

PEDRO VITOR SOUSA RIBEIRO E RICARDO CARVALHO CABÚS

Adensamento urbano e sua relação com a aplicação do painel de corte a laser (PCL) na cidade de Maceió-AL

Urban density and its relation with the application of the laser cut panel (LCP) in the city of Maceió-AL

Pedro Vitor Sousa Ribeiro

Doutorando em Arquitetura, mestrado em arquitetura e graduação em engenharia civil, todas pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Atualmente é professor efetivo da Universidade Federal de Sergipe (UFS) - Campus Laranjeiras. Faz parte da equipe do Laboratório de Simulação em Conforto no Ambiente Construído - LABSICA do Grupo de Pesquisa em Iluminação (Grilu) da UFAL. É pesquisador do Grupo de Conforto ambiental e eficiência energética no ambiente construído da UFS.

Doctoral student in Architecture, master's degree in Architecture and graduation in Civil Engineering, all from the Federal University of Alagoas (UFAL). He is currently an effective professor at the Federal University of Sergipe (UFS) - Campus Laranjeiras. He is part of the team at the Simulation Laboratory in Comfort in the Built Environment - LABSICA of the Lighting Research Group (Grilu) at UFAL. He is a researcher at the Environmental Comfort and Energy Efficiency Group in the built environment at UFS.

pedrovsribeiro@gmail.com

Ricardo Carvalho Cabús

Possui doutorado em Arquitetura pela University of Sheffield (2002), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina (1997), especialização em Computação, convênio UFAL/UFPE (1988) e graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Alagoas (1986). É Professor Titular da Universidade Federal de Alagoas, membro da CIE (Comissão Internacional de Iluminação), Coordenador do Laboratório de Simulação em Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LabSica) e Líder do Grupo de Pesquisa em Iluminação (Grilu).

PhD. in Architecture at the University of Sheffield (2002), master's degree in Civil Engineering from the Federal University of Santa Catarina (1997), specialization in Computing, UFAL / UFPE agreement (1988) and graduation in Civil Engineering at the Federal University of Alagoas (1986). He is Full Professor at the Federal University of Alagoas, member of the CIE (International Lighting Commission), Coordinator of the Simulation Laboratory in Environmental Comfort and Energy Efficiency (LabSica) and leader of the Lighting Research Group (Grilu).

r.cabus@ctec.ufal.br

Resumo

A aplicação de elementos de proteção solar em aberturas permite o controle e o melhor aproveitamento da luz natural dentro das edificações. Em cenários de adensamento urbano a reduzida visão de céu faz com que tais elementos precisem ser dimensionados de forma a reduzir a grande incidência de luz próxima à janela e redirecioná-la para regiões mais distantes do ambiente. Estudos mostram que a utilização de painéis de redirecionamento da luz, a exemplo do painel de corte a laser (PCL) em aberturas laterais reduz a incidência de luz direta do sol na área próxima da janela, aumenta a luz difusa no primeiro terço da sala mais próximo a janela e melhora a distribuição total de luz no ambiente. O trabalho tem como objetivo analisar a aplicação de painéis prismáticos de corte a laser (PCL) em um cenário de verticalização urbana na cidade de Maceió. A pesquisa utilizou três modelos de adensamento urbano para a cidade de Maceió, bem como cinco ângulos de aplicação do PCL, visando relacionar o ângulo de aplicação com o fator de visão de céu (FVC). As análises foram feitas de forma exploratória e utilizando ferramentas da estatística multivariada. A análise dos modelos urbanos aponta que o painel posicionado na vertical, a 0°, funciona bem como protetor solar contra os raios diretos do sol. Para função de redirecionamento da luz o elemento apresentou melhores resultados para céus parcialmente encobertos quando aplicado a 30° e para céus claros a 45° de inclinação, independente da orientação do cânion urbano. Entretanto cenários de reduzida visão de céu, menores que 20%, apresentaram comportamento distinto, requerendo análises complementares.

Palavras chaves: Iluminação Natural. Conforto Ambiental. Painel de Corte a Laser.

Abstract

The use of shading devices in openings allows the control and better use of daylight in buildings. In urban density scenarios, the reduced sky view means that these elements need to be dimensioned in order to reduce the high incidence of light near the window and redirect it to more distant regions of the room. Studies show that the use of light redirection panels, such as the laser cut panel (LCP) in side openings, reduces the incidence of direct sunlight in the area near the window, increases diffuse light in the first third of the room closest to window and improves the total light distribution in the room. The work aims to analyse the application of prismatic laser cut panels (LCP) in a scenario of urban verticalization in the city of Maceió. The research used urban density models for the city of Maceió, as well as five PCL tilting angles, aiming to associate the application angle with the sky view factor (SVF). The analyses were made in an exploratory way and using multivariate statistics tools. The analysis of the urban models points out that the panel vertically positioned, at 0°, works like shading device against the direct sunlight. Regarding light redirection function, the element showed better results for partly cloudy skies when applied at 30° and for clear skies at 45° inclination, regardless of the orientation of the urban canyon. However, scenarios of restricted sky view, less than 20%, presented distinct behaviour, requiring complementary analysis.

Keywords: Daylight. Environmental Comfort. Laser Cut Panel.

Resumen

La aplicación de elementos de protección solar en las aberturas permite el control y el mejor aprovechamiento de la luz natural en el interior de los edificios. En escenarios de densidad urbana, la visión reducida del cielo obliga a dimensionar estos elementos para reducir la alta incidencia de luz cerca de la ventana y redirigirla a regiones más alejadas del entorno. Los estudios demuestran que el uso de paneles de redirección de luz, como el panel cortado con láser (PCL) en las aberturas laterales, reduce la incidencia de la luz solar directa en el área cerca de la ventana, aumentando más la luz difusa en el primer tercio de la habitación más cerca de la ventana y mejora la distribución total de la luz en el ambiente. El trabajo tiene como objetivo analizar la aplicación de paneles prismáticos cortados con láser (PCL) en un escenario de verticalización urbana en la ciudad de Maceió. La investigación utilizó tres modelos de densidad urbana para la ciudad de Maceió, así como cinco ángulos de aplicación del PCL, con el objetivo de relacionar el ángulo de aplicación con el factor de visión del cielo (FVC). Los análisis se realizaron de forma exploratoria y utilizando herramientas estadísticas multivariadas. El análisis de los modelos urbanos apunta que el panel colocado verticalmente, a 0° , funciona bien como protector solar contra los rayos directos del sol. Para la función de redirección de luz, el elemento mostró mejores resultados para cielos parcialmente cubiertos cuando se aplica a 30° y para cielos despejados a 45° de inclinación, independientemente de la orientación del cañón urbano. Sin embargo, los escenarios con vista del cielo reducida, menos del 20%, mostraron un comportamiento diferente, requiriendo análisis complementarios.

Palabras clave: Iluminación natural. Confort ambiental. Panel cortado con láser.

Introdução

A adoção de soluções arquitetônicas que privilegiem a interação com o clima local reduz o uso de meios artificiais para promoção do conforto aos usuários, tornando-os apenas complemento dos meios naturais (LESLIE, 2003). A concepção de projetos que se utilizam dos condicionantes naturais requer do profissional conhecimento do clima e a capacidade de interpretação de dados climáticos locais, da forma como as variáveis de entorno influenciam a edificação e de um repertório técnico de estratégias que possam ser aplicadas à edificação (IZARD e GUYOT, 1983).

A configuração urbana influencia a quantidade da radiação solar que as fachadas das edificações são expostas, bem como a perda de calor nas cidades, alterando significativamente as condições no ambiente externo e interno (LITTLEFAIR, 1998). Autores como Hopkinson e Kay (1972) apontam que algumas fachadas, pela sua orientação, recebem maior carga térmica do sol que outras e que as aberturas devem ser dimensionadas de acordo com tal parâmetro além das obstruções de entorno e outros aspectos que interferem na disponibilidade de luz no interior da edificação. Para Oke (1987) a entre altura dos edifícios e largura da via (H/W) impacta diretamente no fator de visão de céu (FVC) ao nível da rua, e ressalta que esse parâmetro é muito importante quando se analisa as trocas de calor e radiação dentro do cânion urbano. Chapman et al. (2002) definem o FVC como a razão percentual entre a porção de céu visível a partir de um ponto e a porção potencialmente disponível para o mesmo ponto. Esse parâmetro assume valor 0 (zero) em um céu totalmente obstruído e 1 (um) em uma visão de céu livre de obstruções.

Estudos de Suga (2005) para a cidade de Curitiba mostram que quando o cânion urbano atinge relações H/W superiores a 1 há uma menor quantidade de luz natural disponível ao nível do solo, sendo necessária a complementação com iluminação artificial, e que valores acima de 2 inviabilizam a utilização exclusiva de luz natural no nível do solo. Araújo e Cabús (2007), em estudo na cidade de Maceió, afirmam que a quantidade de luz natural em ambientes internos é satisfatória mesmo com reduzida visão de céu, e que o aumento no ângulo de obstrução vertical da janela é acompanhado pelo aumento da contribuição proveniente das reflexões nas superfícies externas. Estudo realizado por Lima (2015), para a cidade de Maceió, verificou que as diversas formas urbanas possíveis previstas no plano diretor da cidade para zonas de ocupação e verticalização recentes permitem que haja disponibilidade de luz natural suficiente ao longo do dia. A autora cita ainda os estudos de Laranja (2010), para a cidade de Vitória - ES, que demonstraram significativa redução dos valores de iluminância em decorrência da presença de edificações obstruidora, fato que não foi observado no trabalho de Lima (2015).

Como forma de melhoria na qualidade da iluminação natural em ambientes internos no meio urbano surgem elementos que buscam solucionar algumas das problemáticas de tal situação. Os sistemas avançados de redirecionamento da luz são aqueles que conduzem a luz natural para regiões internas mais distantes da janela utilizando-se de algumas propriedades ópticas de novos materiais, como os princípios ópticos de reflexão, refração ou reflexão total interna (IEA, 2000).

Segundo Amorim (2002), existem diversos tipos de sistemas que podem ser associados a janelas ou a aberturas zenitais para melhorar a quantidade de luz e sua distribuição nos ambientes. Dispositivos zenitais, como dutos de luz, são comumente associados a situações onde não há verticalização das edificações e há visão de céu desobstruída. Já outros dispositivos, como o painel de corte a laser (PCL), funcionam através da reflexão da luz proveniente das regiões mais altas do céu para o fundo dos ambientes (LABIB, 2012). Esse sistema consiste em uma placa de acrílico onde são feitos cortes paralelos formando pequenos prismas; a superfície de corte se torna refletora, sendo

comumente aplicado entre camadas de vidro (EDMONDS, 1993). Um exemplo de seção do painel e de aplicação é mostrado na figura [1].

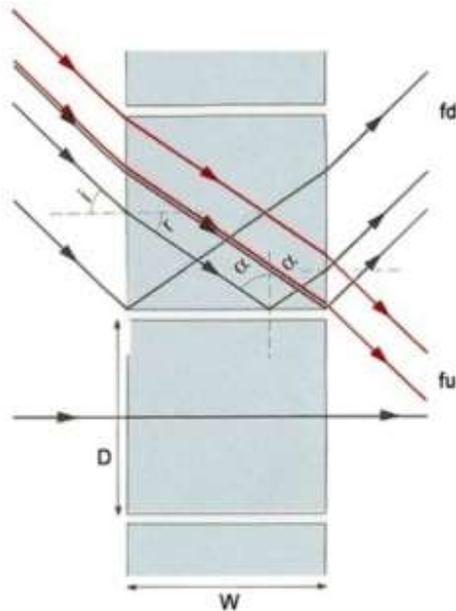


FIGURA 1 - Comportamento dos raios luminosos ao incidir no PCL e aplicação de um painel de corte a laser nas janelas altas em uma escola na cidade de Brisbane, Austrália.

Fonte: SANTOS, 2009

Estudos mostram que a utilização do PCL em aberturas laterais reduz a incidência de luz direta do sol na área próxima à janela, aumenta a luz difusa no primeiro terço da sala mais próximo à janela e melhora a distribuição total de luz no ambiente (EDMONDS, 1993; LAAR, 2001; CIAMPINI, 2005; SANTOS, 2009; LABIB, 2012; CHAVES, 2012). Ciampini (2005) aponta ainda que a maioria das pesquisas em sistemas como o painel de corte a laser não se atém às características ópticas dos materiais, limitando-se ao estudo qualitativo.

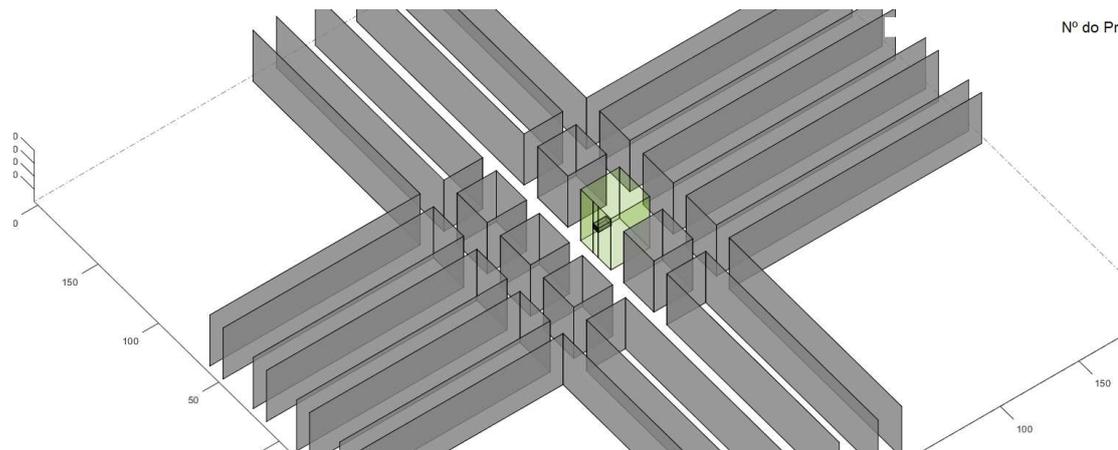
As pesquisas realizadas com o PCL limitam-se à definição da melhor aplicação para o material, sem levar em consideração as obstruções externas. Ao passo em que a verticalização reduz a área de céu visível, os níveis de luz provenientes dos meios naturais, de forma direta e refletida, são reduzidos, sendo necessária a verificação da influência do entorno em sua aplicação. Tendo em vista a falta de estudos sobre a relação entre o entorno construído e a aplicação de elementos avançados em iluminação natural a pesquisa teve como objetivo analisar a aplicação de painéis prismáticos de corte a laser (PCL) em um cenário de verticalização urbana na cidade de Maceió.

Metodologia

Para a avaliação da relação entre o FVC e a aplicação do PCL foi utilizado um cenário de adensamento urbano na cidade de Maceió, tendo como base os parâmetros urbanos do Código de Urbanismo e Edificações da cidade de Maceió – Lei Municipal 5.593/07 (MACEIÓ, 2007) para edificações residenciais multifamiliares (UR-5). A região de estudo compreende a ZR-4 (Zona Residencial 4) – que engloba os bairros de Ponta Verde, Pajuçara, Jatiúca e uma porção de Cruz das Almas. Alguns desses

bairros já possuem alta densidade de edificações, como apontado por Barbosa (2009), acarretando problemas quanto à disponibilidade de luz natural. Ainda segundo o normativo as UR-5 podem ter edifícios de até 10 pavimentos com ocupação de terreno de 50%, situação escolhida, o que implica em um afastamento frontal de 7m, laterais e posterior de 5,50m. Na figura [2] é apresentado um exemplo da geometria urbana obtida utilizando-se os parâmetros escolhidos. Os edifícios que compõem a quadra possuem as mesmas dimensões daquele em que se localiza o ambiente de estudo, e são espaçados igualmente. Para o estudo foi fixada uma largura de via de 12m, que compreende 8m para a pista de rolamento e 2m de passeio de cada lado, por ser a mais estreita permitida, resultando em cenários com menor visão de céu.

FIGURA 2 - Exemplo de modelo urbano utilizado nos processamentos. O edifício utilizado no processamento está destacado em verde, bem como o ambiente processado.



Foram simulados três cenários de altura do ambiente: O cenário 1 (C1) no quinto andar, a 19,5m do nível da rua; o cenário 2 (C2) no terceiro andar, a 10,50m e o cenário 3 (C3) no primeiro andar, a 4,5m, cujos fatores de visão de céu são apresentados na figura [3]. Importante ressaltar que o cenário urbano serviu apenas como referência para alcançar os valores de FVC necessários para a análise e que não foi objeto de pesquisa discorrer sobre os parâmetros urbanos utilizados. Ciampini (2005) aponta que para o estudo do ganho em profundidade é interessante que os ambientes possuam uma relação de 1:2 entre largura e profundidade e que possuem pé-direito elevado. As dimensões do ambiente utilizado nas simulações são apresentadas na Figura [4].

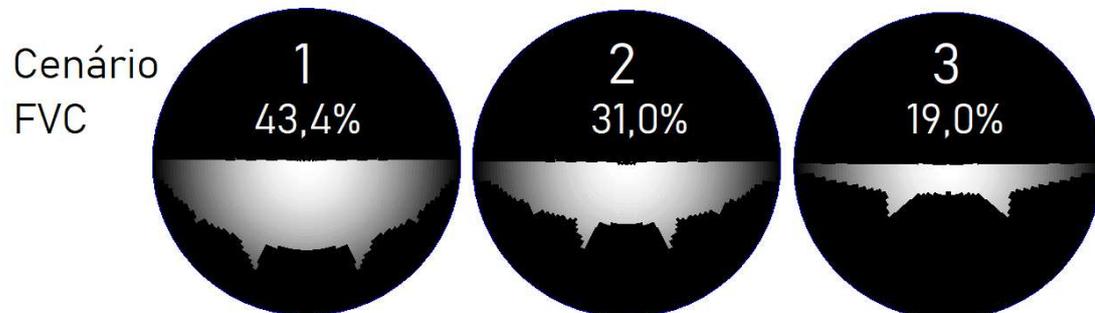


FIGURA 3 - Fatores de visão de céu para os três cenários estudados

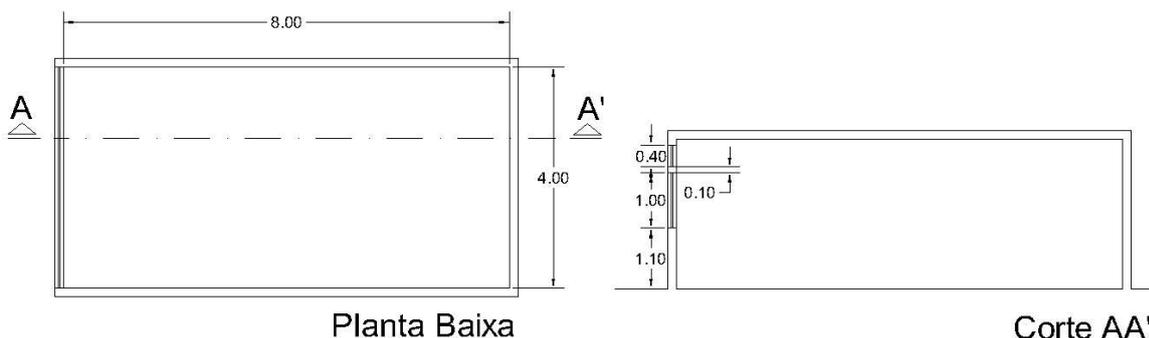


FIGURA 4 - Exemplo de modelo urbano utilizado nos processamentos

Tendo em vista a grande quantidade de luz proveniente da janela inferior, atestada em trabalhos como Lima (2015) e Ribeiro (2016), o estudo da influência do elemento superior fica prejudicado, pois os resultados elevados da janela inferior mascaram o comportamento da luz para o elemento. Para resolver a questão foi inserido um plano totalmente absorvente, de forma que os raios de luz advindos da janela não fossem computados, mas a existência da superfície envidraçada da janela não seja desprezada e tomada como uma superfície de vidro com a devida reflexão. As características dos materiais utilizados no ambiente foram obtidas em Dornelles e Roriz (2007), com 0,40 para o piso (concreto) e 0,85 para paredes e teto (PVC Branco Neve). A refletância de entorno foi definida em 0,40, conforme estudos de Laranja (2010).

A forma do cânion urbano gerado pelo cenário proposto faz com que os raios solares de origem direta venham das partes mais altas do céu, sendo assim o PCL foi dimensionado para tal situação. Os modelos que melhor se ajustam são aqueles com relação D/W maior. Estudos de Ciampini (2005) e Santos (2009) utilizaram painéis com relação de 0,75 com cortes a 0° e obtiveram bons resultados, configuração escolhida para o estudo. Foram definidas quatro posições tomando como referência a posição vertical: 0° (vertical), 15°, 30° (recomendada por Edmonds (1993) para cenários de cânion urbano) e 45° (proposta pelo mesmo autor para cenários desobstruídos). Na figura [4] são apresentadas as quatro posições do painel.

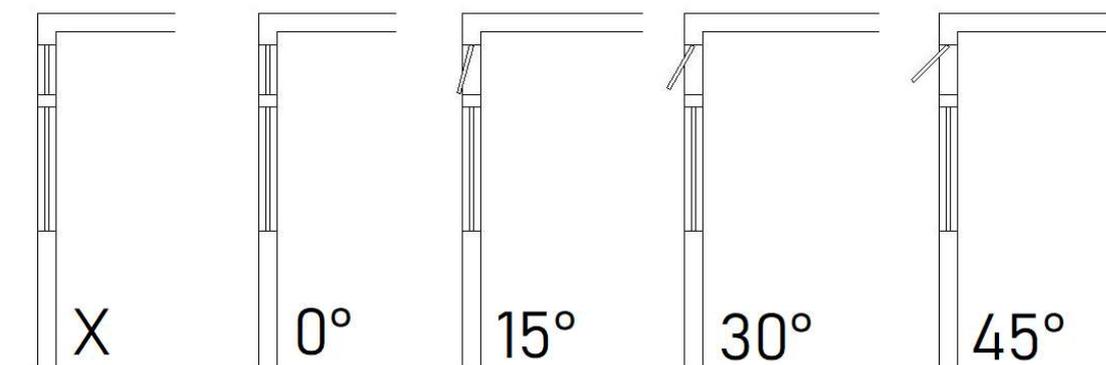


FIGURA 5 - Corte do modelo sem painel (X) e dos modelos com painel em suas posições (0°, 15°, 30° e 45°)

Todas as combinações resultam em um total de 15 modelos processados no software de simulação em iluminação natural TropLux 7. Os dados foram calculados em uma malha de 9x5 pontos definidos a partir da NBR ISO-CIE 8995 (ABNT, 2013) e em atendimento à NBR 15215-4 (ABNT, 2005). Os pontos foram uniformemente distribuídos em todo o plano de trabalho. As simulações foram realizadas nos horários de 7h às 17h, todos os dias do ano. Foram definidos 4 tipos de céus disponibilizados pelo TropLux. A escolha foi feita a partir do estudo de Cabús (2002), que mostrou a

predominância de 3 tipos ao longo do ano para a cidade de Maceió, são eles: Nublado (CIE 1), parcialmente nublado (CIE 10) e claro (CIE 14). Foi utilizado ainda céu com distribuição dinâmica de luminâncias (DDL), que utiliza um dos 3 tipos (1,10 e 14) de céu, de acordo com a sua probabilidade no dia e na hora calculados, usando dados das estações meteorológicas do INMET.

Foram analisadas duas orientações, com a fachada voltada a leste e a norte. A escolha teve como base o estudo da trajetória solar aparente ao longo da abóbada celeste: na orientação leste o sol percorre a abóbada na direção normal ao plano da fachada, já na orientação norte a trajetória aparente paralela ao plano da fachada. A escolha da fachada norte, em detrimento da sul, teve como base o fato da primeira apresentar maior tempo de insolação, com uma diferença de 33% entre elas.

A análise dos resultados dividiu-se em duas partes, a exploratória e a estatística. Na análise exploratória, os resultados de iluminância média anual (EMA) e uniformidade média anual (UMA) foram analisados em relação à posição do PCL. Na análise estatística foram utilizadas as ferramentas de matriz de correlação entre as variáveis de FVC, ângulo de aplicação do PCL, tipo de céu, cenário e orientação das aberturas. Os agrupamentos foram obtidos a partir da técnica de análise de agrupamentos da estatística multivariada. A quantidade de grupos foi definida conforme as características de cada conjunto, privilegiando que no mesmo grupo estejam elementos que já possuem comportamento semelhante conforme verificado na análise exploratória. Por fim, cada conjunto de dados foi verificado isoladamente quanto à correlação entre variáveis de forma a analisar o comportamento de cada conjunto de casos contido nos grupos.

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos foram analisados para cada posição do PCL e são mostrados na figura [6]. Os dados de EMA indicam uma tendência de diminuição ao passo que o FVC é reduzido. O cenário 3, que possui menor fator de visão de céu, obteve os menores valores do indicador. Nas duas orientações estudadas há redução da EMA, variando, para céu encoberto, entre 7% (entre os cenários 1 e 2) e 57% (entre os cenários 2 e 3). Importante observar que do cenário 1 para o 2 as reduções percentuais da iluminância média são menores que do cenário 2 para o 3, indicando que com a diminuição do fator de visão de céu há uma diminuição na taxa de redução da iluminância média. Nas situações de céu encoberto os resultados de EMA apresentam redução na disponibilidade de luz natural nos ambientes. Do cenário 1 para o 2 a redução é menor, chegando a no máximo 20,6% para a orientação leste com céu parcialmente encoberto. Já do cenário 2 para o 3, em que há maior redução do fator de visão de céu, as perdas em iluminância chegam a 56,9%.

Nos resultados de UMA observa-se redução na uniformidade entre cenário 1 e 2 de, no máximo, 9% para a orientação leste no céu parcialmente encoberto. Entre os cenários 2 e 3 há o mesmo comportamento, entretanto mais evidente, com redução de UMA em até 31,5%, para uma redução do FVC de 38,7%. Os resultados evidenciam que a relação entre visão de céu e níveis de iluminância não é linear, mas aumenta conforme a visão de céu diminui. Para todos os casos a uniformidade foi baixa, entretanto tiveram um importante crescimento se comparado à situação de janela com vidro comum. Os maiores valores de UMA foram para o céu encoberto, com máximo de 51,1%, e mínimo de 38,5% na condição de céu claro. Esse comportamento evidencia que o painel em sua posição vertical funciona como um bom protetor solar, reduzindo a entrada de luz direta proveniente do sol e da porção de céu visível, fazendo com que a componente refletida corresponda à maior parte da luz no ambiente.

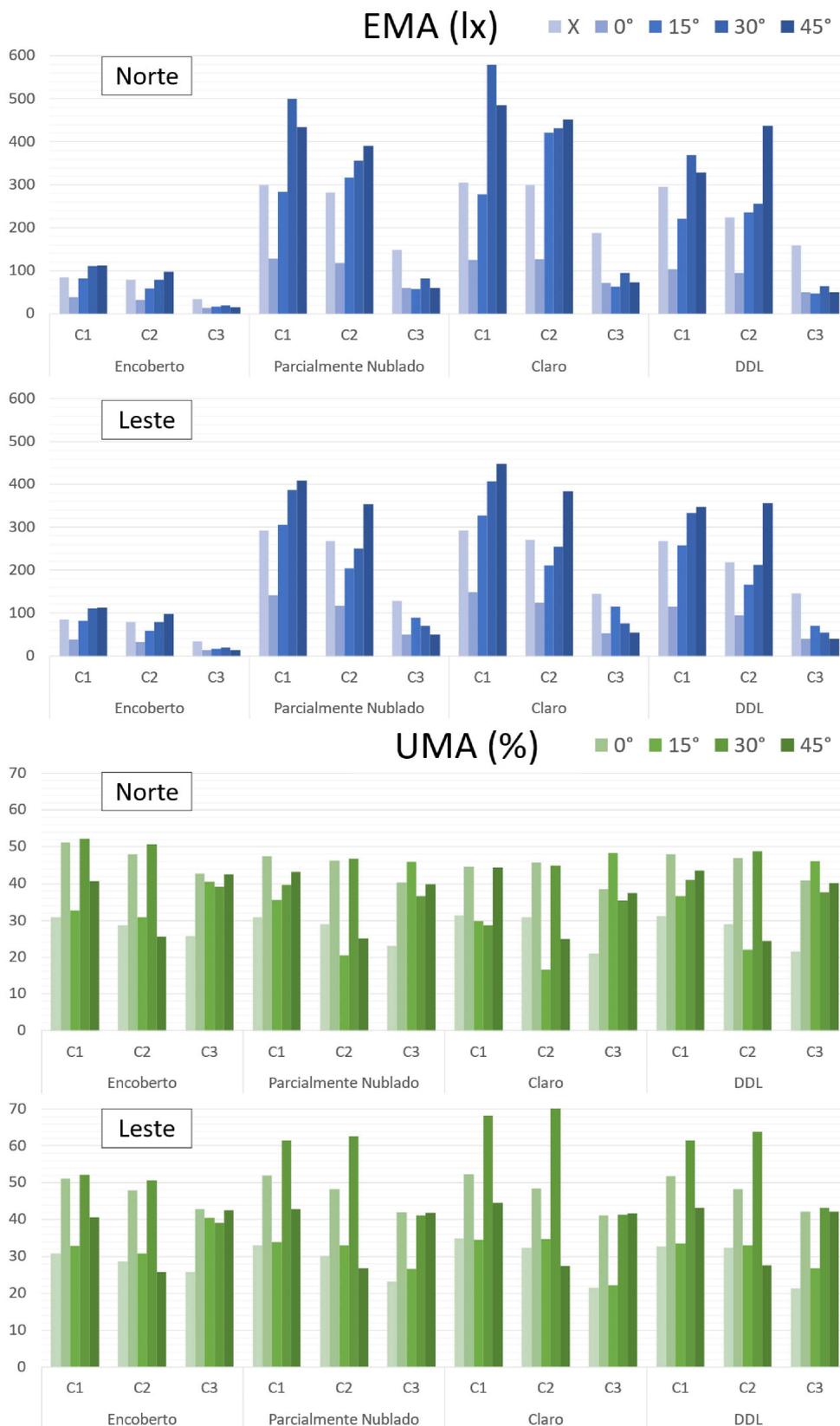


FIGURA 6 – Resultados de EMA e UMA obtidos, agrupados por tipo de céu e por orientação. X indica o modelo sem PCL e os demais indicam o ângulo de sua aplicação.

A análise das componentes de luz natural explica a redução da UMA acompanhada da redução na visão de céu. O cenário 3, com menor SVF, atingiu situações de incidência de luz solar direta para a orientação norte. A análise ponto a ponto mostrou que, tendo em vista a trajetória aparente do sol nessa orientação, há períodos do ano em que há incidência de luz solar direta na segunda linha de pontos de análise. É possível que em outras situações, para os demais cenários, o mesmo efeito aconteça, entretanto, a distância entre os pontos e a reduzida dimensão da janela faz com que essa incidência não seja computada. Observa-se ainda um aumento da componente de sol refletido com a diminuição do fator de visão de céu em todos os casos, apontando que parte da luz natural que atravessa o painel nessa posição provém da reflexão da luz solar.

Uma importante análise a ser feita é a forma como os raios luminosos incidem no painel para cada uma de suas posições. A figura [7] apresenta os setores de admissão da luz no PCL. O setor superior, correspondente à 53° em relação ao plano do painel corresponde aos ângulos em que o raio luminoso obrigatoriamente passará por um processo de reflexão para entrar no ambiente. O setor correspondente aos 37° em relação à normal do plano do painel corresponde à faixa onde há uma probabilidade de o raio ser refletido nos cortes, ou de atravessar sem tal efeito. Ao passo que o ângulo de incidência se aproxima da normal a probabilidade de o raio ser refletido diminui até o zero quando o raio incide normalmente ao plano do painel. Ainda há um terceiro setor, de menor dimensão, alinhado com as faces de corte do painel, em que todos os raios luminosos atravessam o elemento sem refletir nas superfícies de corte. É importante notar que no caso do painel posicionado a 0° os setores de admissão de luz estão todos voltados à edificação vizinha. Sendo assim, atesta-se o fato de que não houve possibilidade de entrada de luz solar direta em nenhum dos três cenários, fazendo com que toda a luz que atravessa o painel seja refletida pelas superfícies de corte.

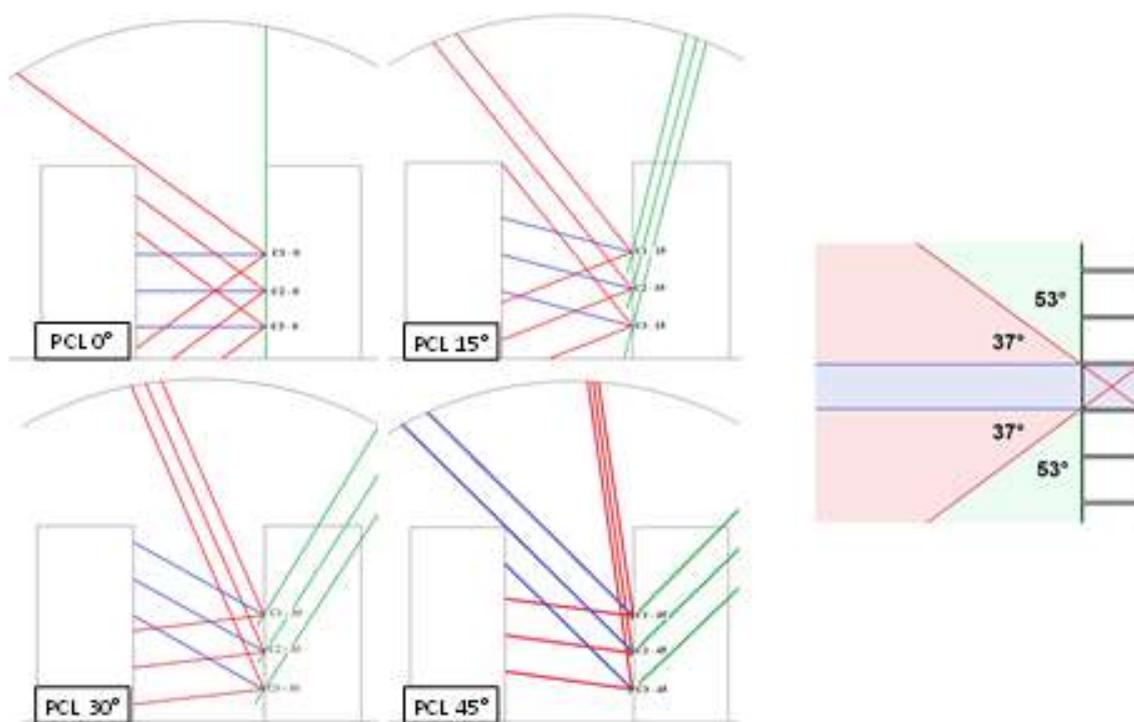


FIGURA 7 – Setores de Admissão da luz natural no PCL.

A análise mais aprofundada dos resultados apontou que alguns pontos próximos à janela em C2 tiveram incidência de luz solar direta em alguns períodos do ano, fazendo com que houvesse um aumento da EMA. O mesmo resultado não se repete para os demais, tendo em vista que para tais dias, em que houve entrada de luz direta, ela não atingiu os pontos de análise, mas a região próxima a eles, não tendo sido computada tal incidência. Esse acontecimento mostra a importância de definir corretamente uma malha de pontos em que tais efeitos não sejam desprezados.

Os resultados para uniformidade de iluminância apresentaram um comportamento distinto dos demais casos. Em todos os modelos houve uma redução da uniformidade entre C1 e C2, de até 42% para a orientação norte e céu claro. Quando analisada a variação entre C2 e C3, observa-se que para a orientação norte há um aumento de até 65,2% na uniformidade, entretanto, o mesmo comportamento acontece na orientação leste apenas na situação de céu encoberto. O aumento na uniformidade do modelo com menor visão de céu acompanha redução da iluminância média, indicando que a posição a 15° consegue bloquear os raios solares diretos que incidiriam no interior do ambiente. A diferença na trajetória aparente do sol entre as orientações norte e leste fez com que o mesmo comportamento não fosse verificado, já que o cânion nessa orientação está sujeito a maiores períodos de insolação direta que na orientação norte.

O estudo dos setores de admissão de luz para o painel de corte a laser evidencia que os cenários 1 e 2 têm parte do setor com céu visível, o que não acontece no cenário 3. Essa constatação indica que a posição a 15° funciona bem quando não há visão de céu pelo painel, fazendo com que toda a luz incidente diretamente seja refletida para o interior.

Na posição de 30° os resultados de UMA mostram que a redução do fator de céu é acompanhada pela redução nos níveis médios de iluminância, entretanto, a uniformidade não acompanha o mesmo comportamento. C2 obteve maior uniformidade, principalmente para a orientação norte, chegando a ser até 18,2% maior que os demais. Na orientação leste, esses resultados são menos expressivos.

Quando se analisa os setores de admissão do painel para a posição a 30° observa-se que nos três cenários já há visão de céu, permitindo que se tenha a possibilidade da entrada de luz solar direta, fato observado no conjunto de resultados verificado anteriormente.

A posição a 45° obteve comportamento da EMA semelhante modelo anterior. Houve, também, nessa situação, entrada de luz solar direta pelo painel, o que resultou em baixos valores de UMA. Em todos os casos, excetuando o céu DDL, houve redução da EMA acompanhada da redução da visão de céu nos cenários, comportamento semelhante à posição a 30°. Observa-se que a partir dos 30° haverá entrada de luz solar direta, pois a visão desobstruída do painel está praticamente toda voltada para a porção de céu visível. A redução da EMA entre C1 e C2 é de, em média, 12,5%, já entre C2 e C3 é de 72,5%. Tal comportamento atesta que nos dois primeiros cenários há entrada de luz solar direta – e que essa componente é responsável pelos altos níveis de iluminância.

Os resultados para UMA apresentaram comportamento distinto dos demais casos. Em todas as situações houve uma constância nos comportamentos e nos níveis atingidos, não variando entre si mais do que 12% para o mesmo cenário. Ao comparar C1 e C3 quanto à iluminância média e a uniformidade, observa-se que o painel conseguiu reduzir significativamente os picos de iluminância e conseguiu atingir uniformidade ligeiramente melhor. Na posição a 45°, os setores de admissão de luz natural para os três cenários estão totalmente expostos aos raios solares diretos. Entretanto, o percentual de luz solar direta é expressamente menor que nos casos anteriores, atestando que a posição a 45°, mesmo com ganhos pequenos em uniformidade, conseguiu reduzir consideravelmente a incidência de luz solar direta no ambiente.

Esses resultados sugerem uma relação entre o fator de visão de céu e o posicionamento do painel, entretanto a análise estatística dos resultados comprova de forma numérica precisa o comportamento da análise exploratória realizada. Todo o conjunto de resultados da análise estatística é apresentado na figura [8]. Quando avaliado o conjunto completo de dados observa-se que os valores de correlação obtidos são baixos, chegando a no máximo 0,56 entre o fator de visão de céu e a EMA.

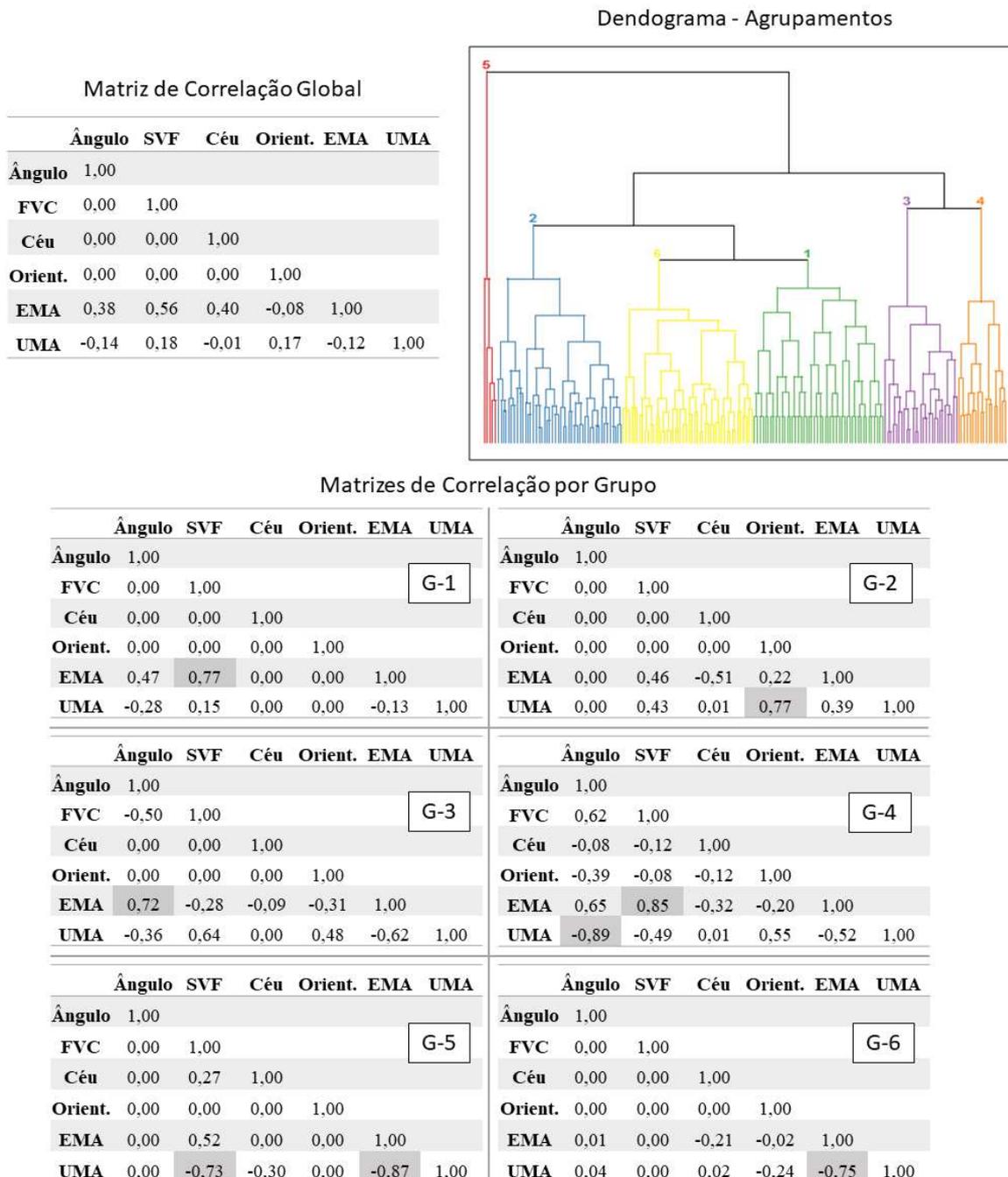


FIGURA 8 – Resultados da Análise Estatística: Matrizes de correlação dos dados globais e dos agrupamentos, bem como o dendograma de agrupamentos.

Os resultados apontam seis grupos de comportamentos distintos, São eles: G-1 com todos os resultados para o céu encoberto; G-2 com os resultados relativos aos cenários 1 e 2, com painel de corte a laser a 0° em todas as orientações; G-3 com resultados relativos aos cenários 1 com painel de corte a laser a 15° e os relativos ao cenário 2, com painel de corte a laser a 15° e a 45°; G-4 com os resultados relativos aos cenários 1 e 2 com painel de corte a laser a 30° e 45°; G-5 com os resultados com painel de corte a laser a 30° nos cenários 1 e 2, para a orientação norte e o G-6 com todos os resultados relativos aos cenários 3. Observa-se que os resultados para céu encoberto formam um grupo único. O cenário 3, com menor visão de céu, também foi agrupado em um único conjunto, apontando que a situação de menor visão de céu se distingue das demais. Os agrupamentos foram utilizados na segunda fase de análise, onde foram verificados o comportamento das variáveis envolvidas para conjunto de simulações.

A análise da matriz de correlação para o primeiro grupo (G-1), que corresponde a todas as simulações em que foi utilizado o céu encoberto, apresenta maior valor de correlação entre a EMA e o FVC, de 0,77, que entre o ângulo de aplicação do PCL, de 0,47. Tais valores mostram que há relação entre a visão de céu e a iluminância dentro dos ambientes. Na análise exploratória, percebe-se que esse aumento ocorre principalmente pelo incremento na componente refletida da luz.

Para o segundo agrupamento (G-2) a correlação que se destaca é entre orientação e UMA, de 0,77, indicando que o que o aumento no ângulo de aplicação do painel, caso não haja incidência de sol direto, gera um aumento de uniformidade, mesmo que pequeno.

Na análise exploratória, o grupo 3 (G-3) de resultados foi o que apresentou menor UMA entre todas as posições de aplicação do painel de corte a laser. Observam-se duas situações de correlação importantes: a primeira entre o ângulo de aplicação do painel e a EMA, e a segunda entre o fator de visão de céu e a UMA. Na primeira, o aumento no ângulo, para os modelos, resulta em um aumento da iluminância no interior do ambiente. Na segunda, o aumento da visão de céu acompanha um aumento na uniformidade. Essa segunda conclusão é observada na análise exploratória ao perceber que os cenários com maior visão de céu obtiveram uma menor entrada de luz solar direta que os casos com menor visão de céu.

O grupo quatro (G-4) foi o que obteve maiores valores de EMA e UMA. Importante notar que os melhores resultados novamente acontecem com a aplicação a 30° e a 45° do ângulo de aplicação do painel. A matriz de correlação apresenta valores expressivos entre o ângulo de aplicação do PCL e a UMA. Ao passo que o ângulo aumenta, para o grupo estudado, a uniformidade tende a diminuir. O fator de visão de céu obteve um alto índice de correlação com a EMA, o que mostra que nos casos estudados o aumento da visão de céu acarreta um aumento nos valores de média, mas sem comprometer os níveis de uniformidade.

O grupo 5 (G-5) foi o que apresentou o menor conjunto de simulações, compreendendo seis situações com a abertura voltada a norte e painel de corte a laser posicionado a 30°. As variáveis que obtiveram correlação expressiva entre FVC foram a EMA e a UMA. O comportamento observado no grupo é de crescimento da EMA e redução da UMA ao passo que o fator de visão de céu aumenta.

O último grupo (G-6) compreende a situação do cenário 3, em que se encontra o menor fator de visão de céu. O fato dele, excetuando as situações de céu encoberto, possuir grupo único permite concluir que para situações em que a visão de céu é reduzida o comportamento do painel de corte a laser deverá ser tratado de forma diferenciada de uma situação desobstruída ou com poucas obstruções. As correlações encontradas para este grupo não apresentaram valores significativos, apenas uma relação inversa entre EMA e UMA. A análise exploratória dos resultados aponta que este cenário

obteve um comportamento diferente dos demais, indicando que a reduzida visão de céu deva ser tratada de forma isolada dos demais casos. Vale ressaltar que mesmo nessa situação o cenário 3 com a aplicação do elemento teve a luz direta do sol bloqueada pelo painel, entretanto a pouca luz que chega ao painel, para as análises atuais, talvez não seja suficiente para gerar ganhos expressivos.

Considerações Finais

A análise da aplicação do painel de corte a laser nos cenários propostos apresentou diversos comportamentos, sendo importante destacar que a aplicação do elemento proporciona aumento na uniformidade da iluminância em todos os casos estudados, esse aumento pode chegar a até 42% para a orientação leste. O painel na posição vertical gera um aumento de uniformidade pelo bloqueio da luz solar direta advinda do cânion urbano, o que atesta que o uso do elemento na vertical pode funcionar como um protetor solar na janela, protegendo contra os raios luminosos que se concentrariam na parte próxima à janela, mas garantindo visão do exterior.

Em outras situações, como o painel a 30° e a 45°, os ganhos em uniformidade vêm acompanhados de aumento na iluminância média, o que aponta que tais posições são as mais indicadas para a aplicação do elemento. É importante notar que o desenvolvedor do painel de corte a laser recomenda a aplicação em cenários urbanos do painel a 30°, o que foi atestado com os maiores índices de uniformidade nesta posição, entretanto os resultados da aplicação a 45° foram os que obtiveram a menor incidência de luz solar direta nos ambientes.

Na análise estatística e exploratória, a influência na mudança de orientação do cenário urbano foi pequena, entretanto os melhores resultados foram encontrados para a orientação leste. Com a redução do fator de visão de céu, a influência da orientação se tornou cada vez menos significativa nos resultados, tendo em vista a reduzida visão de céu, e conseqüentemente a redução nas horas de insolação direta.

Observa-se, também, que os resultados mais expressivos ocorreram para os céus em que há sol visível, pois grande parte da luz dentro dos ambientes para os melhores resultados era da componente de sol refletido. Os resultados para o céu encoberto foram positivos para o ambiente, mas pouco expressivos se comparados aos apresentados nas demais situações, mostrando que os benefícios oriundos da aplicação do elemento decorrem, em grande parte, da reflexão da luz do sol.

Vale ressaltar que a ocorrência de sol direto em alguns resultados pode não ter sido identificada em decorrência da malha utilizada. A área de incidência da luz solar direta é menor do que a distância entre os pontos da malha, tendo em vista a pequena dimensão da abertura e da altura solar elevada, quando o sol é visível no cânion. Esse efeito faz com que ela nem sempre seja computada no cálculo das métricas e mostra que para elementos com frestas muito pequenas, ou ambientes com aberturas pequenas, a malha deve ser pensada para que tais efeitos não deixem de ser computados.

O cenário 3, que possui o menor fator de visão de céu, apresentou comportamento distinto dos demais, mas ainda assim conseguiu obter incrementos de iluminância e uniformidade, principalmente na posição de painel a 45°. O fato desse cenário ter tido comportamento diferenciado, e na análise de agrupamento ter configurado um grupo distinto, mostra a necessidade de se estudar melhor os cenários com visão de céu reduzida, menor que 20%.

Conclui-se que a redução do fator de visão de céu não apresentou uma relação direta

com a aplicação do painel de corte a laser para os cenários estudados, entretanto as condições de entorno devem ser levadas em consideração na análise, principalmente em situações de cânions urbanos muito estreitos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de mestrado durante a realização da pesquisa e à Universidade Federal de Alagoas.

Referências

AMORIM, C. N. D. Iluminação natural e eficiência energética – Parte 1: Estratégias de projeto para uma arquitetura sustentável. **Paranoá**, v. 4, p. 95-111, 2002.

ARAÚJO, I. A. L.; CABÚS, R. C. Influência da luz natural refletida pelo entorno na iluminação de edifícios em cânions urbanos no trópico úmido. In: ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2007, Ouro Preto. **Anais [...]**, p. 86-95, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ISO/CIE 8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho, Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013

_____. **NBR 15215-4**: iluminação natural parte 4: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações: método de medição. Rio de Janeiro, 2005

CHAPMAN L.; THORNES J.E.; BRADLEY A.V. Rapid determination of canyon geometry parameters for use in surface radiation budgets, **Theoretical and Applied Climatology**, n.69, p. 81-89, 2002. doi:10.1007/s007040170036

CHAVES, P. W. **Iluminação natural em escritórios**: o uso de painel prismático em aberturas laterais. 2012. 182 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2012

CIAMPINI, F. **Sistemas inovadores de iluminação natural, estudo de seu desempenho sob condições de céu real em Campinas**. 2005. 314p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

EDMONDS, I.R. Performing of laser cut light deflecting panels in daylighting applications, **Solar Energy Materials and Solar Cells**, n. 29, p. 1-26, 1993.

HOPKINSON, R. G.; KAY, J. D. *The Lighting of Buildings*. London: Faber and Faber, 1972.

(IEA) INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Daylight in Buildings**: A source book on daylighting systems and Components. Solar Heating and Cooling Programme, Energy Conservation in Buildings & Community Systems. Washington: IEA, 2000.

IZARD, J.; GUYOT, A. **Arquitetura Bioclimática**. Cidade do Mexico: Gustavo Gili, 1983.

LAAR, M. Daylighting systems for the tropics: The example of laser cut panels (Australia) and plexiglas daylight (Germany). In: International IBPSA Conference, Rio de Janeiro, 2001. **Proceedings [...]**, p. 1329-1334, Building Simulation, 2001.

LABIB, R. Improving Daylighting in Existing Classrooms Using Laser Cut Panels, **Lighting Research and Technology**, n. 45, p. 585-598, 2012.

LARANJA, A. C. **Parâmetros urbanos e a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. Rio de Janeiro**, 2010. 242p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

LESLIE, R. P. L. Capturing the Daylight Dividend in Buildings: why and how?. **Building and Environment**, v. 38, n. 2, p. 381-385. 2003.

LIMA, R. C. **Interferência do entorno construído na disponibilidade de luz natural no interior do ambiente no litoral norte de Maceió - AL**, 2015. 147p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015.

LITTLEFAIR, P. Passive solar urban design: ensuring the penetration of solar energy into the city. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, Londres, n. 2, p. 303-326, 1998.

MACEIÓ. Lei Municipal Nº 5.593, de 08 de fevereiro de 2007. Institui o Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió. **Diário Oficial de Maceió**, 2007

OKE, T.R. **Boundary Layer Climates**. 2. ed. Londres: Routledge. 1987. ISBN 0-415-04319-0.

RIBEIRO, P. V. S.. **Sistemas Avançados em Iluminação Natural: Análise da Influência da Configuração Urbana na Aplicação do Pannel de Corte a Laser em Maceió**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2016

SANTOS, S. D. P. **Sistemas avançados de iluminação natural: Estudo comparativo de vidros prismáticos, laser-cut, panels e channel panels**. 2009. 142p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2009.

SUGA, M. **Avaliação do Potencial de Aproveitamento de Luz Natural em Cânions Urbanos: Estudo Realizado nos Eixos Estruturais de Curitiba**. 2005. 213 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2005.

RESPONSABILIDADE INDIVIDUAL E DIREITOS AUTORAIS

A responsabilidade da correção normativa e gramatical do texto é de inteira responsabilidade do autor. As opiniões pessoais emitidas pelos autores dos artigos são de sua exclusiva responsabilidade, tendo cabido aos pareceristas julgar o mérito das temáticas abordadas. Todos os artigos possuem imagens cujos direitos de publicidade e veiculação estão sob responsabilidade de gerência do autor, salvaguardado o direito de veiculação de imagens públicas com mais de 70 anos de divulgação, isentas de reivindicação de direitos de acordo com art. 44 da Lei do Direito Autoral/1998: “O prazo de proteção aos direitos patrimoniais sobre obras audiovisuais e fotográficas será de setenta anos, a contar de 1º de janeiro do ano subsequente ao de sua divulgação”.

O CADERNOS PROARQ (ISSN 2675-0392) é um periódico científico sem fins lucrativos que tem o objetivo de contribuir com a construção do conhecimento nas áreas de Arquitetura e Urbanismo e afins, constituindo-se uma fonte de pesquisa acadêmica. Por não serem vendidos e permanecerem disponíveis de forma *online* a todos os pesquisadores interessados, os artigos devem ser sempre referenciados adequadamente, de modo a não infringir com a Lei de Direitos Autorais.

Submetido em 16/01/2020

Aprovado em 29/05/2020