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.v21i1.8456

Desempenho luminoso de ambiente interno a partir do uso de *sheds*

Indoor daylighting performance based on the use of sheds

Matheus de Souza Verdan Bruske
Universidade Federal do Espírito Santo | Vitória - ES | Brasil | msvbruske@gmail.com
Andréa Coelho Laranja
Universidade Federal do Espírito Santo | Vitória - ES | Brasil | andrea.laranja@ufes.br

Resumo

Aberturas zenitais são capazes de garantir melhor aproveitamento da iluminação natural em ambiente interno quando comparadas às aberturas laterais. O objetivo desta pesquisa é comparar o desempenho luminoso de uma sala de aula a partir de aberturas zenitais em diferentes angulações e exposições solares em Vitória-ES. A metodologia compreende simulações computacionais no software TropLux, com medições das 7h00 às 17h00, todos os dias do ano, Céu Dinâmico (DDL) de Vitória-ES. Os modelos são: abertura lateral (AL1); *sheds* simples a 20° (AZ1), 30° (AZ2), 40° (AZ3), 50° (AZ4), 60° (AZ5); *sheds* duplos a 20° (AZ6), 30° (AZ7), 40° (AZ8), 50° (AZ9), 60° (AZ10). Os parâmetros de análise foram: IULN (Iluminância Útil de Luz Natural), ALN (Autonomia de Luz Natural), ALNe (Autonomia de Luz Natural Espacial) e Iluminância Média Mensal. Nos modelos zenitais simples e duplos, a melhor performance ocorre nos de menor inclinação, com queda da performance com o aumento da inclinação. No intervalo "suficiente" de IULN, dentre os modelos simples, o AZ1 apresenta performance 40% superior ao de pior performance. Já entre os duplos, o AZ6 garante performance 25% superior ao modelo de pior performance.

Palavras-chave: Iluminação natural. Abertura zenital. Desempenho luminoso. Shed. Shed duplo.

Abstract

Zenithal openings can ensure better daylighting use in the environment when compared to windows. This research's objective is to compare the luminous performance of a classroom using zenithal openings at different angles and exposures in the city of Vitoria-ES. The methodology includes computer simulations using the software TropLux, with measurements taken from 7:00AM to 5:00PM, all days of the year, Dynamic Sky (DLD) of Vitoria-ES. The models are lateral opening (AL1); one- sided 20° (AZ1), 30° (AZ2), 40° (AZ3), 50° (AZ4), 60° (AZ5) inclined zenithal opening; two-sided 20° (AZ6), 30° (AZ7), 40° (AZ8), 50° (AZ9), 60° (AZ10) inclined zenithal opening. The analysis metrics are: Useful Daylighting Illuminance (UDI), Daylighting Autonomy (DA), Spatial Daylight Autonomy (SDA) and Average Monthly Illuminance. In both single and double-sided zenithal opening models, the best performance was achieved with the lowest inclination models, with performance decreasing as the inclination increases. Within the "sufficient" UDI range, among the single models, AZ1 delivers 40% better performance than the worst model. Among the dual models, AZ6 delivers 25% better performance than the worst model.

Keywords: Daylighting. Zenithal opening. Luminous performance. Shed. Two-sided shed.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8456

INTRODUÇÃO

A iluminação natural, quando adequadamente utilizada, auxilia na regulação do ritmo circadiano, além do comportamento, produtividade e desempenho fisiológico dos indivíduos [1]. Pesquisas acrescentam que a regulação do ritmo circadiano beneficia a saúde e bem-estar e esclarecem que a iluminação natural possui melhor qualidade e benefícios quando comparada à iluminação artificial [2]. Outros trabalhos alertam, porém, que a incidência solar pode causar ofuscamento, afetando o conforto visual [3].

Pesquisas apontam que aberturas zenitais podem apresentar-se como alternativa para o melhor aproveitamento da luz natural. Outros estudos constatam que, para céus parcialmente nublado, encoberto e claro, aberturas zenitais conseguem proporcionar níveis mais satisfatórios de iluminância e uniformidade no ambiente interno [4]. Porém, pesquisas alertam sobre a possível necessidade de controle da insolação, no qual a integração da abertura zenital com prateleiras de luz contribui com a melhora na performance lumínica [5]. Outros estudos apontam que o desempenho da iluminância é influenciado por fatores como as dimensões da abertura de entrada de luz e o tamanho e proporção do ambiente [6]. Para mais, pesquisas em clima quente observaram que aberturas zenitais com posicionamento mais horizontal apresentam melhor desempenho quando comparadas a modelos com posicionamento mais vertical [7][8].

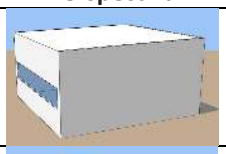
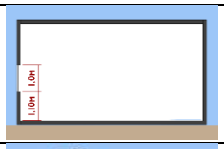
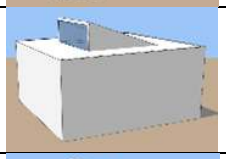
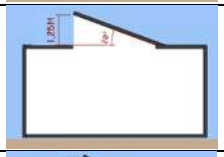
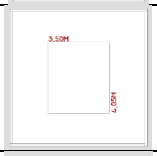
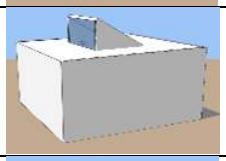
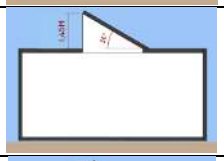
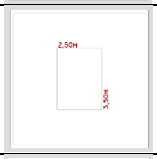
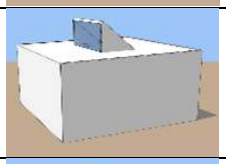
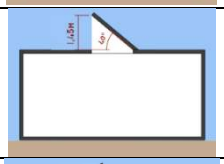
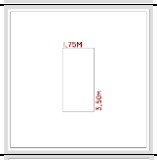
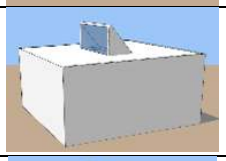
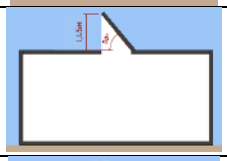
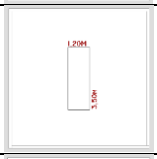
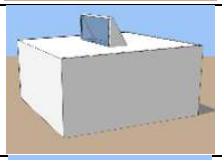
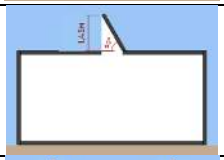
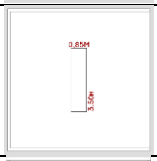
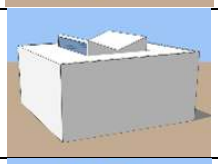
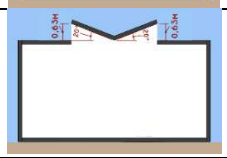
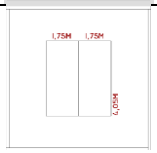
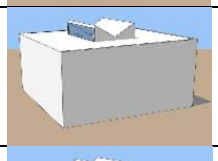
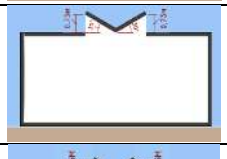
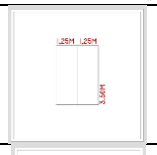
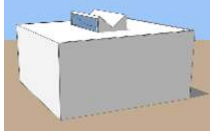
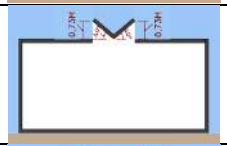
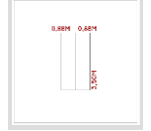
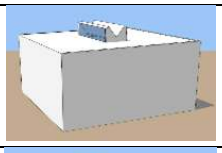
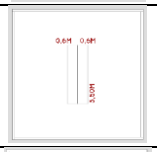
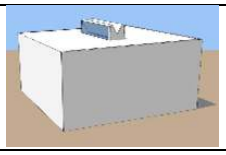
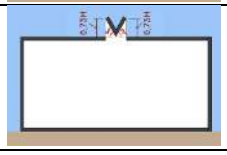
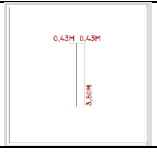
Tendo em vista que o uso de aberturas zenitais contribui para uma melhor performance lumínica em ambientes internos e, afirmando seus benefícios em cidades de clima quente e úmido, onde torna-se necessária a mitigação da iluminação excessiva em ambientes internos, este artigo irá comparar o desempenho luminoso de uma sala de aula a partir de aberturas zenitais em diferentes angulações e exposições solares em Vitória-ES.

MÉTODO

A metodologia dividiu-se em: (1) Caracterização do ambiente interno; (2) Definição dos modelos; (3) Processamento de dados no software. Para as simulações, adotou-se ambiente com medidas internas 7,5x7,5x3,5m (largura, profundidade, pé direito) em Vitória – ES (latitude 20° 19’ S). O ambiente trata-se de sala de aula, com dimensões próximas às das escolas da Prefeitura Municipal de Vitória, com abertura lateral (janela) de dimensões 7,1x1,0x1,1m (largura, altura, peitoril) e área envidraçada de 7,1m², correspondente a 12,5% (ou 1/8) em relação à área do piso e WWR (*Window to Wall Ratio*) de 27%. Foram simulados onze modelos, um com abertura lateral e dez com apenas abertura zenital. Entre os modelos zenitais, cinco possuem aberturas zenitais para apenas uma orientação (modelos simples) e cinco, para duas orientações (modelos duplos). Em todos os dez modelos, a área envidraçada, posicionada na vertical, manteve-se constante em 5m². Houve, porém, a necessidade de alterações apenas nas dimensões para fins de concordância com o Código de Obras de Vitória, que permite área de abertura zenital 30% menor que a área da abertura lateral [9]. Os modelos simulados são: abertura lateral (AL1); *sheds* simples a 20° (AZ1), 30° (AZ2), 40° (AZ3),

50° (AZ4), 60° (AZ5); *sheds* duplos a 20° (AZ6), 30° (AZ7), 40° (AZ8), 50° (AZ9), 60° (AZ10) (Quadro 1).

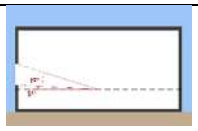
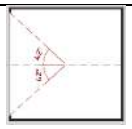
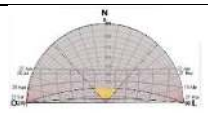
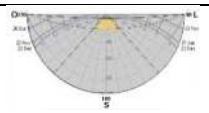
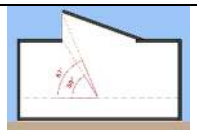
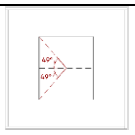
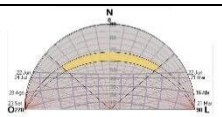
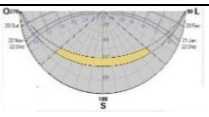
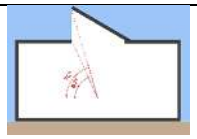
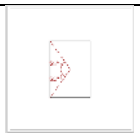
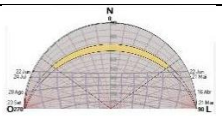
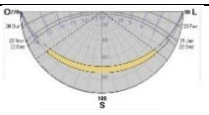
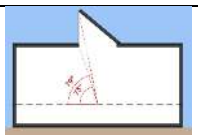
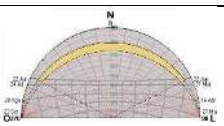
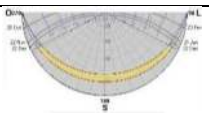
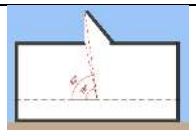
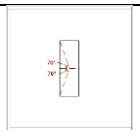
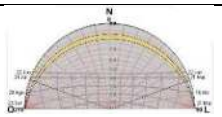
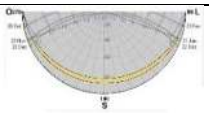
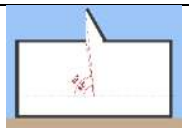
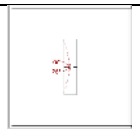
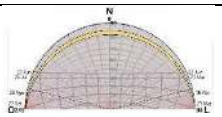
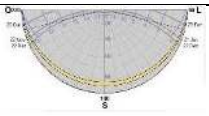
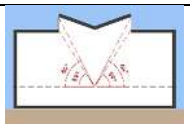
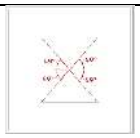
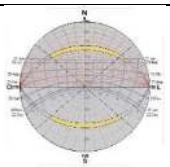
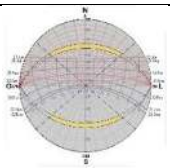
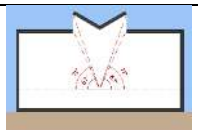
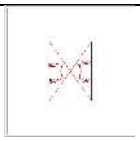
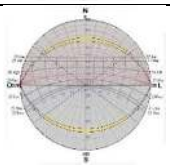
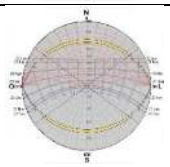
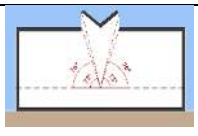
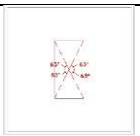
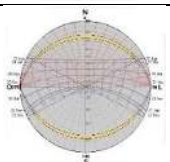
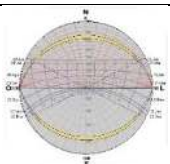
Quadro 1: Modelos, perspectivas, cortes e vistas superiores dos modelos. Sem escala e com cotas.

Modelo	Perspectiva	Corte	Vista superior
Abertura lateral (AL1)			
Shed a 20° (AZ1)			
Shed a 30° (AZ2)			
Shed a 40° (AZ3)			
Shed a 50° (AZ4)			
Shed a 60° (AZ5)			
Shed duplo a 20° (AZ6)			
Shed duplo 30° (AZ7)			
Shed duplo a 40° (AZ8)			
Shed duplo a 50°(AZ9)			
Shed duplo a 60° (AZ10)			

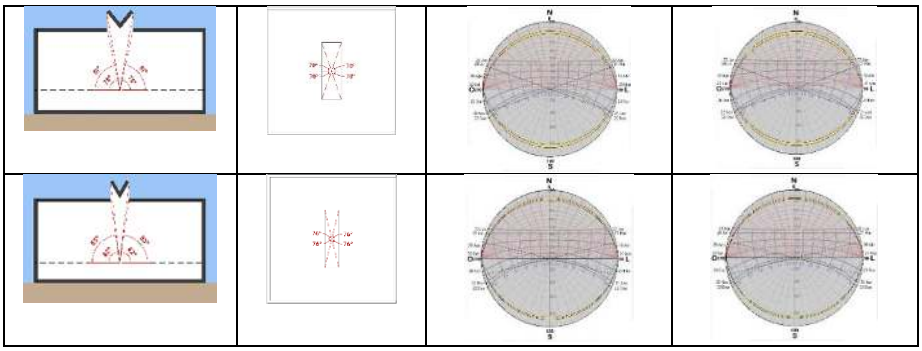
Fonte: Autoral (2025).

As simulações ocorreram para as orientações Norte e Sul, no qual o Quadro 2 apresenta as Cartas Solares com máscaras de sombra, a partir de um ponto central no plano de trabalho do ambiente, a 0,75 m do piso, altura relativa à mesa de estudo do aluno. Os valores de refletância adotados são: 0,4 para paredes externas; 0,3 para piso (cor escura); 0,9 para teto; 0,8 para paredes internas do ambiente e do *shed* (cor clara) [10].

Quadro 2: Corte e vista superior com ângulos verticais e horizontais. Carta solar e mascaramento de sombra a partir dos ângulos, para Norte e Sul.

Ângulos verticais	Ângulos horizontais	Carta solar com mascaramento de sombra	
		Norte	Sul
			
			
			
			
			
			
			
			
			

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8456



Fonte: Autoral (2025).

Os parâmetros analisados são: Iluminância Útil de Luz Natural (IULN) [11] (Quadro 3); Autonomia de Luz Natural (ALN - percentual anual na qual somente uma parcela mínima de iluminância é alcançada somente por luz natural, sendo percentuais iguais ou superiores a 75% considerados preferíveis.) [12] (Quadro 4); Autonomia de Luz Natural Espacial (ALNe - percentual de área do ambiente analisado que atinge o valor mínimo de 250lux de iluminância para o mínimo de 50% de instantes do ano.); e Iluminância Média Mensal. Utilizou-se 250lux como referência para atividade de leitura [10]. Adotou-se o Céu Dinâmico de Vitória (DDL) para Norte e Sul, das 7h00 às 17h00, em todos os dias do ano. A malha ortogonal de estudo possui 25 pontos de medição equidistantes (Figura 1). A Figura 2 apresenta o organograma das análises.

Quadros 3 e 4: Intervalos de IULN e ALN, respectivamente.

Intervalos de IULN	
Classificação	**Intervalos de iluminância**
Iluminância insuficiente	0 – 100 lux
Iluminância com necessidade de iluminação complementar	100 – 300 lux
Iluminância suficiente	300 – 3000 lux
Iluminância excessiva	> 3000 lux

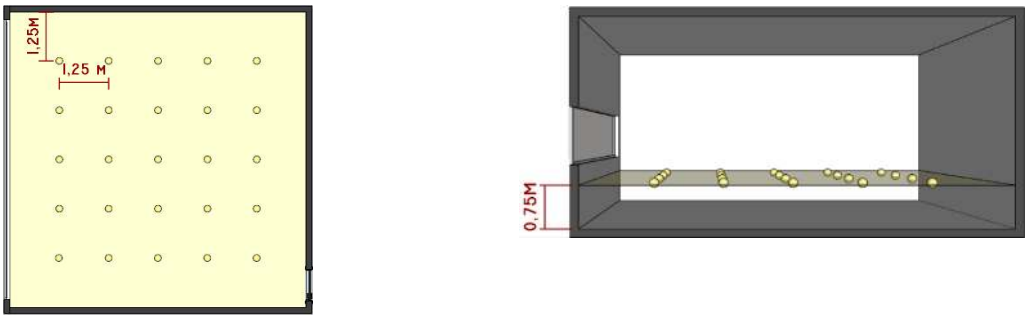
Fonte: Autoral adaptado [11].

Intervalos de ALN	
Classificação	**Intervalos de iluminância**
Insuficiente	<55%
Aceitável	≥ 55%
Preferível	≥75%

Fonte: Autoral adaptado [12].

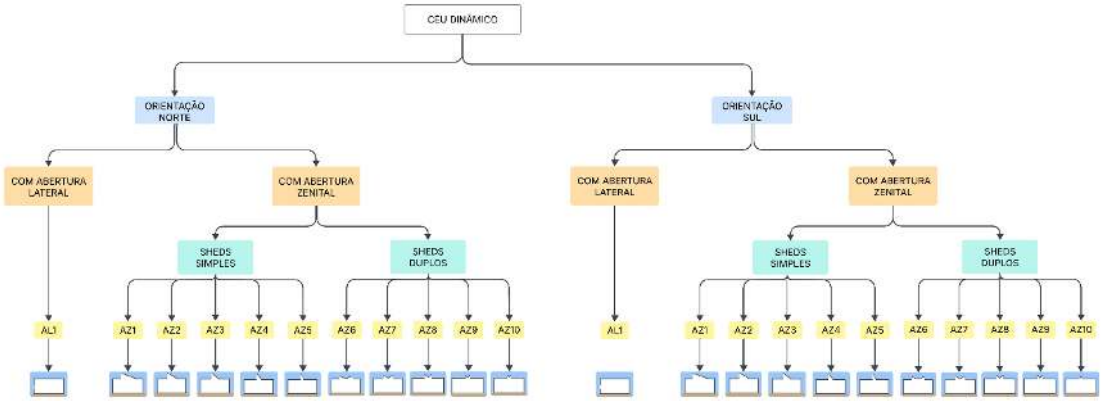
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8456

Figura 1: Planta baixa (à esquerda) e Corte fugado (à direita) da malha com pontos de medição. Sem escala e cotado.



Fonte: Autoral (2025).

Figura 2: Organograma das análises.



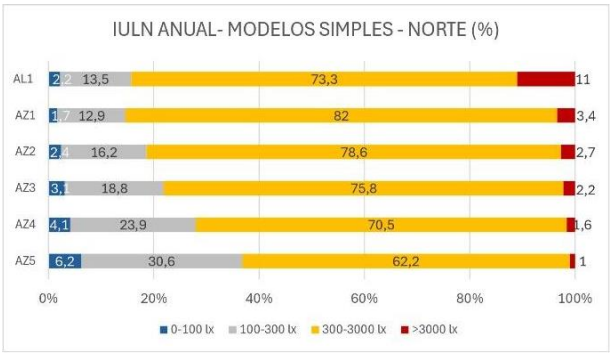
Fonte: Autoral (2025).

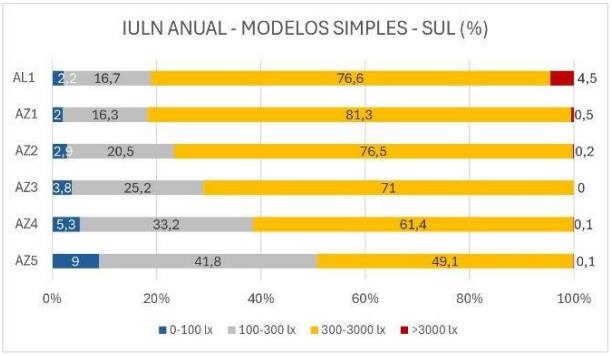
RESULTADOS

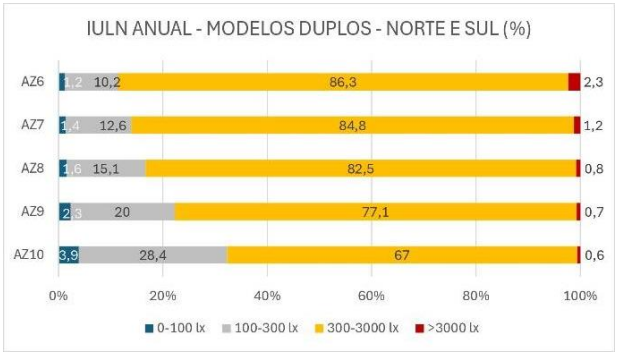
As Figuras 1, 2 e 3 apresentam os intervalos percentuais de IULN Anual dos modelos simples orientados para Norte e Sul e dos modelos duplos, respecitamente. Como esperado, a abertura lateral possui os maiores percentuais de iluminância excessiva. Para Norte, os modelos simples reduzem de 4 a 10 vezes os percentuais de iluminância excessiva quando comparados com AL1, já para Sul, os percentuais são inexistentes ou insignificantes. Modelos duplos reduzem esse percentual de 5 a 20 vezes. Conclui-se, desta forma, a boa performance das aberturas zenitais em mitigar a iluminação excessiva.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8456

Figuras 1, 2 e 3: IULN Anual dos modelos simples orientados para Norte, Sul e duplos, respectivamente.









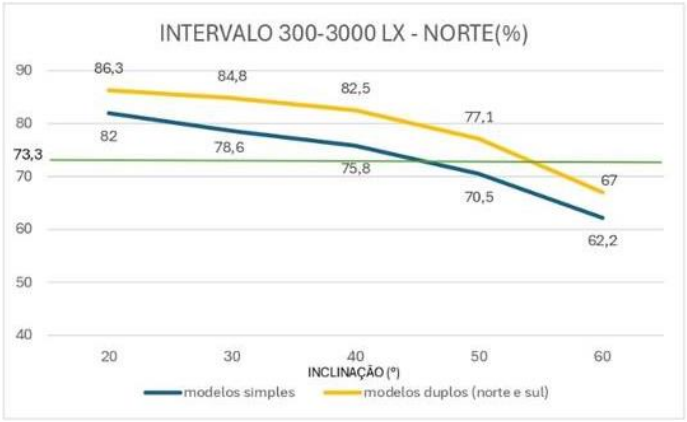
Fonte: Autoral (2025).

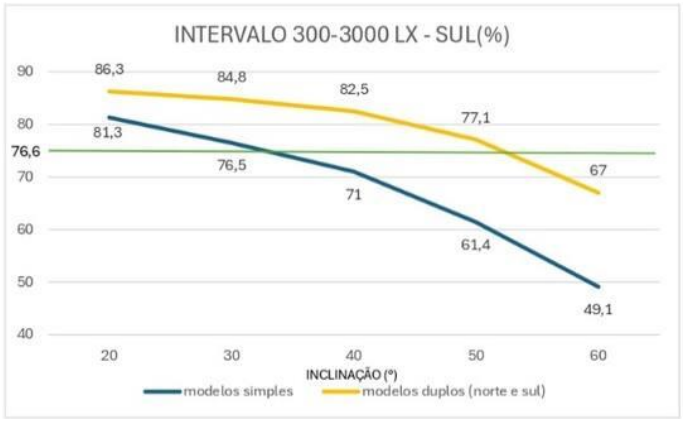
De forma geral, alguns modelos zenitais ampliam em até 10% os percentuais de iluminância suficiente em comparação a AL1, sendo isso mais bem observado nos modelos duplos (com exceção do modelo AZ10). Porém, há modelos zenitais que reduzem de forma significativa estes percentuais, chegando a uma diferença de cerca de 10% e 25%, para orientação Norte e Sul, respectivamente, sendo isso mais visível nos modelos simples. Sendo assim, modelos duplos possuem melhor performance, ao contrário dos modelos simples que, quando orientados para Sul, apresentam maior redução lumínica.

Para todos os modelos zenitais, há uma redução dos percentuais de iluminância suficiente (300-3000lux) à medida que ocorre o aumento da inclinação do *shed* (Figuras 4 e 5). Essa queda se torna mais significativa a partir de 40° de inclinação e se intensifica à medida que o ângulo aumenta. A orientação Sul se destaca por apresentar quedas mais notáveis. Tal fato pode ser explicado por três hipóteses: (1) o aumento da

inclinação do teto do *shed* imputa na maior reflexão de luz para o exterior; (2) modelos de menor inclinação possuem "área de superfície inclinada" maior, colaborando na condução da luz para o ambiente interno; (3) modelos zenitais de maior inclinação possuem menor área de abertura no teto e, consequentemente, menor área para entrada de luz. Dessa forma, conclui-se que a escolha do ângulo do teto do *shed* deve ser cuidadosa, visto sua influência nos percentuais de iluminância. Destaca-se que os modelos AZ4, AZ5 (para Norte); AZ3, AZ4, AZ5 (para Sul) e AZ10 não conseguiram garantir a mesma performance de AL1.

Figuras 4 e 5: Relação entre IULN suficiente e inclinação dos *sheds* nas orientações Norte e Sul, respectivamente.





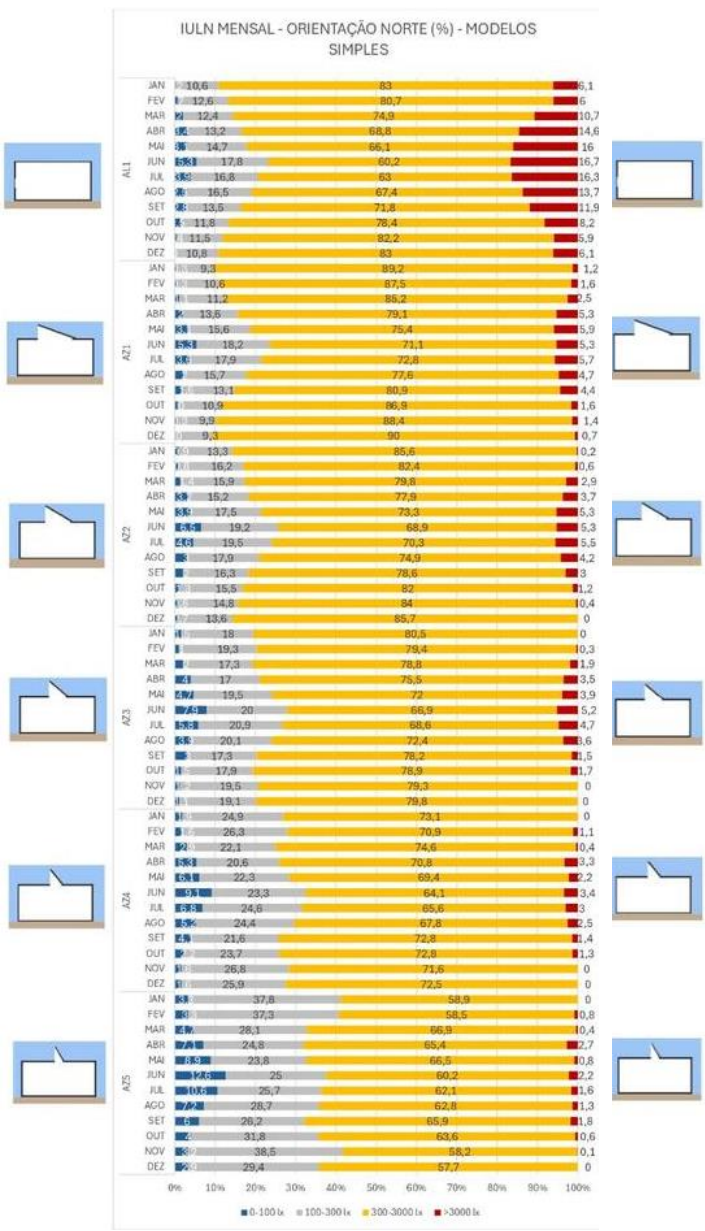
Nota: a linha verde (—) representa os valores de IULN suficiente do modelo com abertura lateral (AL1).

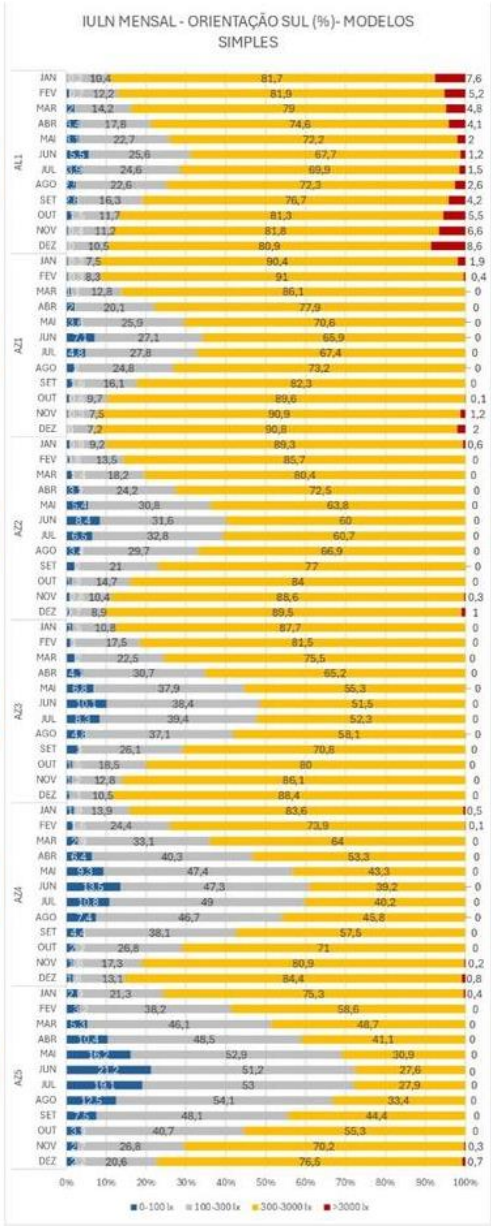
Fonte: Autoral (2025).

No caso de iluminância insuficiente (0-100lux) e iluminância com necessidade de iluminação complementar (100-300lux), em ambas as orientações e para todos os modelos zenitais, ocorre o aumento dos percentuais à medida que se aumenta a inclinação do *shed,* tendo sido observado um aumento de 2 a 3 vezes nos percentuais de iluminância com necessidade de iluminação complementar (comparação entre o melhor e pior modelos para Norte e Sul, respectivamente). Pode-se concluir que o aumento da inclinação do *shed* conduz ao aumento da demanda por iluminação artificial.

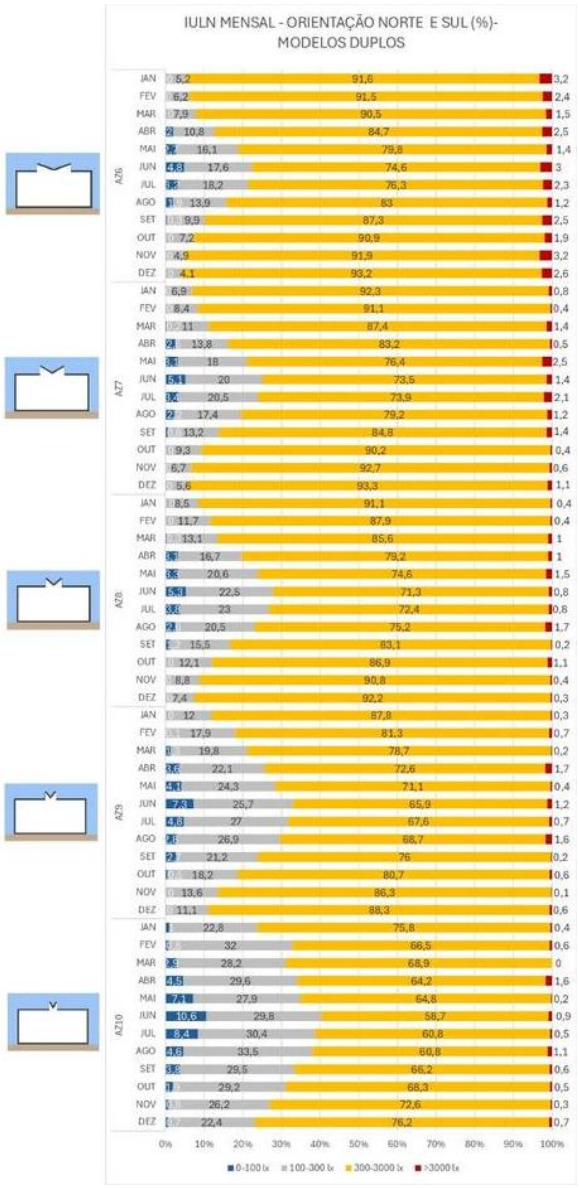
As Figuras 6 a 8 apresentam os percentuais de IULN Mensal para modelos simples orientados para Norte e Sul e modelos duplos, respectivamente. Em junho, para Norte, quando AL1 registra os maiores percentuais de iluminância excessiva, os “modelos simples” reduzem tais percentuais de 3 a 8 vezes. Já em dezembro, quando AL1 apresenta o maior percentual de iluminância excessiva para Sul, os “modelos simples” conseguem reduzir tais percentuais 4 vezes e até mesmo zerá-los. Para os modelos duplos, os percentuais nas mesmas épocas do ano são reduzidos de 5 a 21 vezes para Norte, e de 4 a 8 vezes para Sul. Conclui-se que, ao reduzirem percentuais de iluminância excessiva ao longo do ano, aberturas zenitais corroboram a mitigação de ofuscamentos e contrastes, eximindo a necessidade de elementos de controle de iluminação. Nesse ínterim, destaca-se o melhor desempenho dos modelos zenitais simples orientados para Sul na mitigação desse percentual.

Figuras 6, 7 e 8: IULN Mensal dos modelos simples orientados para Norte, Sul e modelos duplos, respectivamente.





DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8456



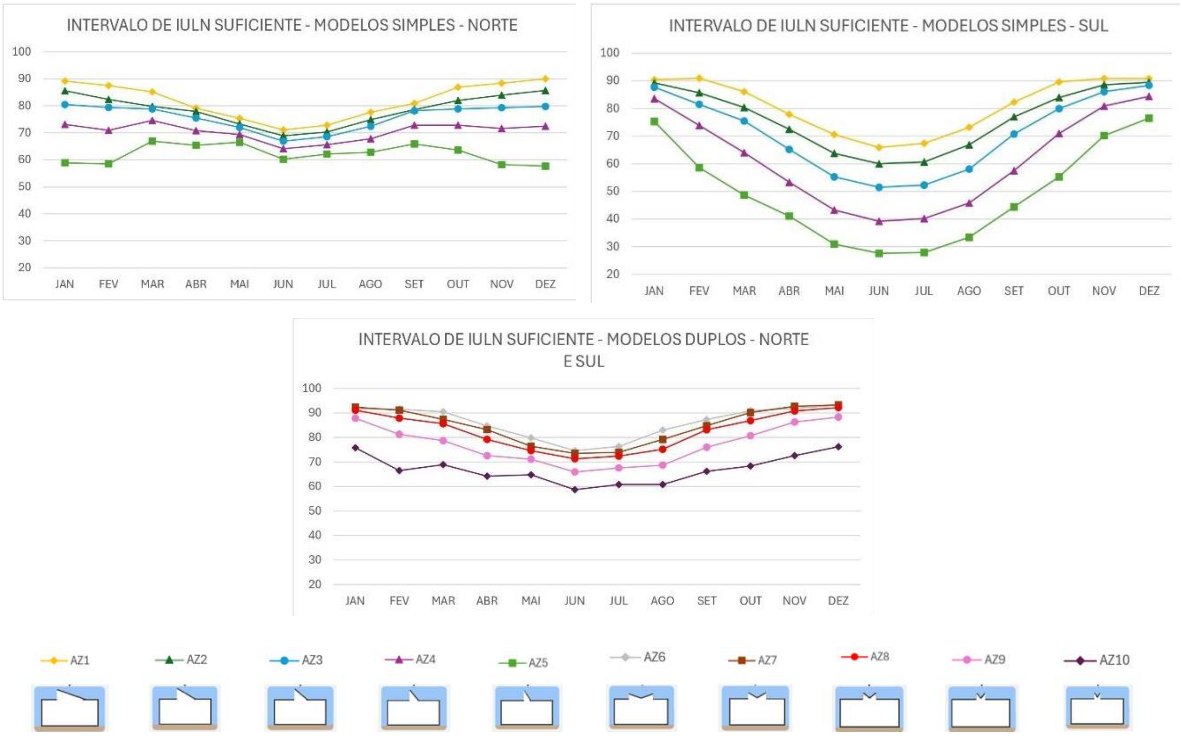
Fonte: Autoral (2025).

Os percentuais de Iluminância suficiente (300-3000lux) mostram que todos os modelos zenitais apresentam diminuição do percentual durante o inverno. Para Norte, os modelos zenitais simples apresentam diferença percentual de até 10% na época de inverno (junho) e de até 30% na época de verão (janeiro). Em ambas as épocas do ano, os modelos AZ1 e AZ5 destacam-se como melhor e pior performance, respectivamente. Ainda, durante o inverno, somente o modelo AZ5 não é capaz de garantir percentuais melhores que os obtidos pela abertura lateral. Já para Sul, a diferença percentual na época de inverno chega a 37% e, no verão, a 16% (comparação entre modelos AZ1 e AZ5, com melhor e pior performance, respectivamente). Vale destacar que, de maneira geral, durante o inverno, os modelos zenitais tiveram desempenho inferior ao registrado pela abertura lateral. Conclui-se que as perdas percentuais ocorrem tanto para orientação Sul quanto para Norte (dependendo se verão ou inverno), o que imputa em uma maior atenção e cuidado ao utilizar *sheds*

para tais orientações. Nos modelos duplos, as diferenças percentuais são de cerca de 16% para época de inverno e 25% para o verão (diferença entre AZ6 e AZ10, melhor e pior performance, respectivamente). Além disso, de modo geral, tais modelos garantem resultados mais satisfatórios que os modelos simples e abertura lateral, em ambas as orientações, para todas as épocas do ano. Vale ressaltar, porém, que AZ10 é o único entre os exemplares duplos com performance inferior à janela. Esta análise, porém, deve ser feita juntamente com os percentuais de Iluminância Média Mensal. Isso porque, apesar da diferença percentual no inverno ser maior para Sul nos modelos simples, a diferença lumínica (entre modelos de melhor e pior performance) é de cerca de 290 lux para Sul, enquanto para Norte é de 875 lux, quase três vezes maior.

As Figuras 9 a 11 apresentam os valores de IULN no intervalo “suficiente” (300-3000lux) dos modelos simples orientados para Norte e Sul e dos modelos duplos, respectivamente. Os Quadros 4 a 6 evidenciam as diferenças percentuais entre os melhores e piores modelos. Percebe-se que, assim como já anteriormente descrito, os modelos analisados apresentam queda no percentual no inverno, sendo esta queda mais intensa para Sul, provavelmente em função da trajetória solar da localidade. Vale ressaltar, que, no caso das aberturas zenitais orientadas para Norte, há um decaimento dos percentuais do intervalo “suficiente”, no qual se observa um deslocamento destes percentuais para o intervalo “excessivo”, tornando o ambiente mais claro. Ainda, nota-se que os modelos simples AZ1 (menor inclinação) e AZ5 (maior inclinação) possuem a melhor e a pior performance, respectivamente, para todos os meses do ano e para ambas as orientações. Já para os modelos duplos, o modelo de melhor performance é o AZ6 (menor inclinação), enquanto o de pior performance é o AZ10 (maior inclinação).

Figuras 9, 10 e 11: Intervalo “suficiente” dos modelos simples orientados para Norte, Sul e modelos duplos, respectivamente.



Fonte: Autoral (2025).

Quadros 4, 5 e 6: Intervalo "suficiente" dos modelos simples orientados para Norte, Sul e modelos duplos, respectivamente.

INTERVALO DE IULN DE 300-3000 (MODELOS SIMPLES - NORTE) E DIFERENÇA PERCENTUAL						
MÊS	AZ1	AZ2	AZ3	AZ4	AZ5	DIFERENÇA %
JAN	89,2	85,6	80,5	73,1	58,9	30,3
FEV	87,5	82,4	79,4	70,9	58,5	29
MAR	85,2	79,8	78,8	74,6	66,9	18,3
ABR	79,1	77,9	75,5	70,8	65,4	13,7
MAI	75,4	73,3	72	69,4	66,5	8,9
JUN	71,1	68,9	66,9	64,1	60,2	10,9
JUL	72,8	70,3	68,6	65,6	62,1	10,7
AGO	77,6	74,9	72,4	67,8	62,8	14,8
SET	80,9	78,6	78,2	72,8	65,9	15
OUT	86,9	82	78,9	72,8	63,6	23,3
NOV	88,4	84	79,3	71,6	58,2	30,2
DEZ	90	85,7	79,8	72,5	57,7	32,3

INTERVALO DE IULN DE 300-3000 (MODELOS SIMPLES - SUL) E DIFERENÇA PERCENTUAL						
MÊS	AZ1	AZ2	AZ3	AZ4	AZ5	DIFERENÇA %
JAN	90,4	89,3	87,7	83,6	75,3	15,1
FEV	91	85,7	81,5	73,9	58,6	32,4
MAR	86,1	80,4	75,5	64	48,7	37,4
ABR	77,9	72,5	65,2	53,3	41,1	36,8
MAI	70,6	63,8	55,3	43,3	30,9	39,7
JUN	65,9	60	51,5	39,2	27,6	38,3
JUL	67,4	60,7	52,3	40,2	27,9	39,5
AGO	73,2	66,9	58,1	45,8	33,4	39,8
SET	82,3	77	70,8	57,5	44,4	37,9
OUT	89,6	84	80	71	55,3	34,3
NOV	90,9	88,6	86,1	80,9	70,2	20,7
DEZ	90,8	89,5	88,4	84,4	76,5	14,3

INTERVALO DE IULN DE 300-3000 (MODELOS DUPLOS) E DIFERENÇA PERCENTUAL						
MÊS	AZ6	AZ7	AZ8	AZ9	AZ10	DIFERENÇA %
JAN	91,6	92,3	91,1	87,8	75,8	16,5
FEV	91,5	91,1	87,9	81,3	66,5	25
MAR	90,5	87,4	85,6	78,7	68,9	21,6
ABR	84,7	83,2	79,2	72,6	64,2	20,5
MAI	79,8	76,4	74,6	71,1	64,8	15
JUN	74,6	73,5	71,3	65,9	58,7	15,9
JUL	76,3	73,9	72,4	67,6	60,8	15,5
AGO	83	79,2	75,2	68,7	60,8	22,2
SET	87,3	84,8	83,1	76	66,2	21,1
OUT	90,9	90,2	86,9	80,7	68,3	22,6
NOV	91,9	92,7	90,8	86,3	72,6	20,1
DEZ	93,2	93,3	92,2	88,3	76,2	17,1

Nota: a cor verde (■) representa o maior percentual de IULN suficiente, a cor laranja (■) representa o menor percentual de IULN suficiente e a cor roxa (■) representa a maior diferença entre melhor e pior desempenho.

Fonte: Autoral (2025).

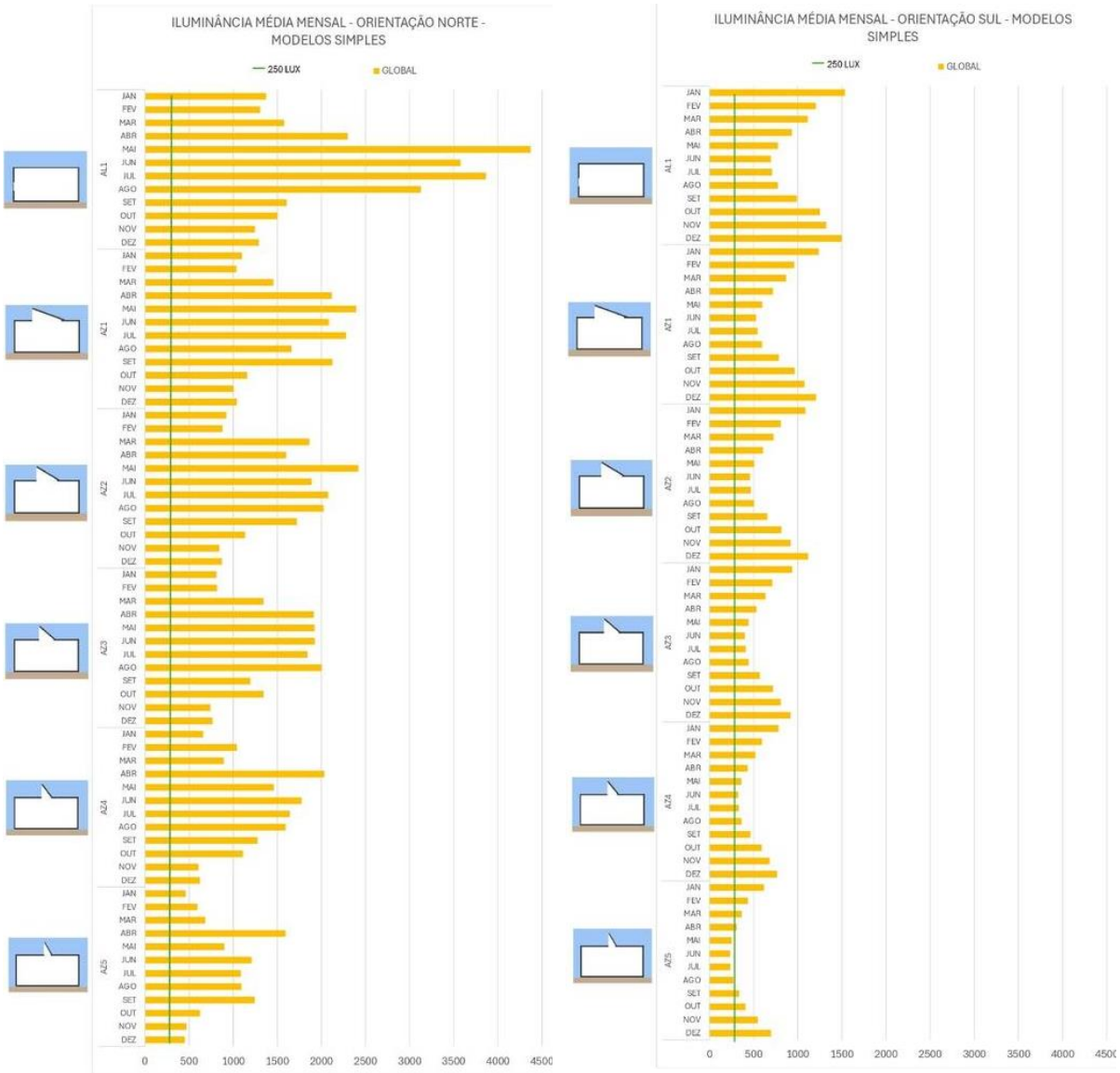
As Figuras 12 a 14 apresentam os valores de Iluminância Média Mensal dos modelos simples orientados para Norte e Sul e dos modelos duplos, com destaque para a linha verde, que representa o valor de 250lux, mínimo estabelecido pela norma. A Iluminância Média Mensal para aberturas zenitais simples é superior para Norte quando comparada com Sul. Já as aberturas zenitais duplas possuem performance intermediária, entre o "modelo simples para Norte" e o "modelo simples para Sul".

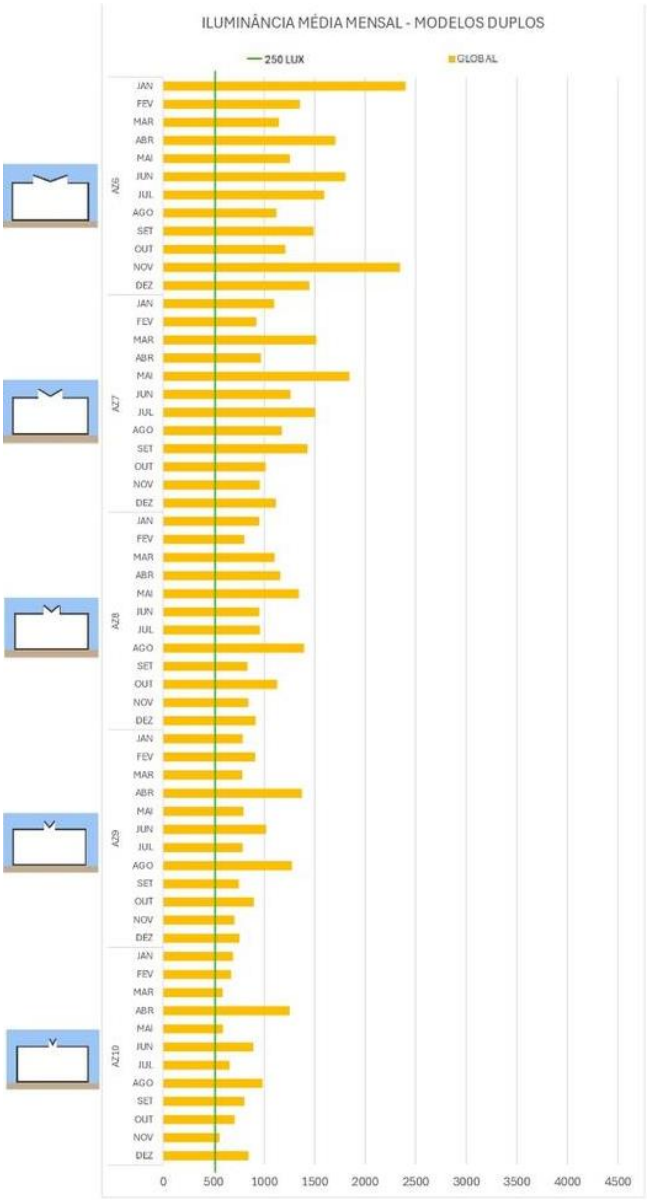
Os valores de Iluminância Média dos modelos simples decaem cerca de 2 a 5 vezes para Norte (queda de 200lux a 3500lux), e cerca de 1 a 3 vezes para Sul (300lux a 900lux), quando comparados com AL1. Para ambas as orientações, a melhor performance se dá em AZ1, com queda de performance dos demais modelos à medida que aumenta o ângulo de inclinação, no qual AZ5 não atinge o valor de 250lux em um ¼ dos meses do ano quando orientado para Sul. Nos modelos duplos, a melhor

performance se deu em AZ6, com queda desta performance nos demais modelos à medida que a inclinação aumenta.

As Figuras 15 a 19 comparam os valores de Iluminância Média Mensal entre modelos “simples” e “duplos” de mesma inclinação. Modelos simples orientados para Norte possuem os maiores valores, com grandes variações ao longo do ano. Já para Sul, os valores de Iluminância decaem, além de apresentarem menores oscilações ao longo do ano. Modelos duplos possuem, de forma geral, performances intermediárias, apresentando, porém, oscilações ao longo do ano.

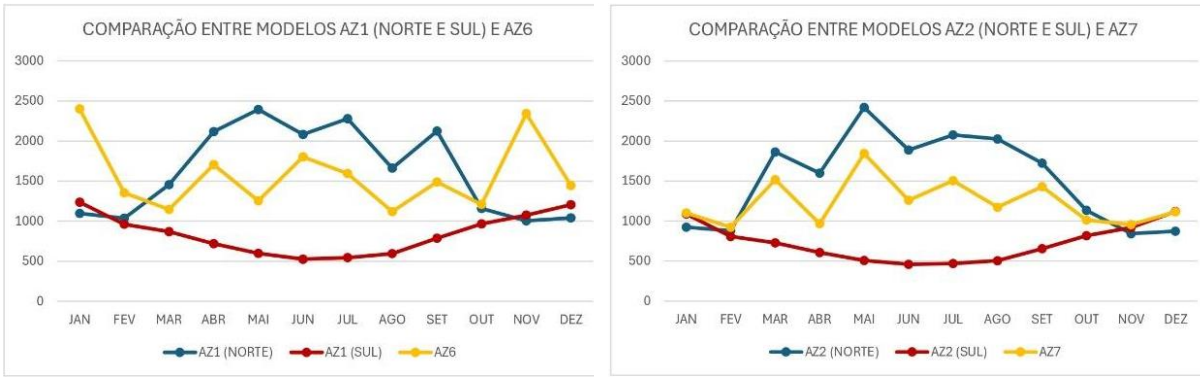
Figuras 12, 13 e 14: Iluminância Média Mensal dos modelos simples orientados para Norte, Sul e modelos duplos, respectivamente.

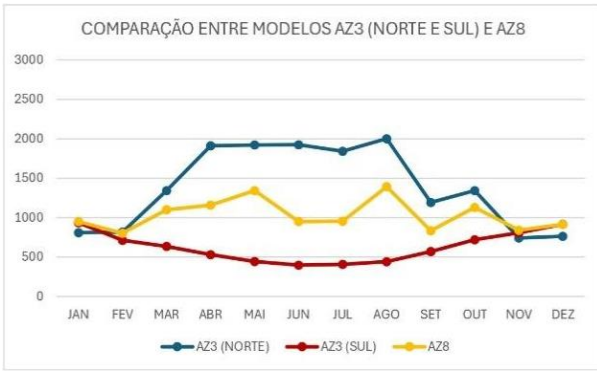


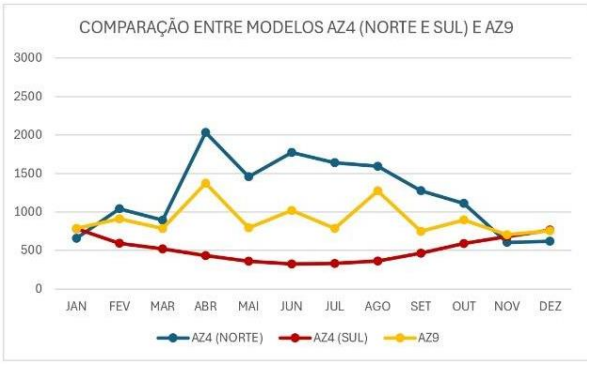


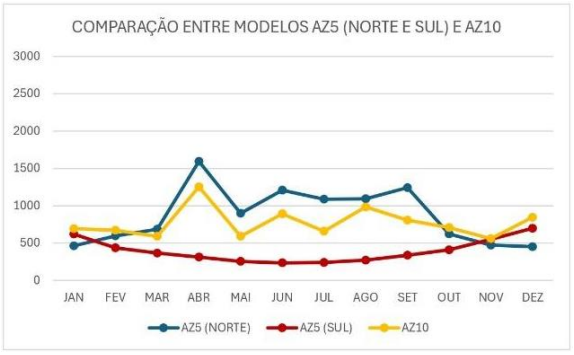
Fonte: Autoral (2025).

Figuras 15, 16, 17, 18 e 19: Comparação de Iluminância Média Mensal entre modelos simples e duplos de mesma inclinação.





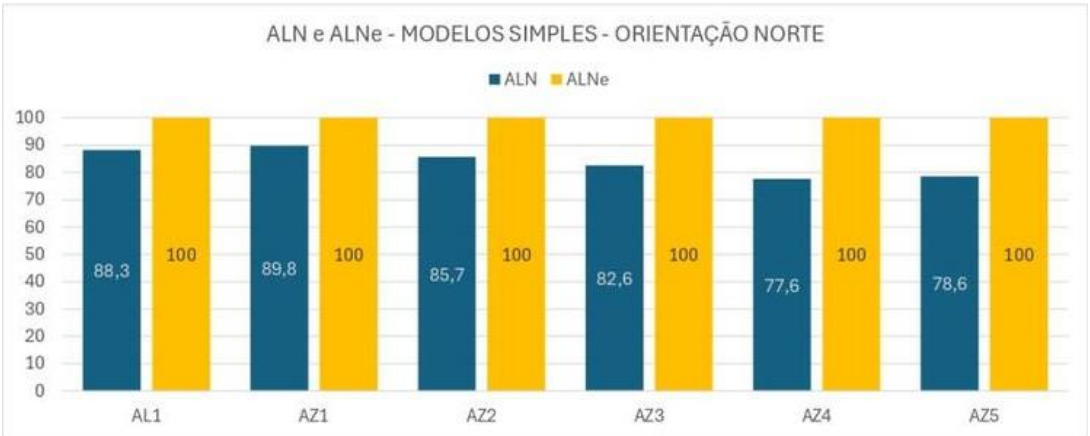


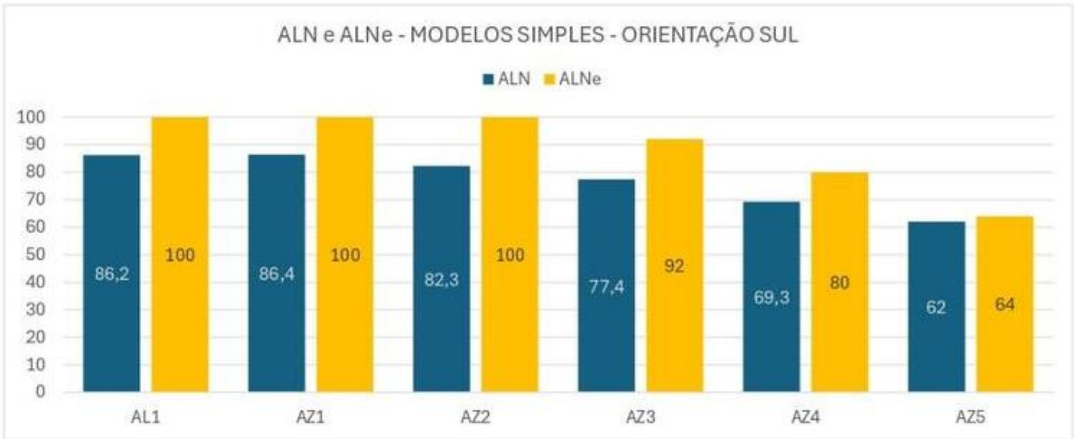


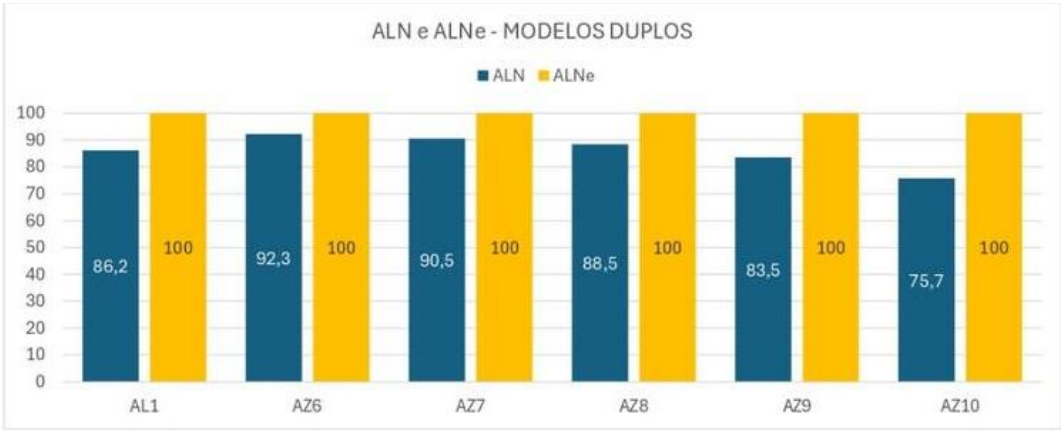
Fonte: Autoral (2025).

As Figuras 20 a 22 destacam os percentuais de ALN e ALNe dos modelos simples orientados para Norte e Sul e dos modelos duplos, respectivamente. Para Norte, todos os modelos simples foram considerados “preferíveis”, com destaque para AZ1. Para Sul, AZ4 e AZ5 não atingiram os 75%. Todos os modelos duplos garantiram performance maior que 75%. Percebe-se que a performance decai à medida que a inclinação aumenta, sendo isso mais intenso para Sul. Tal análise deve ser feita em consonância com os percentuais de IULN, visto que, apesar de ter atingido bons percentuais de ALN, AL1 também registrou altos índices de iluminância excessiva e ofuscamento. Já para a ALNe, somente AZ3, AZ4 e AZ5 orientados para Sul não atingiram o valor máximo. Conclui-se que, tanto para Norte quanto para Sul, a performance de ALN e ALNe decai à medida que a inclinação aumenta, sendo isso mais intenso para Sul.

Figuras 20, 21 e 22: ALN e ALNe dos modelos simples orientados para Norte, Sul e modelos duplos, respectivamente.









Fonte: Autoral (2025).

CONCLUSÃO

A pesquisa compara o desempenho luminoso de *sheds,* utilizando 11 modelos, um com abertura lateral e dez com abertura zenital. Os percentuais de IULN, para as orientações Norte e Sul, comprovam a capacidade dos modelos zenitais em reduzir a iluminação excessiva e garantir boa performance no intervalo "suficiente" ao longo de todo o ano. Dentre os modelos simples, destaca-se o modelo AZ1 como o de melhor performance para ambas as orientações, com percentuais do intervalo "suficiente" até 40% superiores ao modelo de pior performance; já para os duplos, destaca-se AZ6, garantindo percentuais 25% superiores ao modelo de pior performance.

Em relação à Iluminância Média Mensal, para Norte, os modelos simples possuem os maiores valores, com grandes variações ao longo do ano, ao contrário do Sul, onde observa-se redução da Iluminância e menor amplitude entre os valores. Já nos duplos, observa-se uma queda nos valores (com relação ao simples para Norte), permanecendo, porém, uma oscilação ainda expressiva entre os valores ao longo do

ano. Em todos os casos, os modelos de menor inclinação (AZ1 e AZ6) possuem a melhor performance.

No caso da ALN, somente os modelos simples de maior inclinação (AZ4 e AZ5 para orientação Sul) não são considerados "preferíveis". Para a ALNe, somente os modelos AZ3, AZ4 e AZ5 quando orientados para Sul não garantem o percentual máximo (100%). Tal resultado confirma os estudos que constataram que aberturas zenitais utilizadas em sala de aula garantem melhor iluminação natural efetiva [13].

Em todas as métricas analisadas, os modelos AZ1 e AZ6 (modelos "simples" e "duplo" com as menores inclinações) apresentaram os melhores desempenhos. Pode-se afirmar que, à medida que o ângulo de inclinação aumenta, o desempenho lumínico decai. Tal situação é confirmada por estudos que constataram que aberturas zenitais *com* ângulo de inclinação entre 15° e 35° garantem melhores performances lumínicas [6].

Essa pesquisa comprova a capacidade das aberturas zenitais em garantir ao ambiente um bom desempenho luminoso. Porém pode haver necessidade de adoção de dispositivos de controle de iluminação excessiva para "modelos zenitais simples de menor inclinação" quando orientados para Norte. Tal situação é confirmada por estudos que demonstram a necessidade de integração de dispositivos de controle solar aos *sheds* [5]. Entende-se que mais investigações devem ser feitas com relação aos *sheds* em diferentes configurações e em outras localidades. Apesar da pesquisa se concentrar em ambientes com aberturas zenitais, destaca-se a importância da abertura lateral na garantia da visão exterior e ventilação natural.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) pelo benefício da bolsa de Iniciação Científica.

DECLARAÇÃO

Os autores declaram que não utilizaram IA generativa nem tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] FIGUEIREDO, Erika Ciconelli de. Abordagem do ritmo circadiano no projeto de iluminação natural em edifícios de escritórios. **Revista Sítio Novo**, Palmas, v. 7, p. 83–98, 2022.

[2] MATOS, Jéssica Cristine da Silva Fonseca; SCARAZZATO, Paulo Sergio. A iluminação natural no projeto de arquitetura: revisão sistemática da literatura. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 8, n. 4, p. 249–256, 2017.

[3] LIU, Xin et al. Illumination distribution and daylight glare evaluation within different windows for comfortable lighting. **Results in Optics**, v. 3, p. 100080, 2021.

[4] MAPELLI, YULLI RIBEIRO; LARANJA, A. C.; ALVAREZ, CE 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.

[5] MAPELLI-BASILIO, Y. R. et al. Desempenho luminoso de shed integrado a prateleira de luz em ambiente de circulação. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 18, n. 1, p. 1-8, 2020.

[6] SCHMIDLIN, Flavio; SILVA, Felipe Tavares da; "Investigation of indoor daylight performance of the two-sided roof monitor system solution space", p. 237-248 . In: **XXVI International Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics**. São Paulo: Blucher, 2023.

[7] FANG, Yuan; CHO, Soolyeon. Design optimization of building geometry and fenestration for daylighting and energy performance. **Solar Energy**, v. 191, p. 7-18, 2019.

[8] RAMOS, Milena Ronconi; LARANJA, Andréa Coelho. Desempenho luminoso de ambiente interno a partir de aberturas zenitais: estudo de caso em sala de aula. **ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 18, 2025.

[9] VITÓRIA. Lei n°. 4821, de 30 de dezembro de 1998. **Código de Edificações do Município de Vitória**. Vitória, 1998. Disponível em: https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-vitoria-es.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15215-3**: Iluminação natural – Parte 3: Procedimentos para avaliação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

[11] MARDALJEVIC, J.; ANDERSEN, M.; ROY, N.; CHRISTOFFERSEN, J. “Daylighting metrics: is there a relation between useful daylight illuminance and daylight glare probabilty?”. In: **Proceedings of the building simulation and optimization conference**. BSO12. 2012.

[12] REINHART, C.; WALKENHORST, O. “Validation of dynamic radiance-based daylight simulations for a test office with external blinds”. **Energy and Buildings**, Freiburg, v. 33, n. 1, p. 683-697, jan. 2001.

[13] LIU, Binyan et al. A study on daylighting metrics related to the subjective evaluation of daylight and visual comfort of students in China. **Energy and Buildings**, v. 287, p. 113001, 2023.