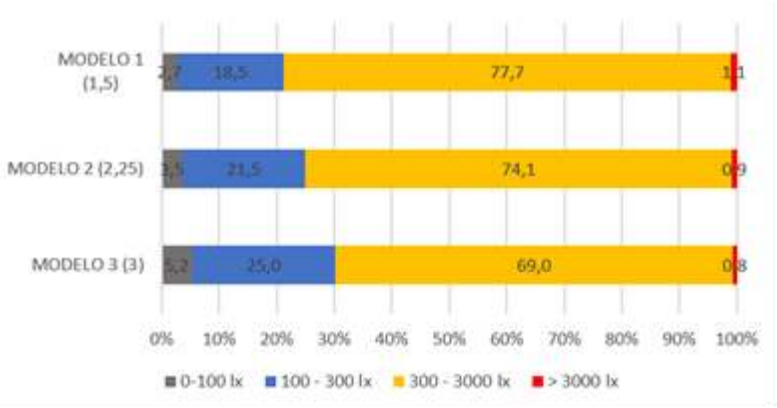
Fonte: Produção do autor (2023)

Para a orientação Sul, é possível observar que, os modelos apresentam percentuais insignificantes de iluminação excessiva (>3000 lux). Assim é possível afirmar que a abertura zenital lightscoops, para os modelos simulados, ao garantir a redução do percentual desta iluminação contribui na mitigação do ofuscamento e contrastes visuais na sala de aula, aprimorando o conforto visual do usuário (Gráficos 5 e 6).

Em relação ao intervalo de iluminação suficiente (300-3000 lux), verificam-se que todos os modelos apresentam percentuais superiores a 50%. Porém o M1 é o de melhor desempenho com percentuais que chegam a 20% a mais do que o de pior performance. Isso também pode ser devido, como já explicado para orientação norte, em função da maior área de superfície interna de parede acessada pela luz, colaborando na reflexão da luz para o ambiente interno, bem como em função do maior ângulo vertical de abertura permitindo maior acesso da iluminação.

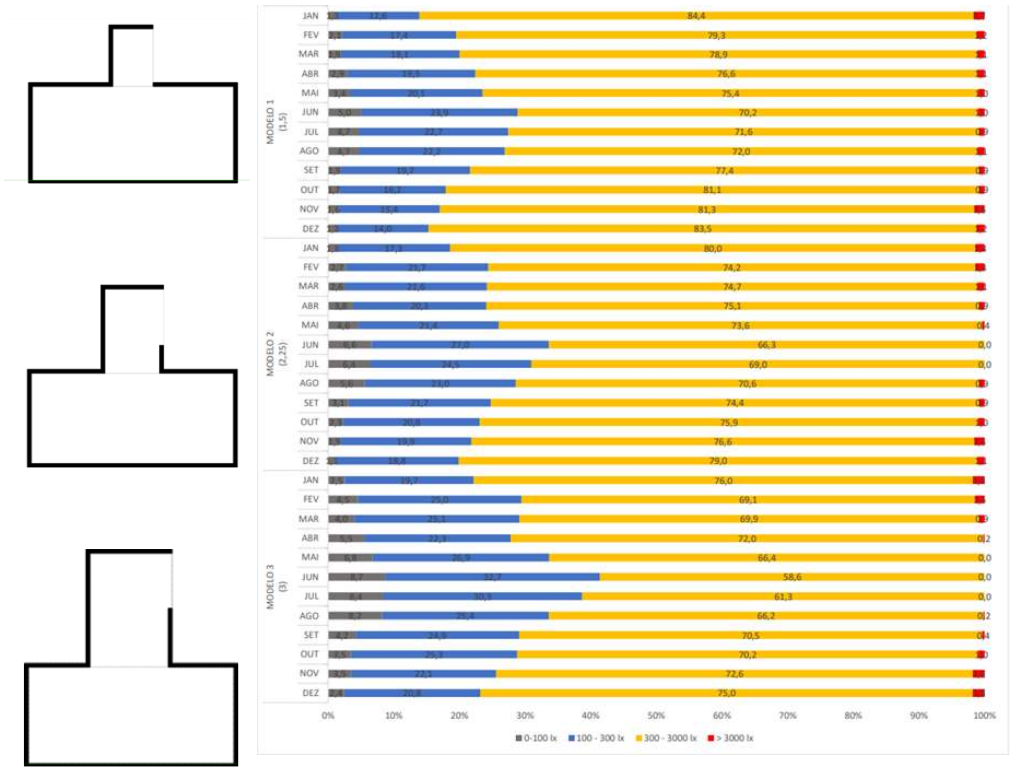
No que se refere o intervalo suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar (100-300 lux), bem como no intervalo insuficiente (0-100 lux), o M3 apresenta a pior performance em todos os meses do ano, com maior demanda por energia elétrica, ao contrário do modelo M1 que apresenta a melhor performance.

Gráfico 5: Percentuais de iluminância anual de acordo com os intervalos da UDI para Sul.



Fonte: Produção do autor (2023)

Gráfico 6: Percentuais de iluminância mensal de acordo com os intervalos da IULN para Sul.



Fonte: Produção do autor (2023)

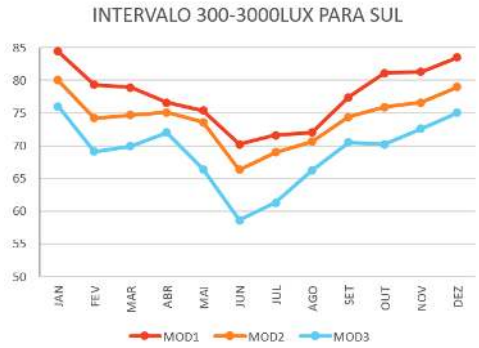
Assim como ocorrido para norte, dentre os modelos com lightscoops, o M1 apresenta a melhor performance ao longo de todos os meses do ano, no qual o percentual de desempenho é de até 19,8% superior ao modelo de pior performance (Tabela 3) e (Gráfico 7).

Tabela 3: Tabela do intervalo suficiente (300-3000 lux) e diferença percentual entre o maior e menor valor.

INTERVALOS 300 - 3000LUX DA IULN SUL DIFERENÇA PERCENTUAL				
MÊS	MOD1	MOD2	MOD3	DIF %
JAN	84,4	80,0	76,0	11,1
FEV	79,3	74,2	69,1	14,8
MAR	78,9	74,7	69,9	12,9
ABR	76,6	75,1	72,0	6,4
MAI	75,4	73,6	66,4	13,6
JUN	70,2	66,3	58,6	19,8
JUL	71,6	69,0	61,3	16,8
AGO	72,0	70,6	66,2	8,8
SET	77,4	74,4	70,5	9,8
OUT	81,1	75,9	70,2	15,5
NOV	81,3	76,6	72,6	12,0
DEZ	83,5	79,0	75,0	11,3

Fonte: Produção do próprio autor (2024)

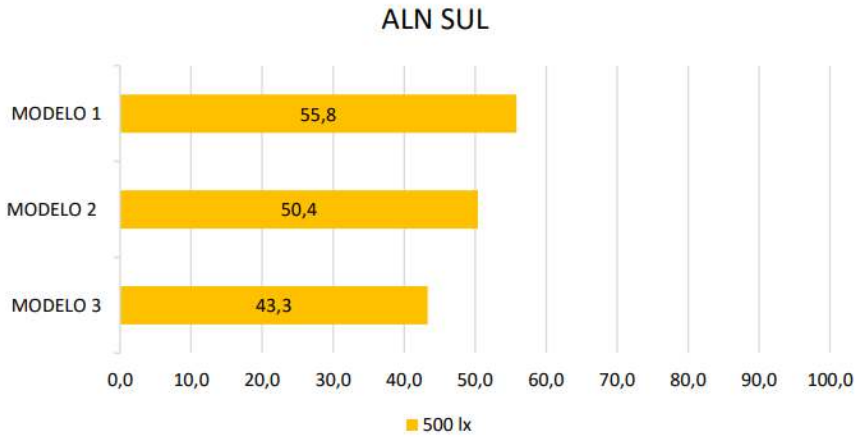
Gráfico 7: Gráfico do intervalo suficiente. Orientação SUL.



Fonte: Produção do próprio autor (2024)

De acordo com a ALN observa-se que cerca de 50% do percentual consegue manter o mínimo de 500lux, de acordo como o indicado pela NBR ISO - CIE 8995 (2013) [7]. Observa-se que o resultado do M1 pode ser considerado “neutro” e do restante “insuficiente” no qual os resultados se tornam melhores, assim como na orientação norte, à medida que o volume do lightscoops reduz (Gráfico 8).

Gráfico 8: Percentuais da ALN anual para Sul.



Fonte: Produção do autor (2023)

CONCLUSÕES

A pesquisa apresenta uma investigação de aberturas zenitais denominadas lightscoops orientadas para Norte e Sul por intermédio de simulações em ambiente escolar em condições de céu dinâmico de Vitória-ES. O intuito é identificar a performance lumínica de um ambiente provido de lightscoops sob diferentes dimensões, respeitando,

porém, a mesma proporção, em localidade com características de clima tropical úmido.

Como principais resultados pode-se concluir que em relação aos diferentes modelos de iluminação zenital lightscoops, o modelo M1 demonstrou consistentemente uma performance superior em termos de iluminação na sala de aula para ambas as orientações, Norte e Sul, com diferenças percentuais 20% superior ao modelo de pior performance. Este desempenho destacado é atribuído à sua capacidade de proporcionar um intervalo de iluminação suficiente, superior aos demais modelos, para a realização das atividades escolares, resultando em maior conforto visual para os usuários. Observa-se, porém, que todos os modelos para ambas as orientações foram capazes de reduzir a iluminação excessiva, mitigando o ofuscamento e os contrastes visuais. A maior eficácia do M1 pode ser atribuída ao seu design que permite uma melhor distribuição da luz natural a partir da reflexão desta luz em maior área de superfície interna de parede, especialmente evidenciada pelo maior ângulo vertical de abertura.

Por outro lado, para ambas as orientações Norte e Sul, o modelo M3 demonstrou consistentemente a pior performance, apresentando maior demanda por energia elétrica e uma queda significativa de desempenho nos meses de menor altura solar. Esses resultados reforçam a importância do design adequado das instalações de iluminação zenital, onde a otimização do volume da lightscoops pode desempenhar um papel crucial na obtenção de níveis ideais de iluminação e eficiência energética.

No que se refere a ALN, em ambas as orientações, o M1 é o de melhor performance confirmando que os resultados lumínicos se tornam melhores à medida que o volume do lightscoops se reduz.

Os resultados deste estudo indicam a viabilidade da lightscoops em ambientes de ensino no qual destaca-se que o modelo M1 é a opção mais viável e eficaz para melhorar as condições de iluminação natural promovendo o bem-estar dos usuários e contribuindo para o aprendizado. Enfatiza-se, também que, apesar da investigação ter suprimido a janela, esta tem papel fundamental no bem estar do usuário, visto seu papel para o acesso da ventilação natural, bem como, para a vista externa, devendo dessa forma sempre compor o ambiente.

Destaca-se que a metodologia aplicada a esta pesquisa foi realizada apenas com três modelos de lightscoops, para duas orientações, em ambiente específico de Vitória, devendo-se levar em consideração que a aplicação dessa metodologia deve observar cada contexto considerando as características climáticas da localidade. Como estudos futuros, pretende-se investigar novas proporções das lightscoops, bem como sua conjugação com dispositivos internos refletores para direcionamento da radiação solar, com vistas a ampliar a performance da iluminação natural no ambiente interno.

AGRADECIMENTOS

Os Autores agradecem à FAPES pela bolsa de Iniciação Científica, que possibilitou a desenvolvimento do estudo, ao Laboratório de Planejamentos e Projetos (LPP) - UFES e ao GRILU (Grupo de Pesquisa em Iluminação) - UFAL pelo suporte.

REFERÊNCIAS

[1] EMMANUEL, Udomiaye; OSONDU, Eze Desy; KALU, Kalu Cheche. Architectural design strategies for infection prevention and control (IPC) in health-care facilities: towards curbing the spread of Covid-19. **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, p. 1-9, 2020.

[2] PARK, Jihyun et al. Strategies to achieve optimum visual quality for maximum occupant satisfaction: Field study findings in office buildings. **Building and Environment**, v. 195, p. 107458, 2021.

[3] LIMA, Ana Beatriz et al. A Influência de Diferentes Aberturas Zenitais na Distribuição da Luz Natural e na Redução do Consumo de Energia Elétrica. **ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 11.

[4] MAPELLI-BASILIO, Yulli R.; LARANJA, Andréa. **Análise de iluminação natural em sala de aula em Vitória-ES**. XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2020.

[5] ACOSTA, Ignacio et al. Daylighting design with lightscoop skylights: Towards an optimization of proportion and spacing under overcast sky conditions. **Energy and Buildings**, v. 49, p. 394-401, 2012.

[6] Associação Brasileira de Normas Técnicas: ABNT NBR 15215-4: **Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações** – Método de medição. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

[7] Associação Brasileira de Normas Técnicas: ABNT ISO/ CIE 8995-1:2013: **Iluminação de ambientes de trabalho** – Parte 1: Interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

[8] CABÚS, Ricardo C.; RIBEIRO, Pedro V. S.; BASTOS, Orestes M. K.; SILVA, Luís F. **TropLux 8**. Titulares: Universidade Federal de Alagoas, Instituto Lumeeiro. BR512020002087-9. Criação: 10/09/2019. Registro: 06/10/2020

[9] MARDALJEVIC, John et al. Daylighting metrics for residential buildings. 2011.