

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

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

DUTOS VERTICAIS DE CAPTAÇÃO DE LUZ NATURAL E VENTILAÇÃO CRUZADA EM SALAS DE AULA¹

**LEDER, Solange Maria (1); QUIRINO, Luana Maria de Medeiros (2); PEREIRA, Yasmin
Vaz Cavalcanti (3)**

(1) UFPB, e-mail: solangeleder@yahoo.com.br; (2) UFPB, e-mail:
luanammq@gmail.com; (3) UFPB, e-mail: yasminvaz_47@hotmail.com

RESUMO

A escola não pode se limitar a educar apenas através do discurso, ela própria, como lugar, deve ser um exemplo de educação ambiental. Assim, este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de aberturas para salas de aula capaz de proporcionar ao mesmo tempo: níveis adequados de iluminação natural e ventilação cruzada, sem os inconvenientes acústicos provenientes dos corredores. Dois tipos comuns de projeto de salas de aula foram utilizados: a) sala e corredor e b) sala, corredor e sala. A concepção do sistema de iluminação natural teve como base estudos de sombreamento e da visão do exterior com o programa SketchUp e simulações de iluminação natural com o programa Daysim. A análise do desempenho lumínico foi realizada tendo como parâmetro a Iluminância Útil da Luz Natural (IULN). Para o clima em estudo, quente e úmido (latitude 7° 05' S) o sistema de iluminação proposto apresentou: 70% do ano com iluminâncias no intervalo de 100 a 2000 lux (IULN) em 100% dos ambientes em estudo (salas de aula); distribuição homogênea dos níveis de iluminação e controle da entrada da luz solar direta no ambiente.

Palavras-chave: Iluminação natural. Ventilação natural. Salas de aula.

ABSTRACT

An school building itself should be an example of environmental education. This work focuses on developing an opening system for classrooms that uses natural resources: lighting and ventilation. The proposed system allows a separation between light and ventilation sources, avoiding acoustic conflicts. Two common types of classrooms project were used: a) classroom plus corridor and b) classroom plus corridor plus classroom. The opening system design was made taking the following steps: shadow studies and outside view using SketchUp software, and daylighting simulations using Daysim software. The analysis of daylighting performance was made using the dynamic parameter Useful Daylight. The illuminance levels were grouped into three ranges: a) below 100 lux; b) between 100 and 2000 lux (desirable level); c) above 2000 lux (related to glare problems). Considering the local climate, hot and humid (latitude 7 ° 05 'S), the proposed lighting system resulted in an satisfactory illuminance level (range of 100 to 2000 lux) in 70% of the year; homogeneous distribution of lighting levels and direct sunlight control inside the classrooms.

Keywords: Daylighting. Natural ventilation. Classrooms.

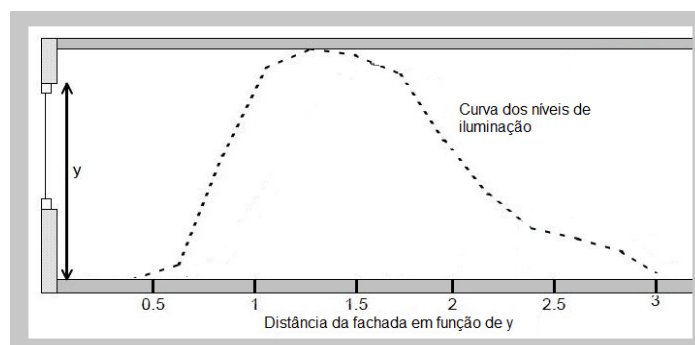
¹ LEDER, Solange Maria; QUIRINO, Luana Maria de Medeiros; PEREIRA, Yasmin Vaz Cavalcanti. Dutos verticais de captação de luz e ventilação em salas de aula: desenvolvimento e análise do desempenho. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Globalmente, quase um 1/5 do montante da energia elétrica produzida é consumido com a iluminação artificial (EARTH POLICY INSTITUT, 2010), enquanto a luz natural, fonte gratuita e renovável, é abundante, especialmente em países tropicais. A economia de energia elétrica com a substituição da iluminação artificial pela natural pode chegar a até 80% (BODART e DE HERDE, 2002), além disso, ao se negligenciar a luz natural, abre-se mão dos inúmeros benefícios fisiológicos e psicológicos que a mesma proporciona. Contudo, o aproveitamento da luz natural requer um projeto arquitetônico detalhado.

Distribuição não homogênea, níveis em excesso ou insuficientes são problemas recorrentes no aproveitamento da iluminação natural. A janela unilateral, normalmente utilizada, tem a desvantagem de apresentar elevados níveis de iluminação natural em sua proximidade e baixos níveis no fundo da sala. O alcance da luz natural, neste caso, depende da altura da janela e da profundidade do ambiente. Aberturas laterais podem iluminar naturalmente um ambiente interno até uma profundidade de 1,5 a 2,0 vezes a altura da janela, acima do piso (REINHART, 2005), Figura 1.

Figura 1 – Curva dos níveis de iluminação a partir da abertura lateral



Fonte: Adaptado de Reinhart, 2005

O excesso de iluminação gera ofuscamento, reflexões, brilho ou contrastes excessivos que, além da redução da eficácia visual, provocam desconforto físico (HEERWAGEN e DIAMOND, 1992). Pesquisas indicam que, diante do desconforto ou da dificuldade em realizar suas tarefas as pessoas acabam reduzindo ou eliminando a contribuição da luz natural, com cortinas ou outros anteparos improvisados (BOYCE, HUNTER e HOWLET, 2003), desperdiçando assim os benefícios da luz natural. Níveis excessivos de luz natural também estão associados à presença de luz solar direta no ambiente interno, o que resulta em desconforto térmico nos períodos de calor.

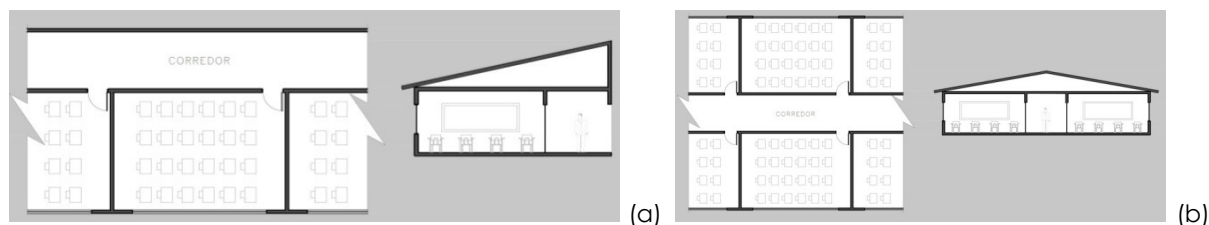
Uma solução recomendada para corrigir as limitações da abertura unilateral é a utilização de aberturas em paredes opostas que apresenta a vantagem de promover a ventilação cruzada. Contudo, em salas de aula comumente a parede oposta (à abertura lateral) faz divisa com a circulação, cujo contato direto pode gerar problemas acústicos. Assim, a substituição da abertura por um duto individualizado pode ser uma estratégia adequada.

Os dutos de iluminação voltados para o zênite (aberturas zenitais) melhoram a distribuição da luz natural no ambiente e reduzem o contraste. O potencial de iluminação do duto depende de variáveis como o comprimento e a largura, a altura e o coeficiente de reflexão interno (BAKER e STEMMER, 2002; LAM, 1986; ROBBINS, 1986).

Além da economia de energia a qualidade de vida é, seguramente, o ganho maior proporcionado pelo uso da luz natural. No edifício escolar, objeto do presente estudo, o mais importante em termos de iluminação natural são os ganhos fisiológicos e psicológicos que esta proporciona. A luz natural é o mais importante estímulo ambiental de regulação do sistema circadiano. Ela incide sobre o nosso ânimo e comportamento, regula nosso relógio biológico e a produção de elementos vitais, como a vitamina D. A exposição à luz solar, mesmo através do vidro, elimina vírus e bactérias e é útil, especialmente no inverno, quando a incidência de infecções respiratórias é maior. Principalmente em ambientes ocupados por crianças, questões relacionados com a saúde e associadas à luz natural como: a melhora da visão, a redução da miopia e da tensão ocular, o estímulo ao desempenho cognitivo, a redução de distúrbios como o déficit de atenção e a hiperatividade (BOUBEKRI, 2008; VEITCH e GALASIU, 2012; ARIES et al, 2015), não podem ser desprezados pois incidem na qualidade do aprendizado.

Na arquitetura escolar dois tipos de plantas são recorrentes: a) sala-corredor e b) sala-corredor-sala (Figura 2). Esses tipos são predominantemente utilizados em projetos de escolas térreas ou com dois pavimentos.

Figura 2 – Planta tipo sala – corredor (a) e Planta tipo sala – corredor – sala (b)



Fonte: Os autores

A iluminação natural em salas de aula é através de aberturas unilaterais que, normalmente, apresentam os dois problemas já relatados, comuns em sistemas convencionais de iluminação natural. Aberturas altas, na parede entre a sala e o corredor, podem em algumas situações contribuir para melhorar a distribuição da luz natural no ambiente, estas, têm sido projetadas para promover a ventilação cruzada (natural).

Assim como a iluminação natural, a ventilação natural é também um recurso de extrema relevância para o conforto ambiental e a eficiência energética do edifício: promove a troca do ar, a redução da umidade, o conforto térmico dos usuários e o resfriamento da edificação. O bom desempenho da ventilação natural depende do desenho apropriado das aberturas do edifício, que deve estar de acordo com o clima local. Para favorecer a

ventilação natural é importante atender a algumas exigências como: aberturas localizadas em paredes opostas, que permitem a ventilação cruzada; aberturas na direção do vento e, quando possível, aberturas em diferentes alturas (SERRA, 1999; HERTZ, 1998).

Considerando a solução comumente adotada em salas de aula: aberturas laterais, quando unilaterais, a ventilação cruzada só é possível com a abertura da porta de entrada, voltada para o corredor. A disposição de aberturas bilaterais, com uma abertura voltada para o exterior e aberturas altas voltadas para o corredor, permite a ventilação cruzada constante. Porém, a ventilação natural através do corredor gera conflitos acústicos, pois, o som produzido na sala de aula, ou nos corredores, invade as salas vizinhas através dessas aberturas dispostas no corredor. Níveis impróprios de ruídos em salas de aula tem efeito nocivo na percepção oral, na leitura, na atenção e na concentração dos estudantes (ASHA, 2005). Assim, para reduzir o ruído de fundo é necessário que as aberturas para ventilação sejam independentes, com o menor contato possível com outras fontes de ruído.

A escola não pode se limitar a educar apenas através do discurso pedagógico, ela própria, como lugar, deve fazer parte do processo educacional. Proporcionando condições ambientais favoráveis ao aprendizado, tanto na dimensão cognitiva quanto fisiológica. As aberturas, como elementos arquitetônicos, através dos quais se estabelece a relação entre o espaço interno e o externo tem papel preponderante nesse processo. A visão do ambiente externo também contribui para o bem estar, particularmente se estiver associada à natureza ou uma paisagem atraente. Preferencialmente a linha do horizonte deve estar visível, evitando-se a separação entre céu e elementos do entorno construído ou natural. As recomendações da norma britânica (BS 8206:2008) priorizam: a visão do exterior, a aparência do ambiente interno e a iluminação da tarefa. Em relação à visão do exterior, a altura da abertura deve ser superior à altura de uma pessoa em pé enquanto o peitoril deve ter altura inferior à altura dos olhos de uma pessoa sentada. Em ambientes direcionados à crianças (creches, etc) a altura do peitoril deve ser adequada à altura das mesmas.

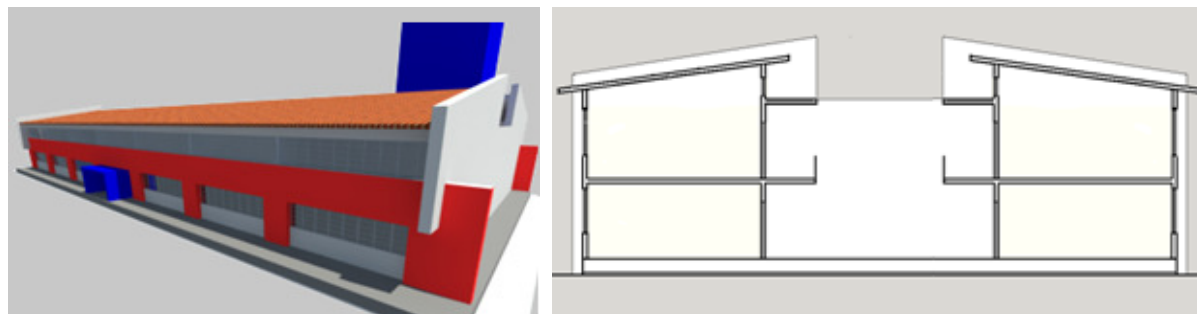
Assim, a partir dos dois tipos de planta recorrentes na arquitetura escolar contemporânea: a) planta tipo sala - corredor; b) planta tipo sala – corredor – sala (Figura 2) foi desenvolvido um sistema composto de abertura lateral e dutos que, além da iluminação natural, possibilitam a ventilação cruzada de forma independente.

2 MÉTODO

O sistema de iluminação natural e ventilação cruzada desenvolvido neste trabalho teve como base as dimensões e a geometria adotadas em um projeto padrão de escola, Figura 3. O edifício tem dois pavimentos e planta retangular alongada. As maiores fachadas estão voltadas para norte e sul. As seguintes etapas compreenderam a concepção e a definição do sistema: a) estudos de sombreamento e da visão do exterior com o SketchUp

(Figura 4); b) simulações de iluminação natural com o programa Daysim. As simulações da iluminação natural foram realizadas com os dados climáticos de João Pessoa (latitude 7°S).

Figura 3 – Projeto de escola padrão: Perspectiva e corte esquemático

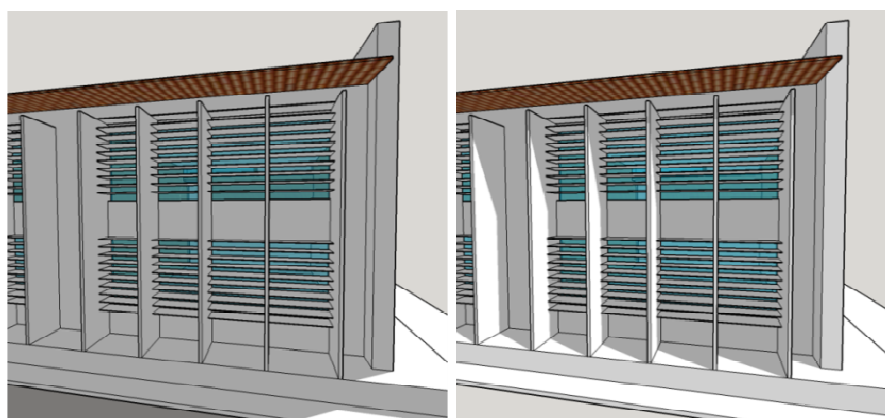


Fonte: Os autores

A dimensão da sala de aula no térreo é 7,05 x 7,05 metros e no pavimento superior é 6,45 x 7,05 metros. A largura da janela é 5,55 metros. Os coeficientes de reflexão das superfícies internas foram: piso com 0,60; paredes e forros com 0,70. A altura do peitoril da abertura lateral é de 0,6 metros, tendo esta sido definida considerando a altura da cabeça de uma criança sentada.

Os estudos de sombreamento e da visão do exterior foram realizados com o SketchUp. As Simulações de insolação foram realizadas nos solstícios de inverno e verão, em intervalos de uma hora ao longo do dia, com objetivo de identificar presença da radiação solar direta no interior da sala de aula. Vistas externas (figura 4) e internas foram geradas para essa análise, que culminou com a definição dos ângulos de proteção solar do brise externo. O impacto da proteção solar na obstrução da visão do exterior foi analisado através de perspectivas internas, renderizadas a partir de um ponto de observador localizado a 0,95 metros do piso - que corresponde a altura da visão de uma criança sentada (PANERO; ZELNIK, 2002).

Figura 4 – Estudo de insolação da proteção solar com o SkechtUp



Fonte: Os autores

A análise do desempenho lumínico foi realizada tendo como parâmetro a

Iluminância Útil da Luz Natural (IULN). Os níveis de iluminação foram agrupados nos intervalos: a) abaixo de 100 lux; b) entre 100 e 2000 lux e; c) acima de 2000 lux, sendo o intervalo entre 100 e 2000 desejável. Adotou-se como critério de análise a recomendação de Reinhart (2005), segundo esta, os níveis de iluminação natural devem ter mais da metade do ambiente com a IULN no intervalo de 100 a 2000 lux. Também foi utilizado o critério do programa de certificação do Green Building Council dos Estados Unidos - Leadership in energy and environmental design (LEED) adotado para a análise do desempenho da iluminação natural: a Autonomia Espacial da Luz Natural (AeLN) e a Exposição anual à luz Solar (EALs). O parâmetro AeLN consiste na identificação das iluminâncias acima de 300 lux e abaixo de 1000 lux, que devem atingir um número de horas, ao longo do ano, de no mínimo 50%. O nível de iluminância de 300 lux atende também a indicação da NBR ISO/CIE 8995-1. O EALs, por sua vez, está associado às iluminâncias acima de 1000 lux, a iluminação no ambiente será considerada eficiente se o EALs não ultrapassar o limite de 10% das horas do ano. Para cada sala de aula foi elaborada uma malha de pontos com as coordenadas dos sensores de iluminância no plano de trabalho. Os pontos estão distanciados 0,5 m da parede, a 0,8 m do piso e com um espaçamento de 0,73 m entre os sensores, que resulta em uma malha com 91 pontos.

No programa Daysim o montante anual da luz do dia, em um espaço, é quantificado através das métricas dinâmicas derivadas dos perfis anuais de iluminância de hora em hora, que são gerados usando um arquivo de clima local (TRY). Um modelo tridimensional deve ser construído (geometria), assim como, devem ser inseridos no programa: a descrição dos materiais do edifício e dados do entorno da edificação. As simulações da iluminação natural foram realizadas com o arquivo climático de João Pessoa (latitude 7°S). O horário estabelecido para as simulações foi das 7:00 às 17:00h, totalizando uma rotina de 10 horas por dia. Os coeficientes de reflexão das superfícies internas foram: piso com 0,60; paredes e forros com 0,70. Para cada ambiente foi elaborado uma malha de pontos com as coordenadas dos sensores de iluminância no plano de trabalho.

3 RESULTADOS

Os resultados deste trabalho serão apresentados na seguinte sequência: a) detalhamento do sistema de iluminação e ventilação natural; b) desempenho do sistema proposto. O desempenho do sistema proposto será apresentado em relação aos seguintes aspectos: iluminação natural e visão do exterior.

3.1 Detalhamento do sistema de iluminação natural e ventilação cruzada

O elemento principal proposto neste trabalho consiste em um duto de iluminação zenital inserido na parede do fundo da sala (adjacente ao corredor). Este duto, em conjunto com a abertura lateral, na parede oposta, além de melhorar a iluminação natural permite a ventilação cruzada nas

duas possibilidades de planta em análise: sala-corredor e sala-corredor-sala, tanto em um edifício térreo, quanto com dois pavimentos. Para o edifício, objeto de estudo deste trabalho, que possui dois pavimentos, dois dutos, com 0,50 m de largura e 2,92 m de comprimento servem de caminhos para a iluminação e ventilação natural das salas de aula – uma no térreo, outra no pavimento superior. Os dois dutos iluminam naturalmente (abertura zenital) as salas, porém, somente um deles permite a ventilação natural, que é exclusiva para cada sala, ver Figura 6 e 7. A altura total do duto é de 4,26 m, até a saída do ar próxima ao telhado. A abertura de saída do ar (no telhado) tem 0,50 m de altura. As paredes internas do duto possuem coeficiente de reflexão de 70%. A cobertura do duto (iluminação zenital) é com material translúcido, com 0,55 de transparência e 0,25 m de largura.

Tanto a ventilação quanto a iluminação podem ser controladas nos dutos. A dimensão da abertura zenital, com material translúcido (Figura 6 e 7), pode variar, de acordo com o clima do local. A ventilação natural é contínua, em locais de clima quente e úmido e baixas latitudes, enquanto, em localidades com baixas temperaturas e inverno, esta pode ser controlada ou interrompida. Além do duto, o sistema inclui, ainda, a abertura lateral, com peitoril de 0,60 metros, 2,0 metros de altura e 5,50 metros de largura. Vidro do tipo claro com espessura de 3 mm e 0,85 de transmissão e um sistema de proteção solar composto de elementos horizontais e verticais fixos (Figura 8).

Figura 6 – Corte AA e planta do piso superior: duto de iluminação e ventilação

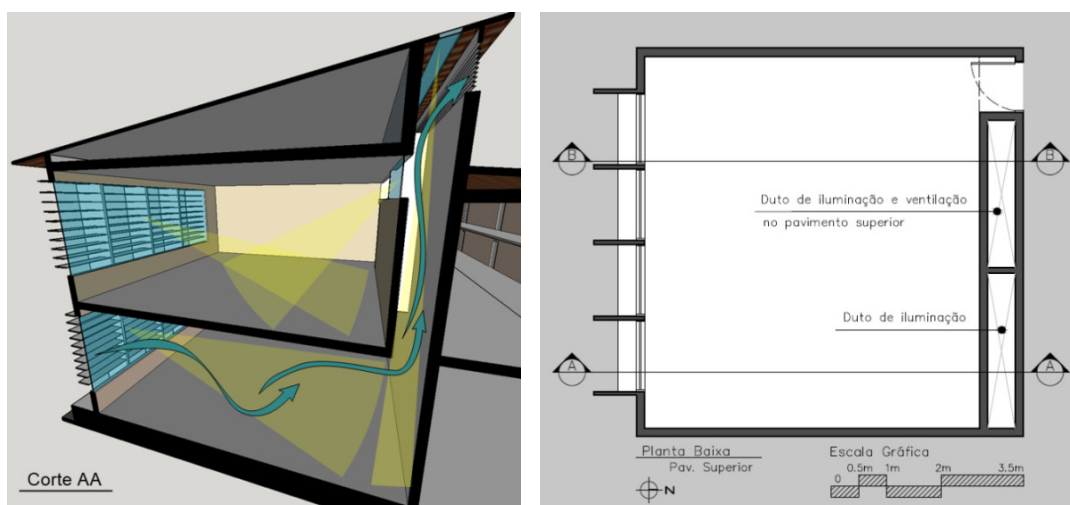


Figura 7 – Corte BB e planta do piso térreo: duto de iluminação e ventilação

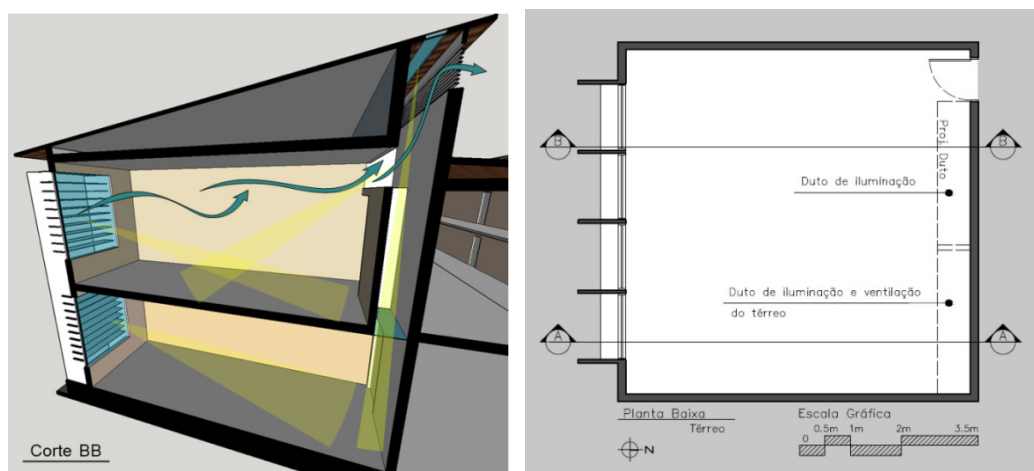
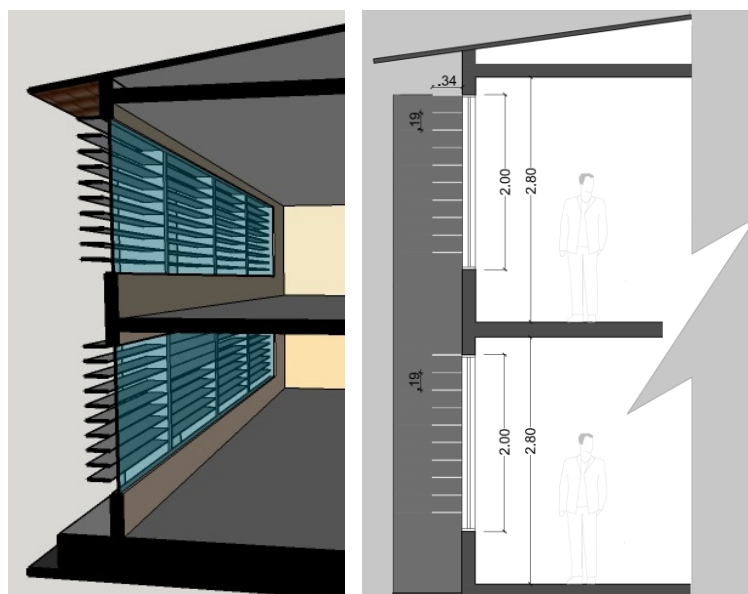


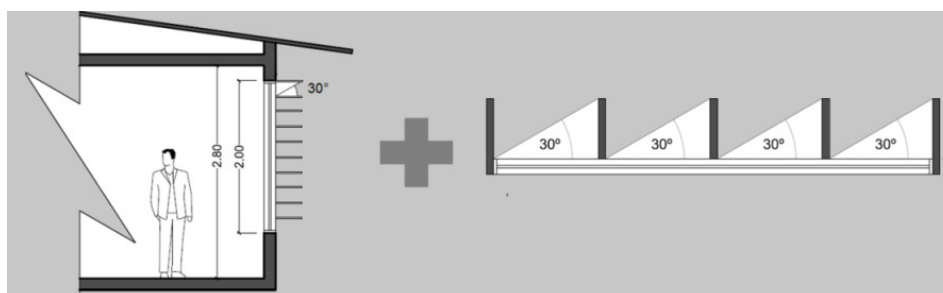
Figura 8 – Abertura lateral com a proteção solar (perspectiva e corte)



Fonte: Os autores

Na concepção do sistema de proteção solar a opção por um sistema fixo deve-se a uma maior economia de manutenção. Os ângulos de proteção solar são de 30°, tanto o ângulo horizontal – em planta, quanto o ângulo vertical – em corte, ver Figura 9, estes, foram definidos com o auxílio da simulação da insolação. A partir dos ângulos de proteção solar desenvolvido pode apresentar desenhos distintos, mantendo o desempenho desejado e permitindo variedade das soluções arquitetônicas. Assim, cada escola pode ter um aspecto diferenciado.

Figura 9 – Corte da abertura lateral com esquema da proteção solar

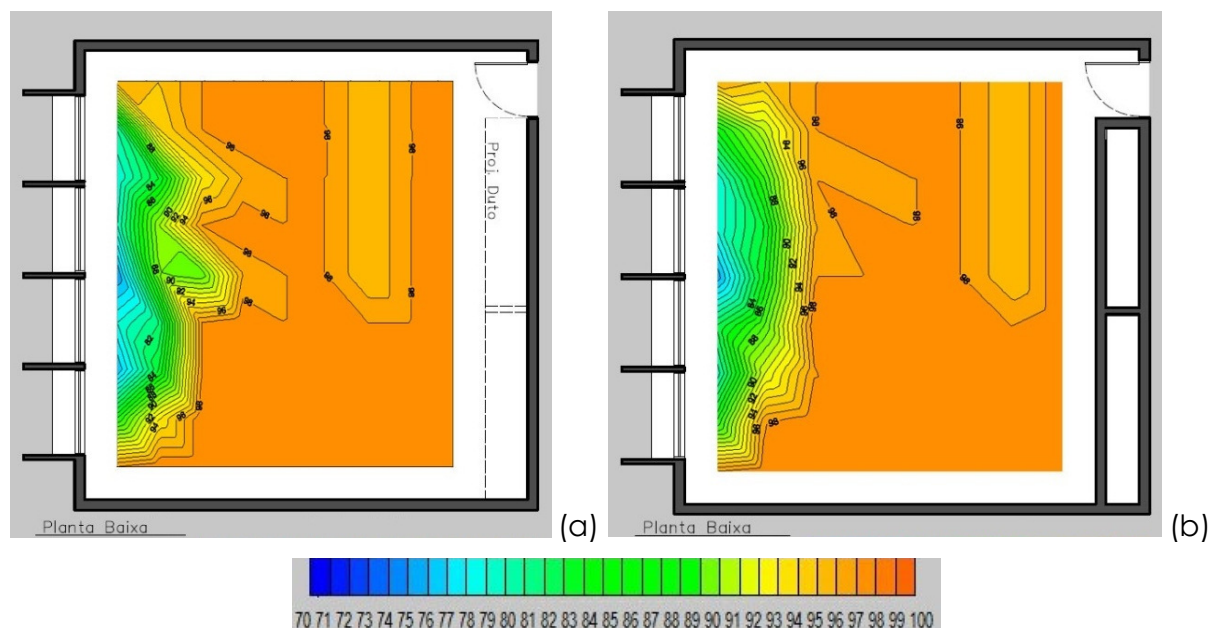


Fonte: Os autores

3.2 Desempenho da iluminação natural e do controle do ofuscamento

Sobre o desempenho da iluminação natural, a IULN no intervalo de 100 e 2000 lux, em 100% das salas é superior a 70% do ano. Nos dois pavimentos, térreo e superior, e nas orientações norte e sul, o sistema desenvolvido apresenta níveis adequados de iluminação e de distribuição, como pode ser observado nos gráficos com isolinhas apresentados na Figura 10.

Figura 10 – Isolinhas da IULN 100 a 2000 lux – Térreo (a) e Pavto Superior (b)



Fonte: Os autores

Em relação aos resultados obtidos com os parâmetros AeLN e EALs: o AeLN é 57,8%, o que caracteriza um desempenho satisfatório da iluminação natural, enquanto o EALs, de 16,8%, excede o limite de 10%, apontando a necessidade de redimensionamento do sistema de controle da luz natural. O sistema de iluminação natural proposto pode atender às exigências estabelecidas pelo programa de certificação do Green Building Council dos Estados Unidos - Leadership in energy and environmental design (LEED), sendo necessário um ajuste no sistema de proteção solar para reduzir o valor de EALs.

3.3 Visão do exterior e variações do sistema de proteção solar

O impacto da proteção solar na visão do exterior foi analisado através de perspectivas internas, renderizadas a partir de um ponto de observador localizado a 0,95 metros do piso - que corresponde a altura da visão de uma criança sentada (PANERO; ZELNIK, 2002). A partir dos ângulos de proteção (horizontais e verticais) utilizados foram desenvolvidas algumas variações no sistema de proteção solar que podem ser utilizadas para que as escolas possam ter um aspecto arquitetônico diversificado. Algumas variações estão, exemplificadas nas Figuras 12 a 14.

Figura 12 – Combinação 1: Esquema em planta, corte, perspectiva externa e interna

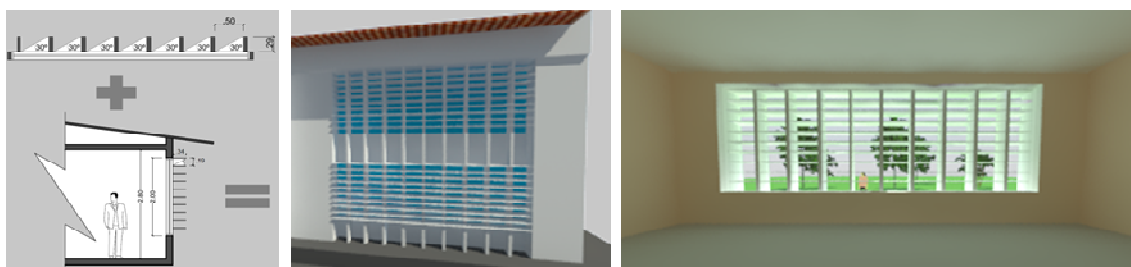


Figura 13 – Combinação 2: Esquema em planta, corte, perspectiva externa e interna



Figura 14 – Combinação 3: Esquema em planta, corte, perspectiva externa e interna



Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

O sistema desenvolvido neste trabalho possibilita: a visão e o contato com o ambiente externo, a iluminação natural e a ventilação cruzada. O desempenho do sistema proposto apresentou Iluminação Útil da Luz Natural (IULN), no intervalo de 100 a 2000 lux, superior a 70% do ano, em 100% do ambiente. Nos dois pavimentos, térreo e superior, e nas orientações norte e sul, o sistema desenvolvido apresenta níveis de iluminação adequados ao uso previsto, assim como, estes estão bem distribuídos. A Autonomia Espacial

da Luz Natural (AeLN) é superior a 57,8%, o que também caracteriza um desempenho satisfatório da iluminação natural. Em relação à Exposição anual à luz Solar (EALs) o limite de 10% é excedido, aspecto que pode ainda ser melhorado com o ajuste no sistema de proteção solar. Assim, considerando os resultados obtidos com os parâmetros AeLN e EALs, o sistema de iluminação natural proposto neste trabalho pode atender às exigências estabelecidas pelo programa de certificação do Green Building Council dos Estados Unidos - Leadership in energy and environmental design (LEED). Os estudos de visão do exterior através de perspectivas renderizadas permitem afirmar que a relação interior-exterior, fundamental para o conforto psicológico necessário ao aprendizado, é assegurada pelo sistema proposto. As possibilidades de variação da fisionomia arquitetônica dos edifícios, através de diferentes arranjos geométricos do sistema de proteção solar das janelas, de que foram vistos alguns exemplos, possibilitam superar a monotonia formal característica de projetos padrão de escolas.

AGRADECIMENTOS

À prof. Eliana Lima/IFPB e ao Cnpq/UFPB pela bolsa pibic.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SPEECH-LANGUAGE-HEARING ASSOCIATION (ASHA). **Guidelines for addressing acoustic in educational settings**. Rockville: Asha, 2005. Disponível em: <http://www.asha.org/policy/GL2005-00023>. Acesso em 2015.
- ARIES, M. B. C.; AARTS, M. P. J.; VAN HOOFF, J. **Daylighting and health: A review of the evidence and consequences for the built environment**. Lighting Research and Technology, v. 47, p. 6-27, 2015.
- BAKER, N.; STEEMERS, K. **Daylight Design of Buildings: A Handbook for Architects and Engineers**. London: James & James, 2002.
- BODART, M.; DE HERDE, A. **A global energy savings in offices buildings by the use of daylighting**. Energy and buildings, London: Elsevier, V. 34, p.421-429, 2002.
- BOYCE, P.; HUNTER, C.; HOWLET, O. **The benefits of daylight through windows**. 2003. Disponível em: <http://www.lrc.rpi.edu/programs/daylighting/pdf/daylightbenefits.pdf> Acesso em 2014.
- British Standard 8206. **Lighting for buildings – Part 2: Code of practice of daylighting**, 2008.
- BOUBEKRI, M. **Daylighting, architecture and health: Building design strategies**. Oxford: Elsevier, 144 p., 2008.
- EARTH POLICY INSTITUTE. **World on the Edge by the Numbers: Shining a Light on Energy Efficiency**. Julho 2011. Disponível em: http://www.earth-policy.org/data_highlights/2011/highlights15. Acesso em 2015.

HEERWAGEN, J.; DIAMOND, R. C. **Adaptations and coping: occupant response to discomfort in energy efficient buildings.** In Proceedings of ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Pacific Grove, USA, 1992.

HERTZ, J. B. **Ecotécnicas em arquitetura.** São Paulo: Pioneira, 1998.

LAM, W. M. C. **Sunlighting as a formgiver for architecture.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

PANERO, J.; ZELNIK, M. **Dimensionamento humano para espaços interiores.** Barcelona: Gustavo Gili, 2002.

REINHART, C. F. Simulation-based review of the ubiquitous window-headheight to daylight zone depth rule-of-thumb. **Anais do Buildings Simulation 2005.** Canadá, 2005.

ROBBINS, C. L. **Daylighting:** design and analysis. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

SERRA, R. **Arquitectura y climas.** Barcelona: Gustavo Gili, 1999.

UNITED STATES GREEN BUILDING CONCIL (USGBC). **LEED v4 for Building Design and Construction.** Disponível em <http://www.usgbc.org/leed>. Acesso em 2015.

VEITCH, J.; GALASIU, A. **The physiological and Psychological effects of windows, daylight, and view at home.** NRC-IRC Research Report RR325. Ottawa: National Research Council, 2012. Disponível em <http://doi.org/10.4224/20375039>.