XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ANÁLISE DO DESEMPENHO LUMINOSO DE *SHEDS* CAPTADORES DE LUZ NATURAL QUANTO A SUA CURVATURA[1]

RIBEIRO, Pedro Vitor Sousa; BASTOS, Orestes Mesquita Kunze (2); CABÚS, Ricardo Carvalho (3)

(1) UFAL, e-mail: pedrovsribeiro@gmail.com; (2) UFAL, e-mail: orestesmkb@gmail.com; (3) UFAL, e-mail: r.cabus@ctec.ufal.br

RESUMO

Elementos como o *shed* são comumente encontrados em diversos projetos arquitetônicos como uma solução reconhecida na exaustão de ventilação e na captação de iluminação natural. Atualmente tal estrutura tem ganhado lugar na construção de galpões em estrutura metálica ou em pré-moldados. Este trabalho busca analisar a relação entre o desempenho da iluminação zenital proveniente de *sheds* e a curvatura do elemento. Foram analisados os parâmetros de média global e uniformidade de iluminância com a variação da curvatura do elemento *shed*. Utilizando o software TropLux, foi gerado um modelo de galpão com 5 metros de largura por 15 metros de comprimento e 5 metros de altura, com *sheds* localizados ao longo da maior dimensão, variando entre modelos de 3 e 5 peças, mantendo a mesma área de abertura, composto de dois arcos espelhados em relação ao eixo, onde foram propostas 5 variações de curvatura. Os resultados mostram que há uma redução na iluminância média em torno de 35% e um aumento da uniformidade em até 25% com o aumento da curvatura do elemento. O modelo de curvatura intermediária atingiu os melhores valores nos dois parâmetros estudados, mostrando que a curvatura gera significativas alterações na iluminação natural do ambiente.

Palavras-chave: Conforto Luminoso. *Shed*. Iluminação Natural

ABSTRACT

Devices like the shed are generally found in many architectural projects as a solution for Wind exhaustion and daylighting capture. Recently this structure has gained ground in construction of warehouses with metallic structure or precast. This article seeks to analyze the ratio between the performance of zenithal lighting provided by sheds and the curvature of said elements. The global average and uniformity parameters were analyzed with the variation of the curvature of the shed. Using the software TropLux, a model of a warehouse, with 5 meters of width by 15 meters of length and 5 meters of height, was generated with the sheds along the largest dimension, ranging between models with 3 and 5 parts, keeping always the same opening area, composed by two arcs mirrored with respect to an axis, where there are 5 variations in curvature. The results show a reduction in the average illuminance of around 35% and an increase in the uniformity of up to 25% with the increase of the curvature of the element. The model with intermediate curvature got the best values in both of the studied parameters, showing that the curvature creates significant changes in the daylighting of the environment

[1] RIBEIRO, Pedro Vítor Sousa; BASTOS, Orestes Mesquita Kunze; CABÚS, Ricardo Carvalho. Análise do desempenho luminoso de sheds captadores de luz natural quanto a sua curvatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

Keywords: Lighting Comfort. Shed. Daylight.

1 INTRODUÇÃO

O uso de formas arquitetônicas que busquem a inserção, no espaço construído, dos elementos ambientais como forma de promoção de conforto ao usuário é de fundamental importância no desenvolvimento de projetos arquitetônicos. Autores que possuem trabalhos extensos sobre a questão da sustentabilidade nas edificações, como Edwards (2008), apontam que diversos profissionais já colocam como diretriz inicial da edificação o aproveitamento eficiente dos recursos naturais não apenas como agente de conforto, mas como motor para a eficiência energética das edificações.

A adoção de estratégias que buscam essa interação entre externo e interno, e o aproveitamento dos recursos naturais requer que o profissional possua conhecimento dos elementos naturais e arquitetônicos que permitem suas aplicações. Bittencourt (2015) enfatiza que a compreensão dos princípios que regem a relação entre ambiente construído e natural é o suporte fundamental para a adoção de tipologias construtivas adequadas às particularidades climáticas locais.

Para a iluminação natural a estratégia de aberturas laterais traz consigo algumas desvantagens, como o excesso de lux próximo à janela e a dificuldade em iluminar ambientes mais profundos (BAKER e STEEMERS, 2002). Uma estratégia eficiente de iluminação natural é a que se utiliza de aberturas zenitais, onde a luz penetra no ambiente verticalmente. Nesse tipo de janela a área iluminada apresentará uma melhor uniformidade de luz, mas deverá ser pensada de forma a minimizar os ganhos luminosos e térmicos relativos à luz direta do sol (CABÚS, 1997).

O *Shed* é um dos elementos que promovem a iluminação zenital, sendo constituído de uma abertura vertical resultante da defasagem vertical de dois planos de telhado. Sua funcionalidade como elemento que proporciona ventilação natural nos ambientes é bastante documentada e atestada por diversos autores (BITTENCOURT, CANDIDO, BATISTA, 2003) (LUKIANTCHUKI, CARAM, 2013).

Uma obra arquitetônica importante como exemplo de sucesso de uma arquitetura bioclimática com o uso de *sheds* é o conjunto de edifícios projetados pelo arquiteto João Figueiras Lima, o Lelé. Em seus projetos a motivação para o uso dos elementos naturais perpassa a do conforto visual, pois busca promover a humanização dos espaços pelo condicionamento natural dos ambientes (LUKIANTCHUKI, CARAM, 2013).

A utilização do *shed*, e consequente aproveitamento da iluminação natural zenital, pode ser vista em diversas edificações, a exemplo dos centros de compras, lugares onde a ideia da passagem do tempo é amenizada pelo uso predominante de luz artificial, tem sido modificada para ambientes amplos e abertos à luz natural tem adotado a iluminação zenital como solução (GARROCHO E AMORIM, 2004).

Outro grande potencial do uso dos *sheds* é em galpões comerciais ou industriais. Os grandes vãos abertos deste tipo de edificação permitem que as aberturas possam ser posicionadas de forma a iluminar naturalmente o ambiente na maior parte do dia. Outro atrativo importante é que as estruturas, comumente pré-moldadas, em aço ou concreto, permitem que se execute formas em *shed* nas cobertas com grande facilidade e sem acarretar grandes custos ao construtor (POZZI, 2004).

Algumas metodologias permitem que tais elementos sejam analisados e testados antes de serem construídos, a fim de verificar a forma e o posicionamento que resultara em uma melhor captação de luz, ou de ventilação. Nesse sentido os softwares de simulação computacional prestam um importante trabalho, como ferramenta para que arquitetos e engenheiros possam melhor analisar as possibilidades de soluções para as edificações.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral do artigo é analisar a influência da curvatura do *shed* no desempenho luminoso do elemento. Como objetivos específicos são buscados:

- Comparar o desempenho dos parâmetros de média e uniformidade com a variação da curvatura do elemento *shed*.
- Avaliar se há ganho com o incremento da curvatura dos *sheds* se comparado ao modelo reto.
- Quantificar os ganhos ou perdas de iluminância e uniformidade com a variação da curvatura dos *sheds*

3 FERRAMENTAS E METODOS

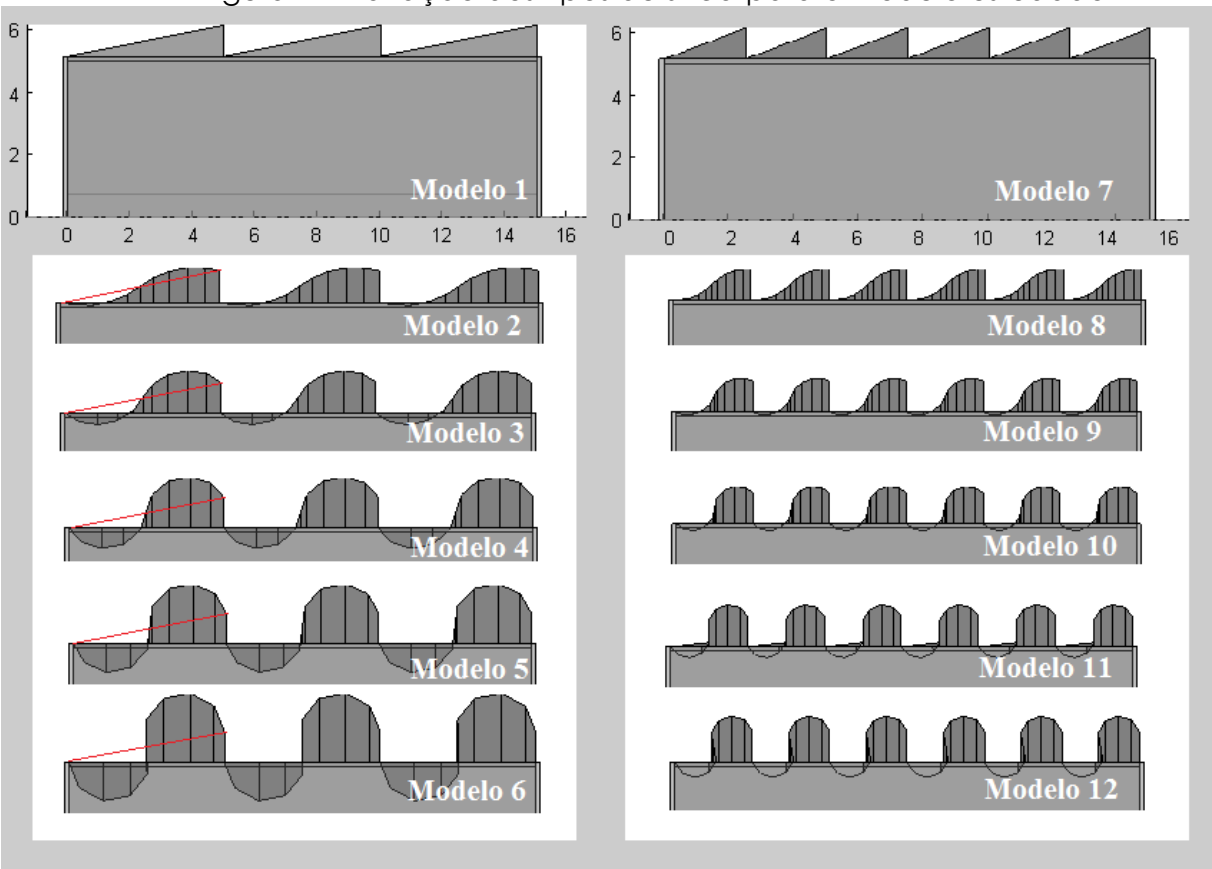
O estudo do desempenho dos elementos foi feito utilizando o software de simulação em iluminação natural TropLux, na versão 7. O TropLux 7.0 utiliza os métodos do raio traçado, os coeficientes de luz natural e o Monte Carlo para calcular a quantidade de luz natural disponível nos ambientes. Por permitir a inserção de geometrias complexas e o cálculo da iluminância de forma anualizada para diversos tipos de céus (CABUS, 2005) o software foi escolhido para ser utilizado nesta análise.

Para tanto foi gerado um modelo que serviu como base para as demais geometrias. Utilizando uma relação dimensional semelhante à do ambiente adotada na tese em que Lukiantchuki (2015) analisa o desempenho do elemento quanto à ventilação natural, o modelo base possui 5 metros de largura, 15 metros de comprimento e 5 metros de pé-direito. Os elementos foram posicionados com as aberturas voltadas para a menor dimensão da coberta.

Foram propostas 5 variações de curvatura do elemento, tomando sempre como base o *shed* reto. A curvatura do *shed* define-se a partir de dois segmentos de arco espelhados em relação ao eixo (*shed* reto). Para melhor

entendimento das variações a figura exemplifica os modelos com 3 elementos. A linha vermelha na figura 1 mostra o eixo do elemento, onde em cada variação aumentou-se distância entre o arco e o eixo, da posição inicial, zero, até a posição final, com uma meia circunferência cujo raio é a quarta parte do comprimento do *shed* reto.

Figura 1 – Variação dos tipos de *Shed* para o modelo estudado



Os elementos curvos foram discretizados em 10 planos devido à limitação do software em modelar superfícies curvas. As características de refletância das superfícies internas foram mantidas constantes, em 70%, a fim de variar apenas a curvatura do elemento. Sendo seis variações de tipos de elementos, foram ainda divididos em duas classes de modelos, uma com 3 *sheds*, de 1 a 6, e com 6 *sheds*, de 7 a 12, como mostrado na figura 1, mantendo a mesma área de abertura de um metro de altura. Os *sheds* são fechados lateralmente, resultando em uma abertura por elemento de 5 metros quadrados. Importante ressaltar que a área de abertura é mantida constante, em 15 m², para 3 elementos e de 30m² para 6 elementos.

Foram simulados todos os dias do ano, das 7h às 17h, nas orientações norte, sul, leste e oeste. Foram utilizados 3 tipos de céu conforme a CIE (2002), o encoberto (1), parcialmente nublado (10) e claro (14) além do céu com variação estatística para a cidade de Maceió (DN), conforme Cabús (2005), disponível no TropLux e denominado de dinâmico nas análises. Este último varia hora a hora o tipo de céu, entre os 3 citados anteriormente, conforme a probabilidade de ocorrência de cada um. O cálculo foi realizado

utilizando uma grade de pontos conforme o normatizado pela NBR ISSO-CIE 8995-1:2013, resultando em uma malha de 22x8 pontos.

A comparação entre modelos foi feita utilizando os parâmetros de média anual global e a uniformidade de iluminância (ABNT, 2013). Além disso os resultados foram estudados estatisticamente através das matrizes de correlação entre as variáveis.

4 RESULTADOS E ANÁLISE

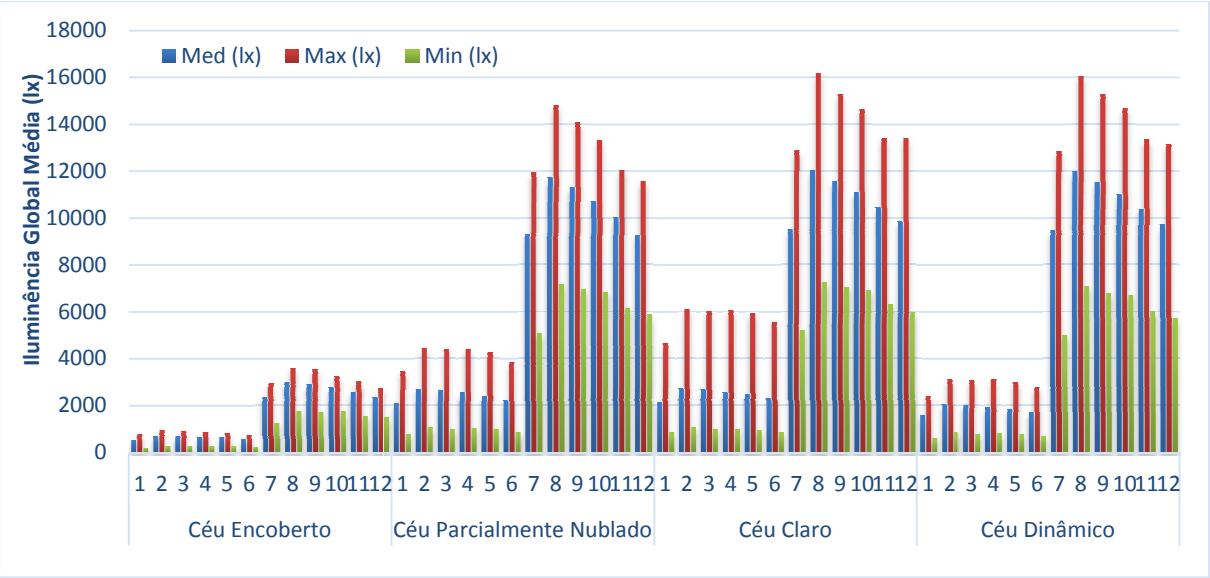
A análise dos resultados se dividiu em três partes, na primeira foram comparados os valores de iluminância anual global, média, máxima e mínima. Posteriormente foram analisados os valores de uniformidade para os modelos e por fim foram comparadas as correlações entre as variáveis envolvidas.

Inicialmente, comparando os valores de iluminância, é possível perceber que os modelos com 6 *sheds* obtiveram os maiores valores dentro do ambiente em decorrência da maior área de abertura. Nos dois conjuntos de modelos, com 3 e 6 *sheds*, foi observada a mesma tendência nos resultados. O *shed* reto foi o que apresentou os menores valores de iluminância média no plano de trabalho, com a mudança no formato houve um ganho expressivo em iluminância e ao passo que a curvatura aumenta a iluminância diminui até o ponto em que, em todos os modelos, praticamente retorna ao valor inicial, com o *shed* reto.

Em todos os modelos observou-se a entrada de sol direto decorrente do ângulo de visão de céu das aberturas. A entrada de luz advinda diretamente no sol aumentou consideravelmente os valores de iluminância para os modelos com aberturas orientadas a leste e oeste. Os menores valores de iluminância foram encontrados na orientação sul, para todos os tipos de céu estudados.

A figura 2 demonstra o comportamento dos resultados para a orientação norte, que é semelhante para as demais orientações.

Figura 2 – Iluminância Média Anual Global na orientação norte, para todos os modelos estudados, nos 4 tipos de céus propostos



A orientação, nos casos estudados, apresentou influência apenas nos coeficientes diretos, resultando em zonas de luz solar direta que podem ser minimizadas com o incremento horizontal dos elementos.

Observou-se que os ganhos máximos em iluminância aconteceram para o céu parcialmente encoberto, para todas as orientações. O ganho máximo observado para o valor médio, entre os modelos reto (1 e 7) e o modelo de menor curvatura (2 e 8), 30%, o ganho máximo para o valor mínimo foi de 29% e para o valor máximo de 50%.

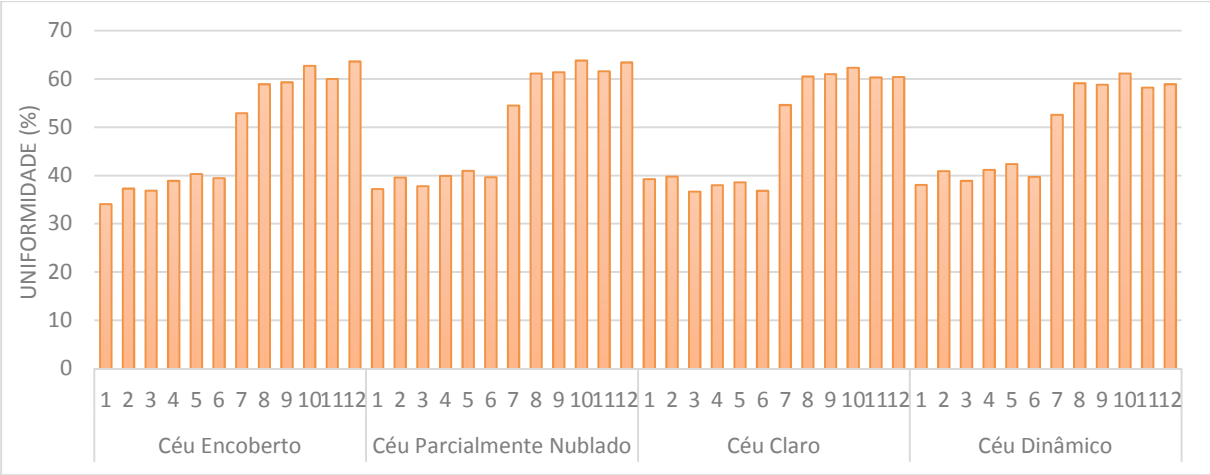
Ao comparar os ganhos percentuais entre modelos com 3 e 6 *sheds* observa-se que esse parâmetro não influi diretamente, tendo em vista que a diferença entre eles foi pouco expressiva.

Ao analisar os valores de uniformidade da iluminância observou-se um comportamento distinto da iluminância. Os modelos com 6 *sheds* obtiveram maiores valores de uniformidade se comparados com os modelos de 3 *sheds*, entretanto apenas alguns modelos voltados a sul, onde os valores de iluminância foram menores, a uniformidade atingiu os 70% preconizados pela NBR ISSO/CIE 8995 (ABNT, 2013)

A diferença entre o comportamento da iluminância e da uniformidade encontra-se no fato de que com o incremento da curvatura do elemento, a uniformidade segue uma tendência contínua de crescimento, chegando a um patamar, nos modelos 4 e 10, onde o crescimento não é mais expressivo e em alguns casos, começa a decrescer. Essa tendência de comportamento da uniformidade pôde ser verificada em todas as orientações estudadas.

A figura 3 apresenta os resultados da uniformidade para a orientação sul, que apresentou valores acima do recomendado em norma. As demais orientações apresentaram comportamento semelhante ao mostrado.

Figura 3 – Uniformidade na orientação sul, para todos os modelos estudados, nos 4 tipos de céus propostos



Os ganhos em uniformidade encontrados nos modelos foram de até 20% para céu encoberto, 28% para céu parcialmente nublado, 25% para céu claro e 22% para o céu dinâmico. Importante notar que os valores máximos apontados foram encontrados para os modelos com 6 *sheds* nos três primeiros céus citados, para o céu dinâmico tal comportamento se inverte, estando os maiores valores nos modelos com 3 *sheds*.

Outro aspecto importante de observar é que os modelos com 3 *sheds* apresentam uma gradativa redução nos ganhos ao passo que o céu se torna mais claro, chegando a casos em que há uma redução da uniformidade nos modelos. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que os modelos com 3 *sheds* possuem uma maior visão de céu pela abertura que os com seis, ocasionando uma maior entrada de sol direto no interior do ambiente.

Como última análise foi feita a verificação da matriz de correlação entre as variáveis estudadas, apresentada na tabela 1. Os dados apontam que há uma correlação linear forte entre a quantidade de *sheds* e a iluminância média, máxima, e a uniformidade de iluminância para os modelos estudados. A curvatura não apresentou valores de correlação significativos na matriz de dados estudada, evidenciando que a relação entre as variáveis não é linear, mas de outra natureza, a julgar pelas relações encontradas nas análises realizadas anteriormente.

Tabela 1 – Matriz de correlação global entre variáveis estudadas

	Quantidade	*Curvatura*	*Céu*	*Orientação*	*Med. (lx)*	*Max (lx)*	*Min (lx)*	*Uniformidade (%)*
Quantidade	1,000							
Curvatura	0,000	1,000						
Céu	0,000	0,000	1,000					
Orientação	0,000	0,000	0,000	1,000				
Med. (lx)	0,781	-0,025	0,436	-0,022	1,000			
Max (lx)	0,679	-0,022	0,551	0,078	0,971	1,000		
Min (lx)	0,826	0,021	0,376	-0,031	0,985	0,932	1,000	
Uniformidade (%)	0,883	0,160	-0,032	-0,029	0,625	0,499	0,730	1,000

Posteriormente as variáveis de céu, orientação e quantidade de peças foram isoladas de forma a verificar as diferenças de correlação para os parâmetros estudados. Quando analisados os resultados com a variável céu isolada percebe-se que a correlação da uniformidade aumenta para um máximo de 0,2 no parcialmente encoberto, mas a iluminância permanece com valores muito baixos.

Ao isolar o parâmetro de orientação percebe-se o mesmo comportamento na correlação entre ele e a iluminância. Os valores de correlação para uniformidade foram melhores com as aberturas voltadas a sul, onde houve menor incidência de luz solar direta, e consequentemente menores níveis de iluminância.

Tabela 2 – Matriz de correlação, para os modelos com 6 peças, entre variáveis estudadas

	Curvatura	*Med. (lx)*	*Max (lx)*	*Min (lx)*	*Uniformidade (%)*
Curvatura	1				
Med. (lx)	-0,054	1			
Max (lx)	-0,044	0,979	1		
Min (lx)	0,047	0,97	0,938	1	
Uniformidade (%)	0,526	-0,203	-0,244	0,018	1

A análise das matrizes de correlação para os modelos com 3 e 6 peças mostrou que a relação entre curvatura e uniformidade é mais próxima da relação linear em modelos com 6 peças, mas que mesmo diante disso os valores de iluminância não apresentaram relação linear expressiva com a curvatura.

Os resultados da análise de correlação combinados com os demais apontam que a relação entre as variáveis estudadas é linear apenas entre número de peças e os dados de saída. A relação entre curvatura e dados de saída, observada na análise de iluminância e na de uniformidade, deve tomar uma forma polinomial ou exponencial.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos e das análises realizadas é possível inferir que, para os modelos estudados, há uma relação entre quantidade de luz no plano de trabalho, e uniformidade de distribuição, e a curvatura dos elementos. As relações mais expressivas foram observadas sob condição de céu parcialmente nublado e para o céu dinâmico de Maceió. Os resultados apontam a importância de que tais elementos sejam corretamente

projetados e que haja proteção solar adequada, protegendo o ambiente interno da entrada de luz solar direta, fonte de desconforto térmico e ofuscamento.

Os modelos com maior quantidade de *sheds* obtiveram maiores ganhos em iluminância e uniformidade ao passo que a curvatura aumenta. Importante notar que a iluminância possui comportamento diferente da uniformidade. Com o aumento da curvatura do *shed* a iluminância tende a decrescer, enquanto que a uniformidade aumenta até o ponto em que se estabiliza.

Para os modelos estudados, e o formato de *shed* utilizado, os melhores resultados combinados foram para os modelos 4 e 10, onde a distância entre o eixo do *shed* original e o arco corresponde a 1/8 do comprimento total do *shed* reto. Com o aumento na curvatura há um ganho máximo de até 35% na iluminância e de 25% na uniformidade da luz natural no ambiente. A orientação das aberturas mostrou-se de grande importância nos ganhos de uniformidade, resultando em melhores valores na orientação sul.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ISO/CIE 8995-1: Iluminação de Ambientes de Trabalho, Parte 1: Interiores, 2013

BAKER, Nick; STEEMERS, Koen. **Daylight Design of Buildings**. Londres: James & James, 2002

BITTENCOURT, Leonardo. **Uso das cartas solares. Diretrizes para Arquitetos**. Maceió: EDUFAL, 2015

BITTENCOURT, L.S.; CANDIDO, C. M.; BATISTA J. O. A utilização de captadores de vento para aumentar a ventilação natural em espaços de sala de aula. In: III **Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações** – COTEDI/ENCAC 2003, 2003, Curitiba. Anais do COTEDI/ENCAC 2003. Curitiba: ANTAC, 2003. P. 177 a 184

CABÚS, Ricardo Carvalho. **Análise do desempenho luminoso de sistemas de iluminação zenital em função da distribuição de iluminâncias**. 1997. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianopolis, 1997.

CABÚS, R. C. TropLux: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações. In: **Encontro Latino-Americano, 4. Encontro Nacional Sobre Conforto No Ambiente Construído**, 8., 2005, Maceió, Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2005. 1 CD-ROM

CIE, Commission Internationale de l'éclairage. **Spatial distribution of daylight -CIE standard general sky**. Vienna, 2002

EDWARDS, Brian. Contexto Ambiental, educacional e profissional. In: EDWARDS, B. **O guia básico para a sustentabilidade**. Barcelona. Ed. Gustavo Gilli, 2008. p. 4 a 45.

GARROCHO, Juliana Saiter. AMORIM, Cláudia Naves David. Luz natural e projeto de arquitetura: Estratégias para iluminação zenital em centros de compras. In: **I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de tecnologia do Ambiente Construído**. 2004, São Paulo-SP.

LUKIANTCHUKI, M. A.; CARAM, R. M.. Análise do conforto térmico na obra de João Figueiras Lima, Lelé: Hospitais Sarah de Salvador e do Rio de Janeiro. In: XII ENCAC - **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, 2013, Brasília – DF.

LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia. **Sheds Extratores e Captadores de Ar para Indução de Ventilação Natural em Edificações**. 2015. 385 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de São Paulo, São Paulo- SP, 2015.

MONTEIRO, Leonardo Marques; BITTENCOURT, Leonardo. YANNAS, Simon. Arquitetura da adaptação. In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (Org.). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 28 a 55.

POZZI, Marion Divério Faria. Iluminação Zenital em Ambientes Industriais: O Caso Dana Albarus RS. In: **I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de tecnologia do Ambiente Construído**. 2004, São Paulo-SP.