



COBERTURAS DE LUZ PARA UMA MELHOR DISTRIBUIÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL DENTRO DOS ESPAÇOS ATRIAL

ROJAS, Jeannette Roldán (1); LEIVA, Pablo Soto (2);

MORALES, René Perea (3)

(1) Universidad de Chile, jroldan@uchilefau.cl

(2) Universidad de Chile, pablo.soto.l@gmail.com

(3) Universidad de Chile, rene.perea@uchilefau.cl

RESUMO

Investigações locais abordaram o bem-estar da luz em vários espaços interiores, enquanto o caso do átrio não foi aprofundado, considerando que a capacidade de iluminação natural no interior diminui em edifícios altos. Este espaço é típico da trama urbana do centro histórico da cidade de Santiago, que permite cem por cento das terras construídas. Na busca pelo conforto da luz, analisamos a distribuição da luz na cavidade considerando uma solução de teto com tratamento a laser. Até o ano 2000, os estudos de luz aumentaram devido ao impacto em nossa saúde além da percepção retinóide, como os benefícios circadianos para nosso organismo, considerando a relação interior-exterior que permite a cobertura transparente como a única superfície de entrada da iluminação natural. A partir de uma metodologia experimental, abordamos o comportamento óptico da luz (REINHART, 2014), em materiais translúcidos e transparentes de acrílico e policarbonato (Pc), tratado com cortes a laser (LCP). Selecionamos o PC com 6 mm de espessura, considerando a distância de corte (d) e a profundidade como a primeira variável (P), (EDMONDS, 1999). Alavancar melhor da luz dentro da cavidade, dependência da espessura da placa (BANAH, et al. 2012), acabou por (d) 4mm e (P) 3mm, com placa duplo, um com os cortes correspondentes e outro com cortes desatualizados. Testamos a placa em relação à horizontal, em ângulos de inclinação: 0°, 10°, 20° y 30°; por sua vez, incorporamos as alturas solares típicas para latitude 33,4° S (30°, 57°, 80°). Verificamos simulando em *Ray Optics Simulation* o comportamento da luz irradiada através do material. Alcançamos um melhor desempenho de iluminação para a inclinação 30°.

Palavras-chave: Átrios, decks luminosos, iluminação natural, corte a laser, LCP

ABSTRACT

Local investigations have addressed the well-being of light in various interior spaces, while the case of the atrium has not been deepened, considering that the natural light capacity of the interior decreases in tall buildings. This space is typical in the urban plot of the historic city center of Santiago, which allows one hundred percent of the land built. In the search for daylight comfort, we analyzed the light distribution in the cavity considering a laser-treated ceiling solution. Until the year 2000, daylight studies increased due to the impact on our health beyond retinoid perception, as the circadian benefits to our body, considering the interior-exterior relationship that allows transparent coverage as the only entrance surface of natural light. From an experimental methodology, we approach the optical behavior of light (REINHART, 2014) in translucent and transparent acrylic and polycarbonate (Pc) materials, laser cut treated (LCP). We selected the PC with 6 mm thickness, considering the cutting distance (d) and depth as the first variable (P), (EDMONDS, 1999). Better leveraging of daylight inside the cavity, depending on the thickness of the plate (BANAH, et al. 2012), ended up with (d) 4mm and (P) 3mm, double plate, one with matching cuts and another with outdated cuts. We tested the plate horizontally at inclination angles: 0°, 10°, 20° and 30° in turn, we incorporate the typical

solar heights for latitude 33.4 ° S (30 °, 57 °, 80 °). We verify by simulating in Ray Optics Simulation the behavior the beams of light through the material. We achieved better lighting performance for the 30° tilt.

Keywords: *Atriums, light roof, daylighting, laser cutting, LCP.*

1 INTRODUÇÃO

O átrio é um recurso espacial interno, de edifícios contemporâneos de comércio e serviços. Evoluiu desde meados do século XIX, juntamente com o desenvolvimento da tecnologia de vidro e aço (SAXON, 1986). A incorporação do átrio, exerce uma função social e reside na cavidade impressionante do espaço contido, alcançando grandes dimensões e facilitando assim múltiplos usos. No século XX, o concreto armado permitiu consolidar essa nova tipologia da arquitetura (BEDNAR, 1985).

A iluminação natural é fundamental para o interior dos espaços arquitetônicos, pois a entrega promove o bem-estar e se conecta visualmente ao ambiente. No caso do átrio, ele dá sua própria marca distintiva (SWINAL 2010) e, por outro lado, favorece nossa condição biológica saudável, fortalecendo o ciclo circadiano (WURTMAN, 1975), incentivando o bom funcionamento dos mecanismos de percepção da luz e das sombras. conectar-se a eles durante o dia (BRAINARD, et al., 2001).

Uma boa distribuição de luz natural no átrio não é habitual, porque geralmente se concentra no telhado ou não atinge os níveis mais baixos e definitivamente não ajuda no uso do primeiro nível, onde as atividades podem ser carísimas e exige promover um ambiente saudável e economizador de energia, promovendo assim diferentes propósitos sustentáveis.

Em pesquisas anteriores, foi avaliado o desempenho da iluminação natural, no térreo de um modelo, de acordo com o inventário feito com os edifícios do átrio construídos em Santiago nos últimos 30 anos, onde a tipologia de quatro lados (fachadas interiores) dominou e iluminou o teto, considerando também diferentes variáveis de incidentes na iluminação diurna no interior do átrio, com base na orientação e na altura da configuração geométrica incidente na cavidade espacial, de um modelo extraído do inventário realizado em Santiago, (ROLDÁN, 2017).

A distribuição da luz natural e do ofuscamento são dois comportamentos habituais, que requerem controle devido ao enorme potencial de luz externa disponível, uma vez que são necessários níveis mais baixos para o desenvolvimento de nossas atividades.

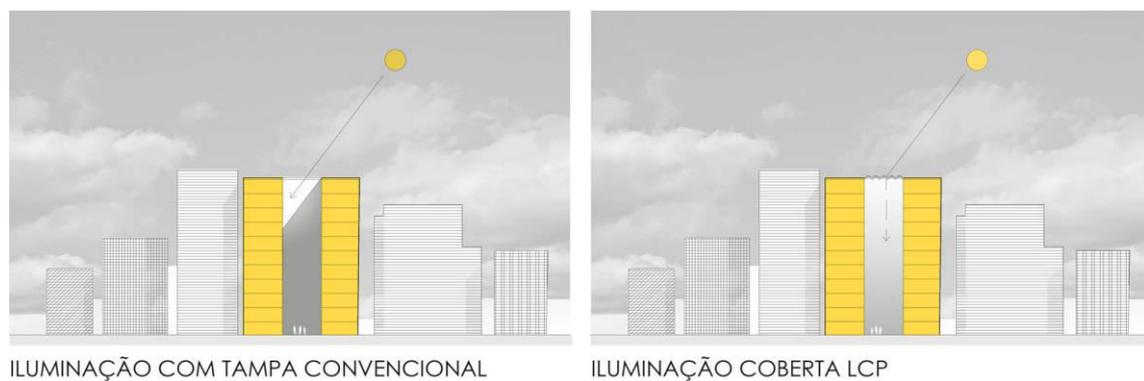
A dispersão da luz solar provou ser uma estratégia bem-sucedida, especialmente em telhados brilhantes, de acordo com evidências de altas latitudes geográficas. A incorporação de superfícies vidradas e / ou acrílicas, com tratamento bidirecional de raios solares, como o painel de corte a laser (LCP) (EDMONDS 1993; 199; TRAVERS 1996), é uma tecnologia

que incorpora as propriedades da teoria da refração, de acordo com a lei de Snell para obter maior iluminação interior, um conceito teórico que permite que um feixe de luz seja dividido em dois componentes principais, um transmitido e outro refletido.

Para obter a melhor distribuição de luz para o interior e, posteriormente, controlar os fatores de desconforto visual, foi proposto o projeto de um telhado baseado na tecnologia de corte a laser em painéis de acrílico, pouco abordado localmente no compartimento de luz dos espaços em que habitamos.

Conforme indicado na Figura 1, busca-se projetar, avaliar e quantificar um compartimento de luz que dispersa a luz natural, de acordo com o tratamento LCP em um modelo de espaço do átrio (Waiting Hall) em Santiago, que oferecerá conforto leve ao controlar setores bem iluminados, em oposição a outros em total sombra.

Figura 1 – Comparação esquemática da distribuição da luz



Fonte: Produção dos próprios autores (2019)

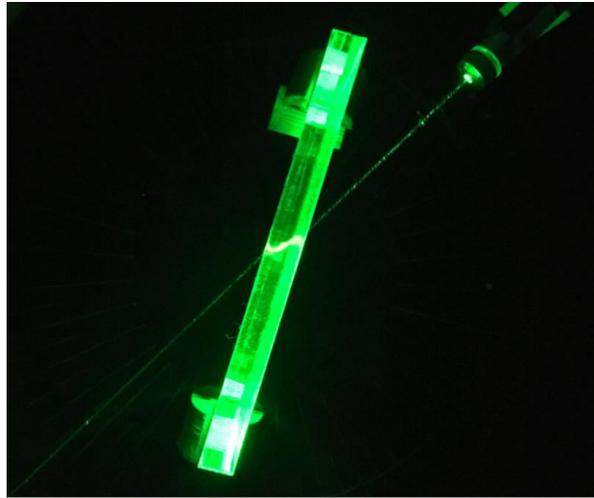
2. COMPORTAMENTO ÓPTICO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

Plantamos diferentes sondas físicas para verificar o comportamento óptico da luz, de acordo com os ângulos e a geometria descritos em painéis de acrílico e policarbonato; ambos os materiais pertencem à categoria de painéis defletores de luz (REINHART, 2018); uma vez tratado com corte a laser de CO₂ (LCP). As investigações de superfície têm sido extensivamente estudadas devido aos grandes benefícios dessa técnica, que é completamente controlada pelo CNC (controle numérico por computador), que permite a troca do trabalho de corte de um material específico em muitos casos. curto espaço de tempo (ION, 2005).

Obtivemos cada corte de uma matriz de elementos retangulares quando o laser penetrou em uma fina camada do painel que transmite e desvia a luz por refração e reflexão interna completa, Figura 2. O painel contém vários espaços lineares microscópicos finos, cada um dos quais fornece uma faceta que intercepta e redireciona parte do raio incidente (VENTURI,

et al. 2006). Esse comportamento está relacionado ao índice de refração do material, sempre superior à refração do ar 1

Figura 2 – Refração da luz



Fonte: Produção dos próprios autores (2019)

As principais metodologias de análise foram fornecidas a partir de Brisbane, Austrália, latitude geográfica 27°28 'S, (EDMONDS 1993) a partir dos estudos característicos realizados em superfícies acrílicas cortadas com laser, o que permite cortes muito polidos (BEHAR, et al. 2013) identificando a relação proporcional entre a profundidade e a distância dos cortes realizados, de acordo com a fórmula:

$$LCP = P/d \quad (1)$$

onde, LCP = Corte do Painel a Laser;
 P = profundidade de corte;
 d = distância entre cortes.

Os testes realizados para melhorar a iluminação natural dentro do salão principal do museu de arte Ein Harold, através de um teto de acrílico tratado com laser, forneceram informações básicas sobre os telhados inclinados e o desempenho da iluminação a 32° de latitude geográfica.

3. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS

A evolução técnica dos dutos de luz foi útil para revisar (NAIR, et. Al, 2015, GARCÍA HANSEN; et. al 2003) esclareceu as cabines de luz na câmara escura a partir dos testes de refração realizados com diferentes amostras de cortes a laser feitos em diferentes materiais.

Nossa metodologia de trabalho incluiu duas etapas, o primeiro delineamento experimental e a segunda simulação do comportamento refrativo.

3.1 MODELO DE ESTUDO FOCADO

A metodologia aplicada nesta etapa da investigação foi experimental e considerou a elaboração de um modelo de estudo focado, com diferentes opções de cortes nas placas transparentes, nas duas proporções do PCL, 1,28 e 1,4; resultante da fórmula (1); onde a distância (d) foi de 3,5 mm nos dois casos, com uma profundidade de 4,5 mm e 5 mm, respectivamente.

Da acordo com EDMOND, 1993; *"The fraction deflected is shown as a function of incidente angle [...]. The general features to note are that as the ratio D/W (P/d) increases more light incidente as a higher angles of incidences in deflected."* (p. 7). Realizamos os testes de refração a partir dos ângulos típicos de altitude solar na localização geográfica de 33°4 's da cidade de Santiago; 30° solstício de inverno, 80° verão e 57° equinócio.

Na Tabela 1 abaixo, apresentamos a posição variável da placa em relação à horizontal, identificando 4 ângulos de inclinação da luz do teto: 0 °, 10 °, 20 ° e 30 °, todas as posições orientadas à fonte de luz. Ele também incorpora a altitude solar mais relevante no contexto local de Santiago, 30 °, 57 ° e 80 °.

Tabela 1 – Ângulo de altitude solar típico e elevação da placa

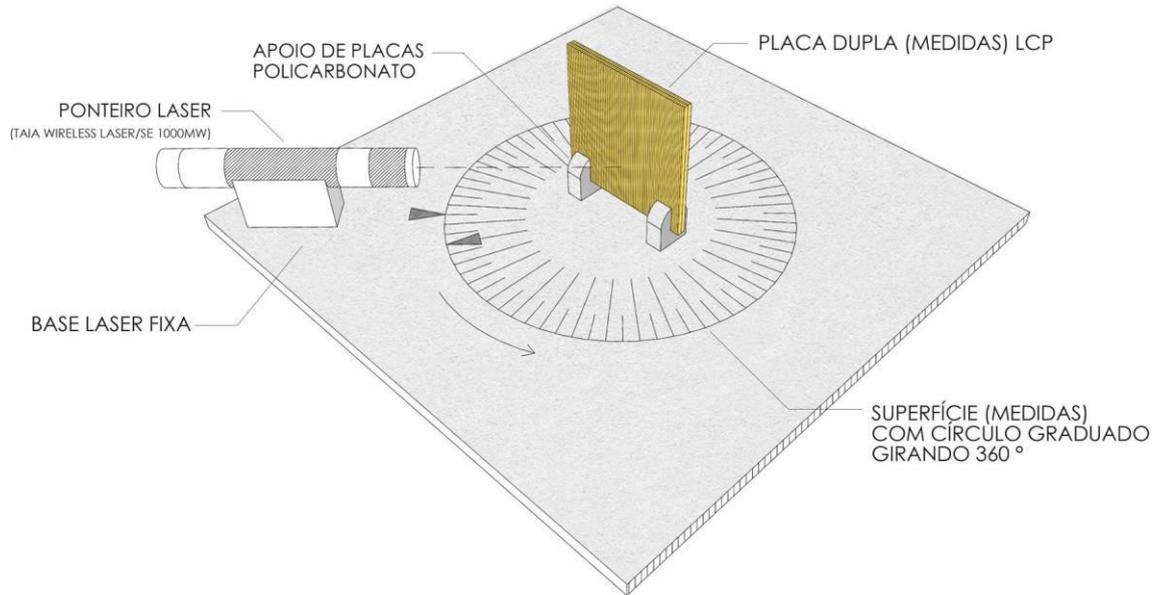
Ângulo sonda \ Altitude Solar	0	10°	20°	30°
30°	30°	40°	50°	60°
57°	57°	67°	77°	87°
80°	80°	90°	100°	110°

Os modelos de acrílico e policarbonato foram feitos de 150 x 150 x 6 mm. Todos foram compostos por placas duplas, cada uma com a razão LCP indicada acima.

Os cortes de cada amostra, em acrílico e policarbonato transparente de 6 mm, foram feitos em equipamentos a Laser CO2. 1600 x1000 / 130 W. Eles foram testados em um ambiente controlado, usando um laser verde astronômico como fonte de luz (TAIA wirwless laser SE 100mw).

Finalmente, uma tabela foi desenvolvida para fixar as amostras e o laser (feixe incidente) durante os testes. A Figura 2 mostra os componentes da mesa de trabalho, a construção de uma superfície rotativa para estabelecer a posição angular da placa e os efeitos da refração e reflexão do laser verde que se projeta sobre LCP.

Figura 3 – Mesa de trabalho



Fonte: Produção dos próprios autores (2019)

Segundo a Tabela 1, foram realizados 12 testes fotográficos em câmara escura, observando o desempenho luminoso de cada material conforme $LCP = 1,28$ e $LAP = 1,4$. Concluímos 48 disparos ao aplicar o atraso das placas em relação ao tratamento a laser.

3.2 SONDAS FINAIS

A partir dos testes fotográficos, finalmente selecionamos o material definitivo com policarbonato totalmente transparente com 6 mm de espessura, considerando o tratamento a laser a uma distância de corte $d = 3$ mm como a primeira variável e o segundo a profundidade de $P = 4$ mm.

Para o melhor uso da iluminação do átrio de acordo com a espessura da placa, a proporção de acordo com a fórmula (1) para cada teste foi $LCP = 1,33$. Decidimos continuar com o teste de placa dupla devido a um critério de resistência mecânica e controle de peso, pois geralmente o painel operado a laser requer vidro de dupla face para suportá-lo.

Propomos duas condições de teste para o modelo final, o primeiro; coincidente nos cortes feitos e uma segunda configuração fora de fase e centrada em relação ao espaço entre os cortes de 3 mm.

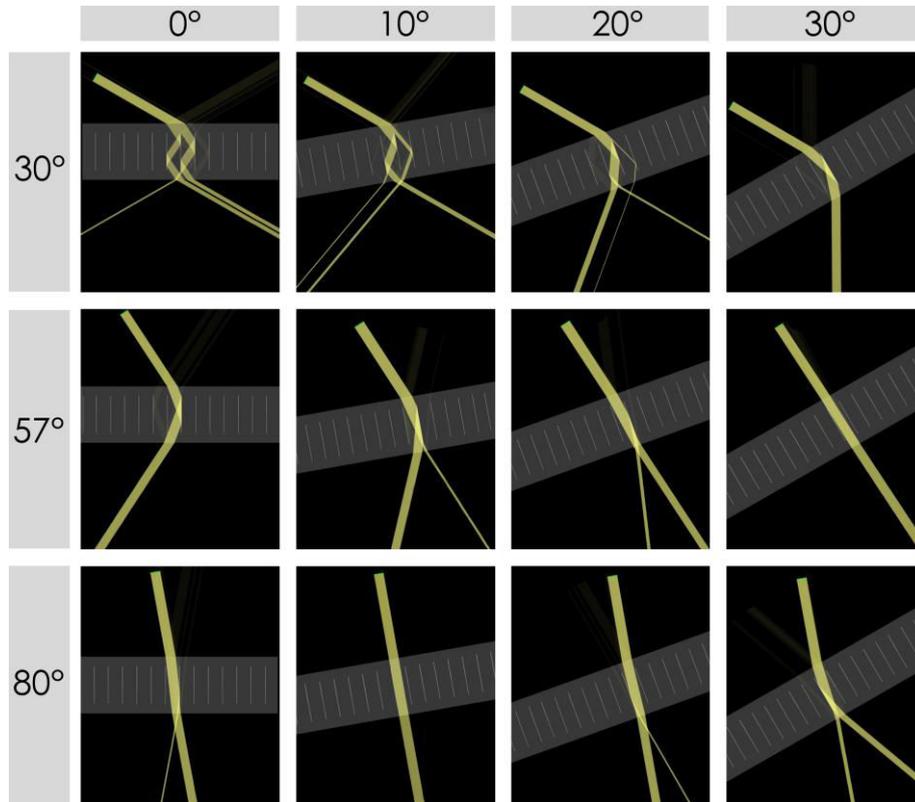
3.3 TESTE DIGITAL

Ao mesmo tempo, fizemos um modelo digital simulado no Ray Optics Simulation, uma ferramenta de código aberto para a avaliação da refração e reflexão da luz, testando o material definitivo policarbonato,

cujo coeficiente de refração é 1,58. Isso nos levou a analisar e verificar o comportamento do feixe de luz incidente nas placas, conforme observado nos testes físicos.

As variáveis angulares testadas estão descritas na Tabela 1.

Figura 4 – Simulações do desempenho leve da refração



Fonte: Produção dos próprios autores (2019)

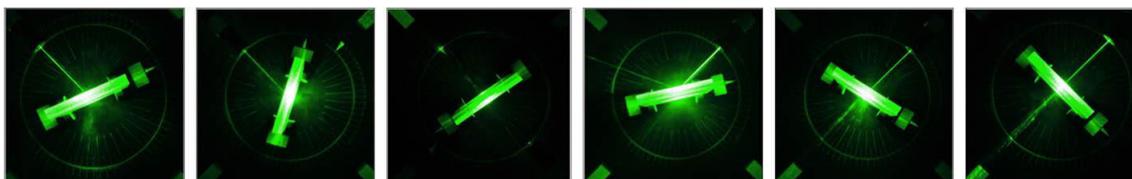
4. RESULTADOS

Um breve resumo dos modelos finais registrados é apresentado na Figura 5. Primeiro, observamos neles o raio incidente (laser verde) da área superior das fotografias, o modelo de placa em cada teste gira de acordo com a inclinação da tampa. Como o feixe incidente afeta o espécime em relação ao normal, a luz refratada diminui, sendo observada a transmissão direta com poucas modificações.

A dispersão da luz dentro das placas promove o efeito difuso e permite maior iluminação geral.

Selecionamos as seguintes imagens entre aquelas que permitiram visualizar uma maior dispersão da luz pelo efeito de refração, o que indica uma maior distribuição da luz.

Figura 5 – Evidência fotográfica na câmara escura

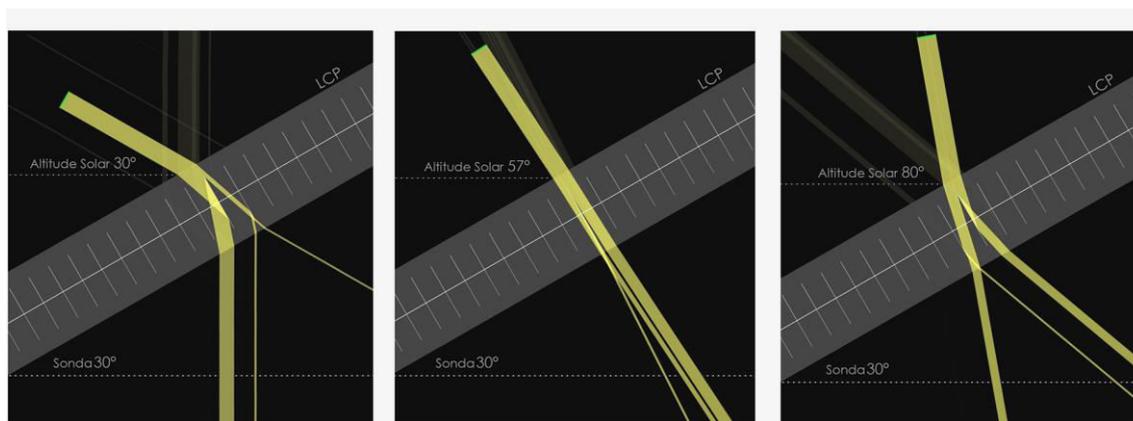


Fonte: Produção dos próprios autores (2019)

Quanto aos testes digitais, pudemos esclarecer alguns resultados obtidos nos testes fotográficos, uma vez que nos permitiu visualizar o efeito isolado da incidência de luz e verificar a geometria da refração excluindo a dispersão da luz. Ao mesmo tempo, corroboramos a eficácia dos cortes coincidentes das chapas unidas, uma vez que aumentam a superfície refletiva dessas, aumentando assim o desvio da luz.

Selecionamos a inclinação de 30 ° das placas para as etapas seguintes desta investigação, considerando-a uma alternativa apropriada principalmente em baixas alturas solares, pois desviaria a luz diretamente para dentro da cavidade. Nos casos de alturas solares intermediárias (57 °), o desempenho é arriscado devido ao baixo desvio dos raios incidentes e, em altitudes mais elevadas, o efeito reduz o impacto direto no interior, distribuído em diferentes direções

Figura 6 – Esquema proposto de inclinação da cobertura



Fonte: Produção dos próprios autores (2019)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na busca de um teto luminoso que favoreça a distribuição da luz no espaço do átrio de quatro lados e a entrada da iluminação zenital, os

testes permitiram encontrar uma inclinação favorável do teto com tratamento com LCP a 30 °, conforme com a espessura de 6 mm.

Simulações para a verificação gráfica da refração da luz esclareceram com maior certeza a inclinação do teto mais adequado.

A metodologia adotada permitiu verificar, de acordo com propostas esquemáticas para latitude 33,4 °, os desempenhos de luz mais favoráveis de acordo com o objetivo de controle e distribuição da luz solar.

Podemos dizer que o espécime selecionado nos deu resultados favoráveis em casos de inverno com uma melhor distribuição de luz na cavidade, promovendo a economia de energia desse tipo de edifício, cuja vocação é trazer iluminação natural aos espaços interiores. No entanto, a dinâmica dos caminhos solares dificulta a opção de uma única inclinação do telhado, de modo que, para as altitudes médias do ano, sua eficiência diminui e, nas maiores, terá melhor desempenho, pois indica desvios variados da luz com possibilidades. de controle.

A análise angular da luz em cada uma das amostras nos deu uma ampla compreensão do comportamento local da luz a partir de desempenhos comparáveis, antecipando aqueles que podem complementar os resultados comprovados em direção a uma solução integral que cobre a maior parte do controle e desempenho da luz, o que nos permitiria, em futuras investigações, incorporar outras características do material não testado neste caso, como cor e transparência.

Na busca pelo conforto da luz, nossa próxima investigação experimentará novas propostas para uma cobertura integral, desta vez com base em evidências fotográficas que verificam o brilho luminoso.

REFERÊNCIAS

- BEDNAR, M. J. **The New Atrium**. New York.Ed. Mcgraw-Hill. 1985. 202 p.
- BEHAR, D.; CAPELUTO, G; LEVIN, M. Light restoration proposal for the Ein Harod Museum of Art. **Architectural Science Review**, p. 1-14, June. 2013. DOI: 10.1080/00038628.2013.809687
- BRAINARD, G.; HANIFIN, J.; GREESON, J.; BYRNE, B.; GLICKMAN, G.; GERNER, E.; ROLLAG, M. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor. **The Journal of Neuroscience**. 21(16): 6405–6412. 2001.
- EDMONDS, I. R Performance of laser cut light deflecting panels in daylighting applications. **Sola Energy Materials and Solar Cells**, 29, p.1-26, 1993.
- EDMONDS, I.R.; Pearce, D.J. Enhancement of crop illuminance in high latitude greenhouses with laser-cut panel glazing, **Sol and Energy** 66 (1999) 255–265.
- GARCIA HANSEN, V. EDMONDS, I. Natural illumination of deep- plan office buildings : light pipe strategies. In: ISES SOLAR WORLD CONGRESS 2003, 14-19: Goteborg, Sweden. June 2003. <https://eprints.qut.edu.au/19105/1/c19105.pdf>

- HUANG, T. Y.; HOCHENG, H.; CHOU, T. H.; Yang, W. H.; Ting, C.J.; Cheng, K.-Y.; Hsieh, C. W. Design and fabrication of sunlight-redirecting and infrared insulating microstructure. **Energy and Buildings**, 90, p. 114–126. Jan. 2015.
- ION, J. C. **Laser processing of engineering materials. Principles procedure and industrial application**. Elsevier. Butterworth- Heinemann. 2005. 576 p.
- NAIR, M. G.; GANESAN, A. R.; RAMAMURTHY, K. Daylight enhancement using laser cut panels integrated with a profiled Fresnel collector. **Lighting Research & Technology**. Vol. 47, p.1017–1028. July 2015.
- REINHART, C. F. **Daylighting handbook I. Fundamentals Designing with the Sun**. Boston. United State: Building Technology Press. 2014. 172 p.
- REINHART, C. F. **Daylighting Handbook II. Daylight Simulations. Dynamic Facades**. Boston. United State: Building Technology Press. 2018. 249 p.
- ROLDÁN R. J. **Caracterización geométrica y lumínica de los atrios incorporados en los edificios de Santiago de Chile**. 365 p. Tesis Doctorado en Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Escuela Técnica Superior, Universidad Politécnica de Madrid. 2016.
- ROLDAN, J. Daylight performance depending on the atrium geometry conditions within buildings in Santiago de Chile. In: PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, PLEA 2017, Edinburgh. Scottish. 1-2 y 3 Julio. Proceedings. <https://plea2017.net/>
- SAXON, R. **Atrium Buildings: Development and Design**. London. 2nd Edition, Architectural Press. 1886. 230 p.
- SWINAL, S. A critical review of articles published on atrium geometry and surface reflectances on daylighting in an atrium and its adjoining spaces. **Architectural Science Review**, 53:2, p.145-156. 2010.
- VENTURI, L; WILSON, M.; CENG M.; JACOBS, A. SOLOMON. J. Light piping performance enhancement using a deflecting sheet. **Lighting Research & Technology**. 38, 2. 2006. June. 167-180 pp.
- WURTMAN, R. The effects of light on the human body. **Scientific American**. 1975. 8 p.

AGRADECIMENTOS

Foi possível desenvolver esta pesquisa graças ao financiamento da Universidade do Chile por meio do projeto FAU 2.0 Research by Design da Escola de Arquitetura e Urbanismo.